



Universidade do Porto

**Faculdade de Ciências do
Desporto e de Educação Física**

Relação entre a performance na maratona e parâmetros internos e externos da carga

Mário Casimiro da Anunciação Paiva

Porto, 2002



Universidade do Porto
Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física

Relação entre a *performance* da maratona e parâmetros internos e externos da carga

Dessertação apresentada às provas de doutoramento
no ramo de Ciências do Desporto nos termos do
decreto-lei nº 216/92 de 13 de Outubro.

Mário Casimiro da Anunciação Paiva

**Paulo Jorge Miranda Santos
António Teixeira Marques**

2002

Mário Casimiro da Anunciação Paiva

Relação entre a *performance* da maratona e parâmetros internos e externos da carga

Julho 2002

Universidade do Porto
Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física
Porto, Portugal

Palavras chave:
CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÉNIO, LIMIAR ANAERÓBIO, ECONOMIA DE CORRIDA, MARATONA, CALIBRAÇÃO DA CARGA.

Aos meus pais
Gaspar Paiva e Celeste Anunciação

Aos meus irmãos
Maria Cândida, Manuel e Carlos

À Fátima e à Francisca

Agradecimentos

Um grande número de pessoas e instituições contribuíram de diversas formas, directa ou indirectamente, para a consecução deste trabalho. Sem a sua solidariedade, colaboração e incentivo nada seria possível. Desta forma, gostaria de expressar a minha profunda gratidão a todos os que emprestaram o seu contributo desinteressado.

Muito obrigado.

Ao Prof. Doutor Paulo Santos, orientador deste trabalho, por compreender e apoiar as minhas iniciativas, reconhecer as minhas qualidades e respeitar os meus direitos.

Ao Prof. Doutor António Marques, também orientador deste trabalho, que de há já vários anos me vem acompanhando, pela ajuda constante em todos os momentos.

Ao Prof. Doutor José Maia, pela disponibilidade, competência e serenidade emprestadas quando do tratamento dos resultados.

Ao Prof. Doutor José Augusto Santos, pela sua aptidão intelectual, capacidade técnica, inteligência emocional e por se ter transformado num bom chefe.

À Prof^a Doutora Véronique Billat pelo que me ensinou e pela força que constantemente me transmitiu. Conhecê-la e ter o privilégio de integrar a sua equipa, juntamente com o Alexandre Demarle, o Cyril Petibois e o Jean-Pierre Koralsztein, foi muito gratificante.

Ao Prof. Doutor Rui Garganta da Silva pela sua disponibilidade permanente para ajudar, pela colaboração no arranjo gráfico e pelo esclarecimento metodológico final.

Ao Prof. Doutor António Manuel Fonseca pela disponibilidade demonstrada na revisão de algumas partes do trabalho e na ajuda em momentos críticos.

À Prof^a Doutora Paula Botelho Gomes pela amizade e apoio institucional enquanto Presidente do Conselho Directivo.

Ao Prof. Doutor João Paulo Vilas-Boas pelos esclarecimentos preciosos quando ainda dava os primeiros passos.

Ao Prof. Doutor José Soares pela ajuda nos contactos iniciais com o Centro de Medicina do Porto.

Ao Prof. Doutor Ramiro Rolim, por emprestar tranquilidade e ponderação ao partilhar momentos críticos do trabalho.

Ao Instituto Nacional de Desporto, na pessoa do director de serviços de medicina desportiva, Dr. Luís Horta, que autorizou a realização prática de uma parte importante deste trabalho no Centro de Medicina do Porto.

Ao Centro de Medicina do Porto, na pessoa do seu director Prof. Doutor Ovídeo Costa, que possibilitou a realização prática de uma parte importante deste trabalho.

Aos médicos do Centro de Medicina do Porto, pela prestimosa colaboração nas provas de esforço:

Dr. José Ramos

Dr. Nelson Puga

Aos técnicos do Centro de Medicina do Porto, pela inexcelável colaboração nas provas de esforço:

D^a Maria de Lurdes Oliveira

Sr. António Silva Costa Matos

À memória do Sr. Helder Pimentel Sequeira Dias, cujo inexcelável profissionalismo tornou possível avaliar o consumo máximo de oxigénio nos 78 maratonistas da amostra.

À Maria Cândida, à Maria João e ao Carlitos, pela disponibilidade incondicional que demonstraram enquanto revisores do texto.

À Cristina Almeida pela amizade e generosa colaboração ao longo de todo o processo, por ter percorrido comigo o país de lés a lés na recolha de dados, pela rectaguarda de apoio que sempre representou.

Ao Rui Fernandes e ao Emanuel Silva, pela amizade, dedicação e preciosa colaboração na operacionalização do processo de treino e principalmente por falarmos a mesma linguagem.

À D^a Sílvia pela disponibilidade e paciência que, desde aluno, sempre me dispensou na biblioteca.

A todos os atletas que avaliei e aos respectivos treinadores, pela disponibilidade incondicional que manifestaram, muitas vezes em prejuízo do próprio processo de treino, da sua vida profissional e familiar.

Ao Boavista Futebol Clube, a todos os que apoiaram e distinguiram o meu trabalho.

À D^a Odete Azevedo, amiga e directora de eleição, a quem devo muito dos sucessos desportivos alcançados.

À Dra Margarida Moreira e do Dr. Diamantino Ribeiro da LabMED, pela amizade, humanismo, colaboração e ajuda preciosa na consecução dos nossos objectivos, enquanto treinador no Boavista Futebol Clube.

Aos meus atletas do Boavista Futebol Clube, os que ficaram, por me acharem imprescindível mesmo quando ausente. Espero recompensá-los.

À Fundação para a Ciência e a Tecnologia e Fundo Social Europeu pelo apoio financeiro concedido no âmbito do III Quadro Comunitário de Apoio.

Índice geral

Preliminares

Folha de rosto	I
Ficha de catalogação	II
Dedicatórias	III
Agradecimentos	IV
Índice geral	VII
Índice de figuras	XII
Índice de quadros	XV
Índice de equações	XXIV
Resumo	XXV
Abstract	XXVI
Résumé	XXVII
Abreviaturas e símbolos.....	XXVIII

1. Introdução

1.1. Enquadramento do estudo	3
1.2. Pertinência do estudo	4
1.3. Objectivos	8
1.4. Estrutura do trabalho	8

2. Revisão da literatura

2.1. Aspectos fisiológicos do treino da maratona	13
2.1.1. Consumo máximo de oxigénio (VO_{2max})	13
2.1.1.1. Definição	13
2.1.1.2. Métodos de determinação	16

2.1.1.2.1. Métodos directos	20
2.1.1.2.2. Métodos indirectos	30
2.1.1.2.2.1. Testes de laboratório	32
2.1.1.2.2.2. Testes de terreno	33
2.1.1.2.2.2.1. Testes de terreno de intensidade contínua	34
2.1.1.2.2.2.2. Testes de terreno de intensidade progressiva	35
2.1.1.3. Principais factores que influenciam o VO ₂ max	40
2.1.1.3.1. Efeitos da idade	41
2.1.1.3.2. Efeitos do sexo.....	44
2.1.1.3.3. Efeitos da altitude	47
2.1.1.3.4. Efeitos do treino	54
2.1.1.3.4.1. Intensidade, duração e frequência	55
2.1.1.3.4.2. <i>Cross-training</i>	56
2.1.1.3.4.3. Destreino e sobretreino	58
2.1.1.3.4.4. Indicadores relativizados como VO ₂ max (vVO ₂ max,t _{lim} vVO ₂ max) ...	62
2.1.1.5. VO ₂ max em função da modalidade desportiva	67
2.1.1.5.1 VO ₂ max no atletismo	68
2.1.1.5.1.1. VO ₂ max na maratona	69
2.2. Economia de corrida	82
2.2.1. Definição	82
2.2.1.2. Factores que influenciam a EC	88
2.2.1.2.1. Factores fisiológicos	88
2.2.1.2.1.1. Temperatura corporal	88
2.2.1.2.1.2. Frequência cardíaca e ventilação	90
2.2.1.2.1.3. Tipos de fibra muscular	91
2.2.1.2.2. Dimensões antropométricas e efeitos posturais	93

2.2.1.2.2.1. Massa corporal	94
2.2.1.2.2.2. Distribuição da massa corporal	94
2.2.1.2.2.2.1. Sapatos e cargas adicionais	96
2.2.1.2.2.3. Flexibilidade e amplitude de movimentos	97
2.2.1.2.3. Factores biomecânicos	98
2.2.1.2.3.1. Amplitude e frequência da passada	98
2.2.1.2.3.2. Oscilação vertical do centro de massa	102
2.2.1.2.3.3. Força de reacção do solo	103
2.2.1.2.4. Factores ambientais	104
2.2.1.2.4.1. Altitude	104
2.2.1.2.4.2. Vento, humidade e temperatura	105
2.2.1.2.4.3. Piso e perfil topográfico	106
2.2.1.2.5. Factores do treino e da <i>performance</i>	107
2.2.1.2.5.1. Treinabilidade	107
2.2.1.2.5.2. Sobretreino	110
2.2.1.2.5.3. Destreino	111
2.2.1.2.5.4. <i>Performance</i>	112
2.2.1.2.5.5. Fadiga	112
2.2.1.2.6. Outros factores	113
2.2.1.2.6.1. Idade	113
2.2.1.2.6.2. Sexo	112
2.2.1.2.6.3. Calçado	123
2.3. O limiar anaeróbio	127
2.3.1. Definição	127
2.3.2. Métodos de determinação	129
2.3.2.1. Métodos indirectos	130

2.3.2.2. Métodos directos	144
2.3.2.2.1. O equilíbrio máximo de lactato (MaxLass) de Heck et al.	145
2.3.2.2.2. Conceitos baseados em torno das 4 mmol.l ⁻¹	149
2.3.2.2.2.1. O limiar aeróbio-anaeróbio de Mader et al.	149
2.3.2.2.2.2. O limiar anaeróbio individual de Keul et al.	152
2.3.2.2.2.3. O limiar anaeróbio individual de Stegmann e Kindermann	153
2.3.2.2.2.4. O limiar anaeróbio individual de Bunc et al.	154
2.3.3. Relação entre o limiar anaeróbio e o treino	155
2.3.3.1. Tipos de resposta metabólica à corrida de longa duração	155
2.3.3.2. Factores limitativos da análise da concentração de lactato	156
2.3.3.3. Efeito do treino na concentração sanguínea de lactato	163
2.3.3.3.1. Intensidade do treino para melhorar o limiar anaeróbio	165
2.4. Génese e evolução da metodologia de treino para a maratona	
2.4.1. A corrida da maratona.	173
2.4.2. Modelo empírico caracterizador da <i>performance</i> desportivo- motora da maratona a partir de uma relação com a carga de treino.	175
2.4.3. Metodologia de treino para a maratona	178
2.4.3.1. Metodologia de treino para a maratona de David Costil	178
2.4.3.2. Metodologia de treino para a maratona de Giampaolo Lenzi	179
2.4.3.3. Metodologia de treino para a maratona de Jack Daniels	181
2.4.3.4. Metodologia de treino para a maratona de Pete Pfitzinger e Scott. Douglas	188
2.4.4. Metodologia de treino utilizada por maratonistas excepcionais	193
3. Objectivos e Hipóteses	
3.1. Objectivos.....	209
3.2. Hipóteses.....	209

3.2.1. Fundamentação (hipóteses 1 e 2)	209
3.2.2. Fundamentação (hipótese 3)	215
3.2.1. Fundamentação (hipótese 4)	217
4. Material e métodos	
4.1. Descrição e caracterização da amostra	229
4.2. Identificação das técnicas , métodos e instrumentos utilizados.....	230
4.2. 1. Limiar anaeróbio.....	230
4.2.2. Economia de corrida	231
4.2.3. VO ₂ max	233
4.2.4. Anamnese do treino	234
4.2.5. Desempenho desportivo	234
4.3. Procedimentos estatísticos.....	234
5. Resultados	237
6. Discussão	259
7. Conclusões	303
8. Bibliografia	307

Índice de Figuras

- Figura 1.** Protocolo que evidencia a relação entre VO₂ e o aumento da velocidade da corrida, em patamares de 3 min. VAM é a velocidade máxima aeróbia, isto é, a mais baixa que permite solicitar o VO₂max e, por isso, é também designada por vVO₂max. (Adaptado de Billat 1998). 20
- Figura 2.** Protocolos utilizados no tapete rolante para pacientes com problemas cardíacos (Adaptado de American College of Sports Medicine: Guidelines for Exercise testing and Prescription, 3rd ed., 1986, Philadelphia; Lea & Febiger). 23
- Figura 3.** Diferenças entre algumas medidas biomecânicas caracterizadoras do estilo de corrida de grupos de corredores agrupados a partir dos seus VO₂ submáximos. Adaptado de Williams e Cavanagh (1987)... 84
- Figura 4.** Diagrama de dispersão com representação do Lan vent de acordo com o método v-Slope. 131
- Figura 5.** Informação que resulta da relação velocidade da corrida/frequência cardíaca. Sd - velocidade de deflexão; Saer max - velocidade máxima aeróbia; S max - velocidade máxima; HRd - FC correspondente à deflexão; HRmax - FC máxima. Cada fracção corresponde a 100 metros. Adaptado de Conconi et al. 1996. 136
- Figura 6.** Correspondência entre o ponto de deflexão da frequência cardíaca (A) e o limiar anaeróbio láctico (B) (ponto de intercepção das duas rectas resultantes das lactatemias dos 3 patamares inferiores e dos 3 patamares superiores ao referido ponto de deflexão da frequência cardíaca. Adaptado de Conconi et al. (1982). 140
- Figura 7.** Comportamento da curva lactato-tempo, a diferentes níveis de carga constante (Watt) de longa duração, desde uma situação de equilíbrio até à acumulação progressiva de lactato em função do tempo. O estado de MaxLass (entre 190-200 Watts) indica a transição de *steady-state* para um aumento linear da lactatemia. As curvas foram obtidas a partir de investigações realizadas em ciclo-ergómetro às cargas constantes assinaladas na figura. Adaptado de Mader (1991). 145
- Figura 8.** Determinação do MaxLass em tapete rolante utilizando um protocolo com incrementos de carga constante. Adaptado de Heck (1990). 146
- Figura 9.** Determinação da velocidade de lactato mínimo segundo Tegtbur et al. (1993). Adaptado de Jones e Doust (1998). 147

Figura 10. Transformação da curva tempo-lactato num diagrama lactato- <i>performance</i> onde cada linha representa a relação lactato- <i>performance</i> referente a cada tempo de exercitação. Adaptado de Mader (1991).	149
Figura 11. Método de determinação do limiar aeróbio-anaeróbio de Mader et al. (1976). Adaptado de Heck et al. (1985).	150
Figura 12. Cinética do lactato correspondente ao aumento da velocidade de corrida durante testes de incrementos de carga progressivos realizados em tapete rolante com corredoras. A curva das velocistas (100-200m) evidencia uma elevação a uma velocidade baixa (a partir de $3.0\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ - curva da esquerda), enquanto a curva das corredoras de meio-fundo curto (800m) mostra um aumento apenas à velocidade de $3.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (curva do meio) e nas maratonistas, esse aumento ocorre apenas a uma velocidade de $4.8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (curva da direita). Adaptado de Mader (1991).	151
Figura 13. Método de determinação do limiar anaeróbio individual segundo Keul et al. (1979). Adaptado de Heck (1990).	152
Figura 14. Cinética do lactato durante exercício incremental em tapete rolante. A seta acima da abcissa e o ponto (A) assinalam o final do exercício, enquanto (B) assinala o momento em que a concentração de lactato pós-exercício iguala o valor em (A). A seta situada acima da curva marca o limiar anaeróbio individual (LAI). Adaptado de Urhausen et al. (1993).	153
Figura 15. Método de determinação do limiar anaeróbio individual (LAI) segundo Bunc et al. (1982). Adaptado de Heck (1990a).	154
Figura 16. Relação entre a lactatemia habitual no treino de corrida contínua e a velocidade (m/s) correspondente ao limiar aeróbio-anaeróbio (V_4) em corredoras de meio-fundo e fundo. Adaptado de Föhrenbach (1987).	169
Figura 17. Relação entre o volume e a intensidade da corrida contínua em atletas de meio-fundo e fundo. Adaptado de Mader e Heck (1991) e Santos (1995b).	170
Figura 18. Regressão múltipla entre a <i>performance</i> [p[t]] e o número de km efectuados por semana ($\text{km}\cdot\text{sem}^{-1}$), considerando o valor global da amostra.	253
Figura 19. Regressão múltipla entre a <i>performance</i> [p[t]] e o número de km efectuados por semana ($\text{km}\cdot\text{sem}^{-1}$), considerando a amostra por categorias.	253

Figura 20. Regressão múltipla entre a *performance* [p(t)] e o número de km efectuados por semana à velocidade inferior à maratona ($\text{km.sem}^{-1}@v<\text{maratona}$), considerando o valor global da amostra.254

Figura 21. Regressão múltipla entre a *performance* [p(t)] e o número de km efectuados por semana à velocidade inferior à maratona ($\text{km.sem}^{-1}@v<\text{maratona}$), considerando a amostra por categorias.254

Figura 22. Regressão múltipla entre a *performance* [p(t)] e o número de km efectuados por semana à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$), considerando a amostra por categorias.257

Figura 23. Regressão múltipla entre a *performance* [p(t)] e o número de km efectuados por semana à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v_4$), considerando a amostra por categorias.257

Figura 24. Regressão múltipla entre a *performance* [p(t)] e o número de km efectuados por semana à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$), considerando a amostra por categorias.257

Figura 25. Regressão múltipla entre a *performance* [p(t)] e o número de km efectuados por semana à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$), considerando a amostra por categorias.257

Índice de Quadros

Quadro 1. Características genéricas dos ergómetros de uso comum (classificação crescente de 1 a 4) Adaptado a partir de Pereira (1997a).	17
Quadro 2. Protocolo de Bruce para tapete rolante.	22
Quadro 3. Protocolo de Bruce modificado para tapete rolante.	23
Quadro 4. Protocolo de Ellestad para tapete rolante.	24
Quadro 5. Protocolo de Naughton para tapete rolante.	24
Quadro 6. Velocidade utilizada em cada patamar no protocolo de Daniels para determinação do VO_2max , da economia de corrida (Daniels et al., 1984; Daniels e Daniels, 1992).	26
Quadro 7. Protocolos máximos para determinação directa do VO_2max em tapete rolante em atletas de meio-fundo e fundo.	28
Quadro 8. Métodos indirectos para determinação do VO_2max	30
Quadro 9. Testes de terreno para determinação indirecta do VO_2max	33
Quadro 10. Valores médios de VO_2max ($ml.kg^{-1}min^{-1}$) para mulheres e homens sedentários e maratonistas femininos e masculinos.	46
Quadro 11. Melhores marcas de sempre na maratona a diferentes altitudes (Adaptado de Roi, 1999).	49
Quadro 12. Valores de VO_2max em modalidades desportivas distintas.	67
Quadro 13. Valores de VO_2max em diferentes especialidades e distâncias no atletismo.	69
Quadro 14. Valores do consumo máximo de oxigénio (VO_2max) em maratonistas excepcionais do sexo feminino.	70

Quadro 15. Valores do consumo máximo de oxigénio (VO_{2max}) em maratonistas de elite masculinos (adaptado de Noakes 1991).	70
Quadro 16. Valores médios do VO_{2max} em maratonistas masculinos de elite (tempos inferiores a 2h30min), segundo alguns investigadores (adaptado de Sjodin e Svedenhag, 1985).	71
Quadro 17. Correlações entre a <i>performance</i> desportiva na maratona e o VO_{2max} (Sjodin e Svedenhag, 1985).	71
Quadro 18. Valores da <i>performance</i> média da maratona e % VO_{2max} sustentada à velocidade da competição (adaptado de Billat, 1991).	72
Quadro 19. Efeito da altitude na economia de corrida (adaptado de Roi et al. (1999).	105
Quadro 20. Estudos realizados que referem o impacto de alguns conteúdos de treino na EC considerando o custo em oxigénio correspondente a uma intensidade submáxima (Adaptado de Morgan, 1992).	110
Quadro 21. Relação entre a <i>performance</i> na maratona e o número de kms efectuados por semana, segundo Pollock (1977).	176
Quadro 22. Mesociclo-tipo da metodologia de treino para a maratona, segundo Costill (1986).	179
Quadro 23. Metodologia de treino para a maratona para atletas de elite, segundo Lenzi (1987).	180
Quadro 24. Meios e métodos de treino para a maratona, escalonados pela ordem crescente da intensidade, adaptado a partir de Daniels (1995, 1998).	183
Quadro 25. Microciclos tipo referentes à etapa 1 (semanas 5 e 6) da metodologia de treino para a maratona, segundo Daniels (1998).	184
Quadro 26. Metodologia de treino para a maratona, microciclos tipo referentes às semanas 11 e 12, da etapa 2, cujo objectivo principal é o desenvolvimento da EC.(Daniels, 1998).	185
Quadro 27. Microciclos tipo referentes à etapa 3 (semanas 17 e 18) da metodologia de treino para a maratona, segundo Daniels (1998).	185

Quadro 28. Microciclos tipo referentes às semanas 21 e 22 da etapa 4 que integram a metodologia de treino para a maratona segundo Daniels (1998).	186
Quadro 29. Microciclos tipo referentes às semanas 23 e 24 da etapa de <i>tapering</i> que integram a metodologia de treino para a maratona, segundo Daniels (1998). ...	187
Quadro 30. Número de unidades de treino referentes aos meios e métodos de treino utilizados por mesociclo na preparação da maratona segundo Daniels (1998).	187
Quadro 31. Microciclos tipo referentes à etapa 1 (semanas 9 e 10) da metodologia de treino para a maratona, segundo Pfitzinger e Douglas (2001).	189
Quadro 32. Microciclos tipo referentes à etapa 2 (semanas 15 e 16) da metodologia de treino para a maratona, segundo Pfitzinger e Douglas (2001).	190
Quadro 33. Microciclos tipo referentes à etapa 3 (semanas 20 e 21) da metodologia de treino para a maratona, segundo Pfitzinger e Douglas (2001).	191
Quadro 34. Microciclos tipo referentes à etapa 4 (semanas 23 e 24) da metodologia de treino para a maratona, segundo Pfitzinger e Douglas (2001).	192
Quadro 35. Número de unidades de treino referentes aos meios e métodos de treino utilizados por mesociclo na preparação da maratona segundo Pfitzinger e Douglas (2001).	192
Quadro 36. Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Hannes Kolehmainen (Noakes, 1991).	193
Quadro 37. Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Barry Magee (Lydiard 1978).	194
Quadro 38. Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Leonard Edelen (Noakes 1991).	194
Quadro 39. Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo Dereck Clayton (Noakes 1991).	195
Quadro 40. Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Robert de Castella (Sandrock 1996).	195

Quadro 41. Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Steve Jones (Sandrock, 1996).	196
Quadro 42. Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Carlos Lopes (Portugal) (comunicação pessoal do seu treinador).	196
Quadro 43. Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Bill Rodgers (USA) (Sandrock, 1996).	197
Quadro 44. Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Frank Shorter (Sandrock, 1996).	197
Quadro 45. Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Juma Ikaanga (Sandrock 1996).	198
Quadro 46. Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Toshihiko Seko (Sandrock, 1996).	198
Quadro 47. Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Takeyuki Nakayama (Usami, 1988).	199
Quadro 48. Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Gelindo Bordin (Itália) (Gigliotti, 1991) (Faraggiana, 1991) (Lenzi, 1987).	199
Quadro 49. Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Manuel Matias (comunicação pessoal do seu treinador).	200
Quadro 50. Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de António Pinto (comunicação pessoal do seu treinador).	200
Quadro 51. Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Domingos Castro (comunicação pessoal do seu treinador).	201
Quadro 52. Parâmetros caracterizadores das metodologias de treino utilizadas por maratonistas excepcionais e de elite.	202
Quadro 53. Características físicas das diferentes categorias de maratonistas.	229

Quadro 54. Tabela de tempos de passagem (TP) utilizada nos testes de terreno para determinação do limiar anaeróbio (Adaptada de Mader 1976 e Santos 1995a).	231
Quadro 55. Protocolo para determinação da economia de corrida (Daniels et al. 1985). Níveis utilizados, velocidades (em km.h ⁻¹ , m.min ⁻¹ e m.s ⁻¹) e tempo por km (T.1000m ⁻¹) correspondente a cada patamar.	233
Quadro 56. Amostra global dos maratonistas do nosso estudo nos valores médios ± (DP) das variáveis: performance (T), consumo máximo de oxigénio (VO ₂ max), Limiar anaeróbio expresso pela velocidade correspondente a uma lactatemia de 4 mmol.l ⁻¹ (v ₄), economia de corrida à velocidade da maratona expressa pelo custo em oxigénio por unidade de distância (EC _{vmar}), e utilização fraccional do consumo máximo de oxigénio à velocidade da maratona (FVO ₂ max). Intervalos de confiança (IC) para a média de cada variável.	239
Quadro 57. Resultados da ANOVA por categorias dos maratonistas do nosso estudo nos valores médios ± (DP) das variáveis: performance (T), consumo máximo de oxigénio (VO ₂ max), o limiar anaeróbio expresso pela velocidade correspondente a uma lactatemia de 4 mmol.l ⁻¹ (v ₄), economia de corrida à velocidade da maratona expressa pelo custo em oxigénio por unidade de distância (EC _{vmar}), a economia de corrida correspondente ao consumo de oxigénio a 290 mmin ⁻¹ , o consumo de oxigénio correspondente à velocidade da maratona (VO ₂ v _{mar}) e a utilização fraccional do consumo máximo de oxigénio à velocidade da maratona (FVO ₂ max).a	240
Quadro 58. Matriz de correlação entre performance e consumo máximo de oxigénio, limiar anaeróbio e economia de corrida à velocidade da maratona expressa pelo custo em oxigénio por unidade de distância. Valores relativos à amostra total do estudo.	241
Quadro 59. Rectas de regressão considerando a performance como variável dependente e o VO ₂ max (VO ₂ MAX), a EC (ECVMAR) e Lan (VLAA) como variáveis independentes.	242
Quadro 60. Correlação entre a <i>performance</i> o consumo máximo de oxigénio, o limiar anaeróbio e a economia de corrida à velocidade da maratona por unidade de distância, considerando os maratonistas do GEB. Rectas de regressão considerando a <i>performance</i> como variável dependente e o VO ₂ max, a EC e Lan como variáveis independentes, para o GEB.	242
Quadro 61. Correlação entre a <i>performance</i> o consumo máximo de oxigénio, o limiar anaeróbio e a economia de corrida à velocidade da maratona por unidade de distância, considerando os maratonistas do GM. Rectas de regressão considerando a <i>performance</i> como variável dependente e o VO ₂ max, a EC e Lan como variáveis independentes, para o GM.	243

Quadro 62. o limiar anaeróbio e a economia de corrida à velocidade da maratona por unidade de distância, considerando os maratonistas do GL. Rectas de regressão considerando a <i>performance</i> como variável dependente e o VO2 max, a EC e Lan como variáveis independentes, para o GL.	243
Quadro 63. Valores da correlação múltipla para o VO2max, EC e Lan, em relação à <i>performance</i> desportivo-motora na maratona.	245
Quadro 64. Valores médios ($\pm dp$) da velocidade de corrida correspondente às concentrações de lactato de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l ⁻¹	246
Quadro 65. Amostra por categorias dos maratonistas do nosso estudo nos valores médios \pm (dp) da velocidade de corrida correspondente às concentrações de lactato de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l ⁻¹	247
Quadro 66. Correlação entre a <i>performance</i> e a velocidade de corrida correspondente às concentrações de lactato de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l ⁻¹ . Valor global da amostra.	248
Quadro 67. Correlação entre a <i>performance</i> e a velocidade de corrida correspondente às concentrações de lactato de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l ⁻¹ . Valor da amostra correspondente ao GEB.	248
Quadro 68. Correlação entre a <i>performance</i> e a velocidade de corrida correspondente às concentrações de lactato de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l ⁻¹ . Valor da amostra correspondente ao GM.	248
Quadro 69. Correlação entre a <i>performance</i> e a velocidade de corrida correspondente às concentrações de lactato de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l ⁻¹ . Valor da amostra correspondente ao GL.	248
Quadro 70. Amostra global dos maratonistas do nosso estudo nos valores médios \pm (DP) das variáveis: <i>performance</i> (p[t]), número de km percorridos por semana (km.sem ⁻¹), distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona (km.sem ⁻¹ @ < v _{maratona}), distância semanal percorrida à velocidade da maratona (km.sem ⁻¹ @ v _{maratona}), distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio (km.sem ⁻¹ @ v ₄), distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros (km.sem ⁻¹ @ v ₁₀₀₀₀), distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros (km.sem ⁻¹ @ v ₃₀₀₀). Intervalos de confiança (IC) para a média de cada variável.	250

Quadro 71. Resultados da ANOVA por categorias dos maratonistas do nosso estudo nos valores médios \pm (DP) das variáveis: performance (p[t]), número de km percorridos por semana (km.sem^{-1}), distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$), distância semanal percorrida à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$), distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio ($\text{km.sem}^{-1} @ v_4$), distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$), distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$).251

Quadro 72. Valores da regressão múltipla entre a distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio ($\text{km.sem}^{-1} @ v_4$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$), em relação à *performance* desportivo-motora na maratona. Valores relativos à amostra total do estudo.252

Quadro 73. Valores da regressão múltipla entre a distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio ($\text{km.sem}^{-1} @ v_4$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$), em relação à *performance* desportivo-motora na maratona. Valores relativos à categoria GEB.254

Quadro 74. Valores da regressão múltipla entre a distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio ($\text{km.sem}^{-1} @ v_4$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$), em relação à *performance* desportivo-motora na maratona. Valores relativos à categoria GM.255

Quadro 75. Valores da regressão múltipla entre a distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio ($\text{km.sem}^{-1} @ v_4$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$), em relação à *performance* desportivo-motora na maratona. Valores relativos à categoria GL.256

Quadro 76. $VO_2\text{max}$ em maratonistas de elite (<i>performance</i> < 150 min).	263
Quadro 77. $VO_2\text{max}$ em maratonistas de nível médio (<i>performance</i> 150.1 < 180 min).	264
Quadro 78. $VO_2\text{max}$ em maratonistas lentos (<i>performance</i> > 180 min).	264
Quadro 79. Comparação entre as velocidades correspondente ao limiar anaeróbio nas três categorias de maratonistas da amostra.	264
Quadro 80. Comparação por categorias entre a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ - correspondente à velocidade da maratona ($VO_2\text{ maratona} \times VO_2\text{max}^{-1}$) dos estudos de Sjödín e Svedennhag (1985) , di Prampero (1986) e o nosso estudo.	265
Quadro 81. A utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ - correspondente à velocidade da maratona ($VO_2\text{ maratona} \times VO_2\text{max}^{-1}$) e os diferentes níveis de <i>performance</i> média.	265
Quadro 82. Comparação entre a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ correspondente à velocidade da maratona ($VO_2\text{ maratona} \times VO_2\text{max}^{-1}$), o $VO_2\text{max}$ e a <i>performance</i> , entre atletas com um $VO_2\text{max}$ superiores a 85 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	267
Quadro 83. Comparação por categorias entre a utilização fraccional da v_4 à velocidade da maratona ($v\text{ maratona} \times v_4^{-1}$) do nosso estudo e o de Sjödín e Svedennhag (1985).	268
Quadro 84. Comparação por categorias entre a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à v_4 ($VO_2v_4 \times VO_2\text{max}^{-1}$) do nosso estudo e o de Sjödín e Svedennhag (1985).	268
Quadro 85. Comparação entre a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ correspondente à velocidade da maratona ($VO_2\text{ maratona} \times VO_2\text{max}^{-1}$), o $VO_2\text{max}$ e a <i>performance</i> , entre atletas com um $VO_2\text{max}$ inferior a 68 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	269
Quadro 86. Comparação entre a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ correspondente à velocidade da maratona ($VO_2\text{ maratona} \times VO_2\text{max}^{-1}$), o $VO_2\text{max}$, a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à velocidade da maratona, o limiar anaeróbio e a <i>performance</i> , entre atletas com um $VO_2\text{max}$ superior a 85 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹ e inferior a 68 ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	270

Quadro 87. Correlações entre a <i>performance</i> desportiva na maratona e o consumo máximo de oxigénio.	279
Quadro 88. Correlações entre a <i>performance</i> na maratona e o consumo máximo de oxigénio para a totalidade da amostra e em grupos homogénios em termos de <i>performance</i>	280
Quadro 89. Valores de correlação entre a <i>performance</i> na maratona e o consumo máximo de oxigénio em grupos homogéneos em termos de <i>performance</i>	280
Quadro 90. Correlação entre a <i>performance</i> na maratona e o limiar anaeróbio. Estudos desenvolvidos com maratonistas de elite até ao momento.	281
Quadro 91. Correlação entre a <i>performance</i> na maratona e o limiar anaeróbio em função do nível desportivo dos maratonistas. Comparação entre o nosso estudo e o de Sjödín e Svedenhag (1985).	282
Quadro 92. Correlação entre a <i>performance</i> da maratona e a economia de corrida considerando o custo em oxigénio por unidade de distância. Valores de correlação para a totalidade da amostra e para grupos homogéneos em termos de <i>performance</i>	282
Quadro 93. Valores da correlação entre a <i>performance</i> desportiva na maratona e a economia de corrida considerando o VO_2 a uma intensidade submáxima.	283
Quadro 94. Valores da correlação entre a <i>performance</i> desportiva na maratona e a economia de corrida considerando o VO_2 à velocidade de 15 km.h^{-1} , num estudo efectuado por Sjödín e Svedenhag (1985).	283
Quadro 95. Velocidade correspondente ao limiar anaeróbio, utilização fraccional do $VO_{2\text{max}}$ à velocidade da maratona e percentagem da velocidade da maratona em relação à velocidade correspondente ao limiar anaeróbio, correspondentes ao nível funcional dos maratonistas do nosso estudo.	284
Quadro 96. Correlação entre a <i>performance</i> desportivo-motora e o limiar anaeróbio. Estudos desenvolvidos com maratonistas de elite até ao momento.	288
Quadro 97. Valores da lactatemia (Lac) no final da competição em maratonistas. ..	288

Quadro 98. Resultados da ANOVA por categorias dos maratonistas do nosso estudo nos valores médios \pm (DP) das variáveis: *performance* (p[t]), número de unidades de treino por semana (UT.sem⁻¹), número de km percorridos por semana (km.sem⁻¹), número de km da UT mais longa (km UT+Longa).294

Quadro 99. Volume de treino efectuado por semana por alguns atletas excepcionais (Lydiard e Gilmour, 1978; Lenzi, 1987; Noakes, 1991; Sandroock, 1996).296

Índice de equações

(1) - $VO_2\text{max} = Q \cdot \text{dif}(\text{art} - \text{ven})O_2$	15
(2) - $V_{\text{amax}} = FVO_2\text{max}/C$	26
(3) - $VO_2\text{max} \text{ (ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}) = 22.351 \times d \text{ (km)} - 11.288$	34
(4) - $d = 5(VO_2\text{max} - 6)t \Rightarrow VO_2\text{max} = d+30t / 5t$	35
(5) - $VO_2\text{max} = 2.27v + 13.3$	35
(6) - $VO_2\text{max} = 8.67v - 113$	35
(7) - $VO_2\text{max}_{\text{pista}} \text{ (ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) = 0.0324 \cdot (\text{MAS}_{\text{pista}})^2 + 2.143 \cdot \text{MAS}_{\text{pista}} + 14.49$	35
(8) - $\text{MAS} \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1}) = 0.97 \cdot v1500 \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1}) - 0.47$	36
(9) - $VO_2 = 1.353 + (v \times 3.163) + v^2 \times 0.0122586$	37
(10) - $VO_2 = 1.353 + (v \times 3.163) + v^2 \times 0.0122586$	37
(11) - $VO_2\text{max} = 3.5 \times v$	37
(12) - $\text{MAS}_{\text{calc}} = (VO_2\text{max} - 0.083)/C$	38
(13) - $VO_2\text{max} \text{ (ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) = 3.5 \times \text{VMA}$	40
(14) - $E = Cr \cdot v$	87
(15) - $v_{\text{max}} = E_{\text{max}} / Cr$	87
(16) - $v_{\text{END}} = F \cdot VO_2\text{max} / Cr$	87
(17) - $C = VO_2 \text{ (ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) / v \text{ (m}\cdot\text{min}^{-1}) \Rightarrow C \text{ (ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$	88
(18) - $F \cdot VO_2\text{max} = 0.94 - 0.001t$	88
(19) - $Cr \text{ (ml } O_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}) = VO_2 \text{ (ml de } O_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}) - 0.083.60 / v \text{ (km}\cdot\text{h}^{-1})$	89
(20) - $E_{\text{tot}}/M_b = 0.478 \cdot v_g + 1.53 + 0.685 \cdot v_g + 0.072$	101

Resumo

O treinador necessita conhecer regularmente a capacidade de adaptação do atleta ao processo de treino para poder manipular com precisão a dinâmica da carga externa a partir do seu efeito na carga interna.

A *performance* desportivo-motora na maratona, porque depende de um conjunto multivariado de parâmetros de origem distinta não pode ser entendida como um produto final, mas como um todo, resultante de um conjunto integrado de indicadores. Os mais importantes e aqueles que possuem um índice de treinabilidade razoável são os fisiológicos. A interacção destes parâmetros permite argumentar em torno dos factores diferenciadores da *performance* na maratona, sendo possível através da sua quantificação e modelação, especular sobre a possibilidade da sua evolução, prescrever o treino e predizer o nível do desempenho.

Com um delineamento experimental, este estudo baseou-se na recolha de um conjunto de indicadores fisiológicos (VO_2 max, economia de corrida e limiar anaeróbio), em 74 maratonistas adultos, do sexo masculino, com um nível de *performance* heterogéneo. O estudo de natureza transversal teve um momento de avaliação, realizado nas 3 semanas que antecediam a maratona, utilizando o protocolo de Daniels et al. (1985) para determinação do VO_2 max e da economia de corrida e o protocolo de Mader (1976) para determinação do limiar anaeróbio.

Após a análise exploratória dos dados, onde se averiguou a eventual presença de *outliers*, foi efectuada a estatística descritiva para os diferentes indicadores. Para o estudo diferencial das variáveis relativas aos indicadores fisiológicos e da carga do treino foi efectuada a ANOVA factorial. Para o estudo associativo das variáveis relativas aos indicadores fisiológicos e da carga do treino foi efectuada uma análise correlacional simples e múltipla. O nível de significância foi de 0.05.

Relativamente aos objectivos foi possível concluir o seguinte: (1) o consumo máximo de oxigénio, o limiar anaeróbio e a utilização fraccional do consumo máximo de oxigénio à velocidade da maratona, são indicadores diferenciadores da *performance* desportivo-motora na maratona; (2) a economia de corrida não diferencia a *performance* quer na análise global da amostra quer por categorias homogéneas de maratonistas; (3) o limiar anaeróbio foi o indicador fisiológico com o valor preditivo mais elevado de todas as variáveis estudadas; (4) os valores das estatísticas confirmam a qualidade dos resultados e sugerem uma forte plausibilidade para a variação dos parâmetros caracterizadores do volume de treino; (5) os indivíduos que utilizam parâmetros caracterizadores da intensidade do treino são os que possuem a melhor *performance* desportivo-motora na maratona.

Palavras chave: CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÉNIO, LIMIAR ANAERÓBIO, ECONOMIA DE CORRIDA, MARATONA, CALIBRAÇÃO DA CARGA.

Abstract

The coach must identify regularly the athlete's adaptation skill to the training process, in order to be able to manipulate, with accuracy, the external load dynamics from its effect on the internal load. The *performance* in a marathon race depends on a group of several variables with different origins and cannot be understood as a final product, but as a whole, resulting from an integrated group of indicators. The most important of them and those which possess reasonable indices of trainability are the physiological ones. The interaction between these issues allows a discussion about these different factors of the *performance* in a marathon race, being possible, through this quantification and modelling, to speculate about the possibility of its evolution as well as to prescribe the training and to predict the *performance* level.

With an experimental outline, this study was based on a collection of several indicators (VO_2max , running economy and anaerobic threshold) in 74 adult, male marathonists, with heterogeneous level of *performance*.

The transversal nature of this study had an evaluation moment, that took place three weeks before the marathon, using the Daniels et al. (1985) protocol, so that the VO_2max and the running economy could be determined. The Mader's protocol (1976) was also used to determine the anaerobic threshold.

After the exploratory analysis of the data, where it was searched an eventual presence of outliers, it was made a descriptive statistics for the different indicators. For a differential study of the variations related to the physiological indicators and to the training load, it was made a factorial ANOVA. For the associative study of the variations related to the training load it was made a simple and multiple correlational analysis. The significant level was 0.05.

Concerning the aims it was possible to conclude the following: (1) the maximal oxygen uptake, the anaerobic threshold and the fractional utilization of VO_2max at a marathon speed are differential indicators of the marathon *performance*; (2) the running economy doesn't make a difference in the *performance*, not only in the global analysis of the sample, but also in the homogenous categories of the marathonists; (3) the anaerobic threshold stood as the physiological indicator with the highest level of predictive value of all the variables studied; (4) the statistics value ratify the quality of the results and suggests a strong plausibility towards the variation of the characterizing training features; (5) the individuals who used characterizing intense training features where those who had a better marathon *performance*.

Key words: MAXIMUM OXYGEN CONSUMPTION, ANAEROBIC THRESHOLD, RUNNING ECONOMY, MARATHON, TRAINING CALIBRATION.

Résumé

L'entraîneur a besoin de connaître régulièrement la capacité d'adaptation de l'athlète dans le procès de l'entraînement pour pouvoir manipuler avec précision la dynamique de la charge externe à partir de l'effet dans la charge interne. La *performance* sportive-motrice du marathon, puisqu'elle dépend d'un ensemble multivarié de paramètres d'origine éloignés ne peut pas être entendue comme un produit final, mais comme un tout, dérivé d'un ensemble intégré d'indicateurs. Les plus importants et ceux qui possèdent un indice d'entraînabilité raisonnable sont les physiologiques. L'interaction de ces paramètres permet d'argumenter autour des facteurs différenciateurs de la *performance* dans le marathon, étant possible à travers de sa quantification et modélisation, especuler à propos de la possibilité de son évolution, prescrire l'entraînement et prédire son niveau.

Avec une délimitation expérimentale, ce travail s'est fondé dans la recueille d'un ensemble d'indicateurs physiologiques ($VO_2\max$, économie de course et seuil anaérobie) en 74 marathonniens adultes, du sexe masculin, avec un niveau de *performance* hétérogène. L'étude transversal a eu un moment d'avaliation réalisé dans les trois semaines précédentes du marathon, en utilisant le protocole de Daniels et al. (1985) pour déterminer le $VO_2\max$ et l'économie de course et celui de Mader (1976) pour déterminer le seuil anaérobie.

Après l'analyse exploratoire des résultats où on a avéré l'éventuelle présence d'*outliers*, on a utilisé une statistique descriptive pour les différents indicateurs. Pour l'investigation différentielle des variables qui concernent les indicateurs physiologiques et de la charge de l'entraînement a été réalisé l'ANOVA factorielle. Pour l'investigation associative des variables qui concernent les indicateurs physiologiques et de la charge de l'entraînement a été réalisé une analyse correlative simple et multiple. Le niveau de signifiante a été de 0.05.

En ce qui concerne les objectifs il a été possible de conclure le suivant: (1) la consommation maximale d'oxygène, le seuil anaérobie et l'utilisation fractionnelle du $VO_2\max$ à la vitesse du marathon sont des indicateurs différenciateurs de la *performance* sportive-motrice dans le marathon; (2) l'économie de course ne différencie pas la *performance* soit dans l'analyse globale de l'ensemble soit par catégories homogènes des marathonniens; (3) le seuil anaérobie a été l'indicateur physiologique avec la valeur prédictive la plus élevée de toutes les variables étudiées; (4) les valeurs des statistiques confirment la qualité des résultats et proposent une forte plausibilité pour la variation des paramètres caractéristiques du volume de l'entraînement; (5) les athlètes qui utilisent des paramètres caractéristiques de l'intensité de l'entraînement sont ceux qui possèdent la meilleure *performance* sportive-motrice dans le marathon.

Mots-clés: CONSOMMATION MAXIMALE D'OXYGÈNE, SEUIL ANAÉROBIE, COÛT ÉNERGÉTIQUE DE LA COURSE, MARATHON, CALIBRATION DE LA CHARGE D'UN ENTRAÎNEMENT.

Abreviaturas e símbolos

AC - antes de Cristo

ACSM - American College of Sports Medicine

AMS - mal de montanha (acute mountain sickness)

ATP - Adenosina trifosfato

bpm - batimento cardíaco por minuto

CaO₂ - conteúdo arterial em oxigênio

CC - corrida contínua

CCLD - corrida continua de longa duração

CLan - corrida com uma intensidade correspondente ao limiar anaeróbio;

CO₂ - dióxido de carbono

Cr - custo energético da corrida

dif (art - ven)O₂ - diferença artério venosa

d_{lim}vVO₂max - distância limite à velocidade a que ocorre o VO₂max

DP - desvio padrão

E - energia dispendida

EC - economia de corrida

ECG - electrocardiograma

E_{max} - VO₂max

ETC - Exercícios técnicos de corrida;

Etot - energia total

F - feminino

F_(z) - impulso vertical máximo

FC - frequência cardíaca

FC_{ex} - frequência cardíaca em exercício

FC_{max} - frequência cardíaca máxima
FCR - frequência cardíaca de reserva
FRS - força de reacção no solo
FVO₂max - %VO₂max
g(t) - fitness
G(z) - quantidade percentual de carga utilizada
GEB - atletas de elite com *performance* na maratona inferior a 150 min
GM - atletas médios com *performance* na maratona entre 150.1 e 180 min
GL - atletas lentos com *performance* na maratona superior a 180.1 min
h(t) - fadiga
IAAF - International Amateur Athletic Federation
IC - intervalo de confiança para a média
Kcal - quilocaloria
Kg - quilogramas
km - quilómetros
Lac - lactatemia
LAI - limiar anaeróbio individual
Lan - limiar anaeróbio
Lan_{MIN} - lactato mínimo
LB - sangue lisado
M - masculino;
MAS - velocidade aeróbia máxima (maximal aerobic speed)
Max - máximo
MaxLass - estado de equilíbrio máximo de lactato
Mb - massa corporal
MET - (*metabolic equivalent*)

MET - unidades de equivalente metabólico (1 MET = 3.5 ml.kg⁻¹.min⁻¹)

MFF - meio fundo e fundo

MI - membro inferior

min - minutos

ml - mililitros

mM - milimole

mmol.l⁻¹ - milimole por litro

mph - milhas por hora

MS - membro superior

ns - não significativo

O₂ - oxigénio

OBLA - onset of blood lactate accumulation

OPLA - onset of plasma lactate accumulation

p(t) - *performance*

PaCO₂ -

PAO₂ - quebra de O₂ na pressão alveolar

PDFC - ponto de deflexão da frequência cardíaca

Q - débito cardíaco

Q_{max} - débito cardíaco maximal

QR - quociente respiratório

reps - repetições

s - segundo

SDH - (succinato dehidrogenase)

SRT - shutle run test

ST - fibras de contração lenta

TFE - treino de força explosiva

TI - treino intervalado;

TIC - treino intervalado curto

TIL - treino intervalado longo e

$t_{lim}vVO_2max$ - tempo limite à velocidade correspondente ao VO_2max

TP - tempos de passagem

TR - tapete rolante

Trimp - impulso de treino

UMTT - Université de Montreal Track Test

UT - unidades de treino

v_{END} - máxima velocidade sustentável durante toda a corrida

$v_{1.5}$ - velocidade correspondente a uma lactatemia de 1.5 mmol.l⁻¹

v_2 - velocidade correspondente a uma lactatemia de 2 mmol.l⁻¹

$v_{2.5}$ - velocidade correspondente a uma lactatemia de 2.5 mmol.l⁻¹

v_3 - velocidade correspondente a uma lactatemia de 3 mmol.l⁻¹

$v_{3.5}$ - velocidade correspondente a uma lactatemia de 3.5 mmol.l⁻¹

v_4 - velocidade correspondente a uma lactatemia de 4 mmol.l⁻¹

$v_{4.5}$ - velocidade correspondente a uma lactatemia de 4.5 mmol.l⁻¹

VAM - velocidade aeróbia máxima

V_{amax} - velocidade aeróbia máxima (também designada por VMA, MAS ou vVO_2max)

v_{Lan} - velocidade correspondente ao limiar anaeróbio

VMA - velocidade aeróbia máxima (também designada por V_{amax} , MAS ou vVO_2max)

$v_{Maratona}$ - velocidade da maratona

$v_{MaxLass}$ - velocidade correspondente ao MaxLass

VO_2 - capacidade de consumo de oxigénio

VO₂ peak - pico de VO₂max (≠ plateau)

VO₂ pico - pico de VO₂max (≠ plateau)

VO₂max - consumo máximo de oxigénio

v_{OBLA} - velocidade a que ocorre o OBLA

v_{UMTT} - velocidade correspondente ao último patamar do UMTT

vVO₂max - velocidade aeróbia máxima; velocidade a que ocorre o VO₂max

W - watt

WB - sangue total

W_{lim} - total de trabalho desenvolvido

μl - microlitros

Δ% - alteração percentual

1. Introdução

1.1. Enquadramento do estudo

A aptidão funcional do maratonista depende, para além dos factores genéticos, na sua capacidade de adaptação ao treino. O treinador necessita conhecer regularmente este nível de adaptação do atleta ao processo de treino para poder manipular com precisão a dinâmica da carga externa a partir do seu efeito na carga interna, isto é, diagnosticar e prognosticar a cargabilidade óptima quanto ao volume e intensidade de cada um dos conteúdos de treino e tempos de recuperação.

Para uma melhor compreensão da *performance* desportivo-motora na maratona, que depende de um conjunto multivariado de parâmetros de origem distinta, não a devemos analisar como um produto final, mas como um todo, resultante de um conjunto integrado de indicadores. Que tipo de variáveis preditoras devemos considerar que esclareçam o quadro de relações entre si, isto é, ajudem a entender a sua estrutura e a predizer a *performance*? Os indicadores mais importantes e aqueles que possuem um índice de treinabilidade razoável são os fisiológicos (VO_2 max, economia de corrida, utilização fraccional do VO_2 max à velocidade da competição, limiar anaeróbio) e os mecânicos (amplitude, frequência e oscilação vertical da passada). A interacção de alguns destes parâmetros permite argumentar em torno dos factores diferenciadores da *performance* na maratona, sendo possível caracterizar com maior acuidade o perfil aeróbio dos atletas, aferir a intensidade da carga, avaliar o impacto do treino e predizer a *performance*.

Para além dos factores psicológicos, também endógenos como os acima referidos, deveremos considerar os exógenos, decorrentes do meio ambiente (humidade, temperatura, resistência do ar e do vento, precipitação, altitude), da estratégia a utilizar na competição, da manipulação dietética nos dias e nas horas que antecedem a maratona, do perfil topográfico do percurso e da fadiga decorrente da depleção de substratos energéticos, que também interferem no resultado final da maratona, mas não vão ser objecto do nosso trabalho.

Neste estudo, pretendemos interrelacionar a *performance* da maratona com alguns dos parâmetros fisiológicos referidos, na tentativa de identificar os procedimentos do treino mais eficazes, aqueles que encerram um nível superior de abrangência e interdisciplinaridade.

1.2. Pertinência do estudo

Alguns trabalhos recentemente efectuados em Portugal contribuíram para uma melhor compreensão das questões relacionadas com a metodologia e o controlo do treino do meio fundo e fundo (MFF) a partir de alguns indicadores fisiológicos que interferem na *performance* desportivo-motora. Estes estudos centraram-se mais especificamente nos aspectos relacionados com: (1) a metodologia de treino de MFF utilizada pelos treinadores portugueses (Paiva, 1994; Silva, 1995; Ascensão, 1996; Neves, 1996; Rolim, 1998); (2) os métodos de determinação do limiar aeróbio-anaeróbio a partir de testes de terreno (Santos, 1995a); (3) a avaliação da intensidade do treino em atletas de MFF (Santos, 1995b).

A maratona é hoje uma das áreas de investigação das ciências do desporto mais profusamente estudada dos últimos anos, quer ao nível dos atletas de elite quer dos mais lentos. Uma tecnologia cada vez mais sofisticada ao serviço dos investigadores e dos especialistas do treino, permite monitorizar os atletas e estabelecer uma relação entre a carga do treino (duração, intensidade e densidade) e os indicadores fisiológicos referidos: o $VO_2\max$, a economia de corrida, utilização fraccional do $VO_2\max$ à velocidade da competição e o limiar anaeróbio.

De facto, um dos requisitos essenciais dos bons maratonistas é a sua capacidade de correrem utilizando uma percentagem elevada do consumo de oxigénio por um período prolongado de tempo (Costill, 1969). Um grande número de estudos (Astrand, 1954; Saltin e Astrand, 1967) referem valores elevados para o $VO_2\max$ em atletas que efectuam esforços de longa duração. Outros investigadores (Costil e Fox, 1969; Pollock, 1977; Foster et al., 1977) vieram confirmar a existência de valores elevados deste indicador entre os melhores maratonistas. Em estudos efectuados em atletas com marcas inferiores a 2h 30min, os valores médios de $VO_2\max$ oscilavam entre 70.9 e 79 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$, o que permitiu concluir haver uma boa relação entre a *performance* desportiva e este indicador (Costill e Fox, 1969; Pollock, 1977; Foster et al., 1977; Davies e Thompson, 1979; Svedenhag e Sjödin, 1984). No entanto, outros estudos de Costill et al. (1971, 1973) não evidenciaram uma

correlação significativa entre o $VO_2\text{max}$ e a *performance* na maratona, tendo sido descrita uma considerável variação nos níveis de desempenho na maratona entre atletas com um $VO_2\text{max}$ idêntico. Também foram observadas grandes variações do $VO_2\text{max}$ entre atletas com *performances* desportivas semelhantes (Pollock, 1977). Mais tarde, outros autores (Maughan e Leiper, 1983; Sjödín e Svedenhag, 1985) concluíram que a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ tinha uma melhor relação com a *performance*, tendo determinado laboratorialmente que os maratonistas de elite corriam utilizando, em média, 75% $VO_2\text{max}$ e que quanto melhor era o nível funcional do atleta mais elevado era este valor. Deste modo, o $VO_2\text{max}$ deixou de ser o indicador fisiológico principal na identificação dos atletas de talento nas corridas de duração por apresentar uma correlação moderada com a *performance* desportiva-motora na maratona.

Outra variável preditora inicialmente descrita como apresentando elevadas correlações com a *performance* na maratona é a economia de corrida, quando considerada como o custo em oxigénio por unidade de distância à velocidade da competição, i.e., a exigência aeróbia específica da corrida (Daniels e Daniels, 1992). No entanto outros investigadores referem que a economia de corrida correspondente ao consumo de oxigénio a intensidades submaximas, varia entre sujeitos (Costill et al., 1973; Daniels, 1974; Farrel et al., 1979; Sjödín e Schele, 1981; Svedenhag e Sjödín, 1984). Segundo alguns autores (Conley e Krahenbuhl, 1980; Daniels, 1974; Daniels et al., 1977; Williams e Cavanagh, 1987) uma questão intrigante que permanece por resolver é saber porquê alguns indivíduos demonstram de forma marcante uma melhor economia de corrida quando comparados com outros indivíduos que possuem níveis idênticos de preparação e de desempenho. Elevados valores de consumo máximo de oxigénio são requisitos que distinguem os atletas treinados, no entanto, tem sido demonstrado que um boa economia de corrida, i.e. um menor VO_2 para uma determinada intensidade de corrida, está relacionada com o sucesso entre atletas que possuam um $VO_2\text{max}$ semelhante (Morgan e Daniels, 1994). A economia de corrida é um factor diferenciador da *performance* desportiva entre atletas com um $VO_2\text{max}$ igual ou muito próximo (Conley e Krahenbuhl 1980). Outros autores (Daniels, 1974, Pollock, 1977, Farrel et al., 1979) referem que os atletas de elite não são os que

possuem um $VO_2\text{max}$ mais elevado, mas sim os que são mais económicos à velocidade da competição, i.e., que apresentam menores valores de VO_2 a essa intensidade específica. Foram estabelecidas correlações significativas entre o consumo de oxigénio a várias intensidades submaximas e a *performance* desportivo-motora na maratona para valores de *performance* inferiores a 2h 30min (Pollock, 1977; Farrell et al., 1979) e não significativas entre atletas que correm para marcas situadas entre 150min e 180min (Davies e Thompsom, 1979) e entre 143min e 248min (Foster et al., 1977).

Nas corridas de duração a solicitação energética depende quase exclusivamente do metabolismo oxidativo, o que é evidenciado pela baixa lactatemia observada em atletas de elite no final da maratona (Costil, 1969, Pollock, 1977, Farrel et al., 1979, Sjödin e Jacobs, 1981, di Prampero et al., 1986). São inúmeros os investigadores, entre os quais Heck et al. (1985), Mader (1991), Hauswirth et. al. (1997), Bodner e Rhodes, (2000) que consideram as concentrações de lactato sanguíneo avaliadas a uma intensidade submáxima, como um indicador com um nível preditivo superior, sugerindo a sua utilização privilegiada para a prescrição da carga no treino e a predição da *performance* (Billat, 1991; Davis, 1995; Brooks et al., 1996).

Hollmann (1961) foi o primeiro a introduzir o conceito de ponto de rotura ventilatório quando num teste incremental no cicloergómetro verificou que existia um ponto em que a ventilação pulmonar aumentava e o consumo de oxigénio estabilizava. A este ponto de rotura ventilatório foi associado um limiar metabólico de acumulação de lactato, designado inicialmente por Wassermann e Mcllroy (1964) como limiar anaeróbio e definido como sendo o valor mais elevado do VO_2 a partir do qual ocorre um aumento sistemático na acumulação sanguínea deste catabolito. Por outro lado, Jacobs (1986) afirma que num exercício incremental a acumulação do lactato sanguíneo é função linear da potência desenvolvida e do consumo de oxigénio, podendo acontecer que uma carga promova um aumento não linear deste metabolito, provocando um aumento abrupto da sua concentração muscular e sanguínea. Este ponto de rotura a partir do qual a lactatemia deixa de estar estável pode designar-se de limiar anaeróbio.

A tentativa de explicar a variabilidade interindividual da *performance* pressupõe a utilização de modelos resultantes da relação rendimento/tempo e

distância/tempo. A velocidade, enquanto fruto da relação entre a distância do percurso e o tempo dispendido a percorrê-lo, será referencial quantitativo da *performance* para todas as manifestações desportivas baseadas na corrida. A *performance* da maratona não é condicionada exclusivamente por uma única variável, mas por um conjunto de variáveis preditoras, intimamente associadas, que se intercorrelacionam e distribuem por vários domínios (metodologia do treino, fisiologia, psicologia, biomecânica, biologia, entre outras). Um modelo preditivo parcimonioso da *performance* da maratona terá que considerar apenas variáveis do domínio fisiológico e do treino desportivo.

Estudos anteriores (Conley e Krahenbuhl, 1980; Sjödín e Jacobs, 1981; Daniels 1985; Sjödín e Svedenhag, 1985; di Prampero, 1986, Fohrenbach et al., 1987; Péronnet e Thibault, 1989; Joyner, 1991; Helgerud et al., 1994; Billat et al., 2001) demonstram que o limiar anaeróbio, a economia de corrida e o VO_{2max} , assim como outros indicadores a si relativizados, são preditores de excepção da *performance* desportivo-motora da maratona. Neste estudo interessa-nos saber se o seu contributo no desempenho resulta da sua interacção ou se estes três indicadores fisiológicos são independentes entre si.

Atendendo ao elevado número de maratonistas da nossa amostra ($n=78$), em que registamos os indicadores fisiológicos referidos e a metodologia de treino utilizada, parece-nos pertinente comparar os resultados obtidos com alguns dos estudos realizados.

Um melhor conhecimento do impacto dos meios e métodos utilizados ao longo do processo de treino e na *performance*, permitirá conhecer com maior rigor os seus factores limitativos, calibrar a carga, predizer a *performance* e construir um quadro de referências caracterizadoras do processo de treino da maratona.

A *performance* desportivo-motora resulta de um conjunto multivariado de indicadores tornando-se necessária a sua análise como um todo e não como um produto final. A sua validação prática assenta na manipulação eficaz de conteúdos inseridos no processo de treino e traduz-se na possibilidade de compreender, controlar e predizer o resultado final. A grande questão é descobrir que tipo de variáveis preditoras da *performance* permitem esclarecer o quadro de relações entre si e entender a sua estrutura.

1.3. Objectivos

Para responder ao problema central do nosso estudo sabendo que grupos distintos de desempenho na maratona evidenciam diferenças médias relevantes num conjunto de variáveis preditoras dos domínios fisiológico e do treino estabelecemos os seguintes objectivos:

(1) Determinar o grau de dependência da *performance* desportivo-motora na maratona relativamente a um conjunto de indicadores fisiológicos - consumo máximo de oxigénio, economia de corrida e limiar anaeróbio.

(2) Determinar a relação entre a *performance* desportivo-motora na maratona e um conjunto de variáveis preditoras do domínio do treino, caracterizadores da dinâmica da carga: a distância percorrida semanalmente por cada atleta, a distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona, a distância semanal percorrida à velocidade da maratona, a distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio, a distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros, a distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros.

1.4. Estrutura do trabalho

A estrutura deste trabalho procura dar resposta aos objectivos previamente formulados e através da revisão da literatura, estabelecer um quadro conceptual de referências sobre cada um dos indicadores preditivos na *performance* desportivo-motora da maratona que consideramos neste estudo: os fisiológicos e os do treino, caracterizadores da dinâmica da carga.

Nesta perspectiva optamos pela seguinte estrutura:

O capítulo 1 contempla a introdução que engloba a pertinência do estudo.

O Capítulo 2 contém a revisão da literatura sobre a delimitação conceptual e operativa da maratona, de todos os indicadores considerados neste estudo (VO_2 max, economia de corrida e limiar anaeróbio) como influenciando o treino e o nível do desempenho, bem como da apresentação de alguns estudos realizados nesse âmbito. Será ainda referido o quadro de relações que se estabelecem entre o processo de treino, o seu controlo a partir dos indicadores fisiológicos e a *performance*.

No capítulo 3 serão apresentados os objectivos e hipóteses.

No capítulo 4 será apresentada a metodologia - a caracterização da amostra, os instrumentos de avaliação e estatísticos utilizados.

No capítulo 5 apresenta-se o comportamento dos resultados em função dos diferentes grupos de *performance* desportiva na maratona e a sua relação com os parâmetros avaliados.

No capítulo 6 apresenta-se a discussão dos resultados onde se comparam os dados obtidos procurando a sua interpretação e significação.

No Capítulo 7 são apresentadas as principais conclusões.

No Capítulo 8 é referida a bibliografia consultada para fundamentação da pesquisa.

2. Revisão da Literatura

2.1. Aspectos fisiológicos do treino da maratona

2.1.1. Consumo máximo de oxigénio (VO₂max)

2.1.1.1. Definição

Archibald Vivian Hill (1886-1977), galardoado em 1922, conjuntamente com o bioquímico alemão Otto Meyerhoff, com o Prémio Nobel em Fisiologia e Medicina, refere e define pela primeira vez o termo "consumo máximo de oxigénio" a partir da investigação efectuada no seu laboratório de fisiologia em Manchester, decorria o ano de 1923.

O consumo máximo de oxigénio é habitualmente abreviado para VO₂max, onde V representa o volume consumido por minuto, O₂ o oxigénio e max indica que o valor obtido foi alcançado num esforço de intensidade maximal.

Hill e Lupton (1923) sugerem que na corrida o O₂ requerido evolui continuamente à medida que a velocidade aumenta, atingindo os valores mais elevados às velocidades mais altas. No entanto, o consumo de O₂ atinge um valor máximo (*plateau*) que não se altera mesmo com aumentos adicionais da carga. O pioneirismo destes investigadores é reforçado quando defendem que os limites da produção aeróbica de energia se estabelecem pelo consumo máximo de oxigénio, limite a partir do qual, mesmo aumentando a intensidade do esforço, não há aumento do consumo de oxigénio.

Com efeito, Hill e Lupton (1923) foram os primeiros a mencionarem: (1) a existência de um limite máximo para o consumo de oxigénio; (2) diferenças interindividuais no VO₂max; (3) que um elevado VO₂max é um pré-requisito para o sucesso nas corridas de meio-fundo e fundo; (4) e que o VO₂max é limitado pela capacidade do sistema cardiorespiratório em transportar oxigénio para os músculos.

Este conceito de "consumo máximo de oxigénio" divulgado pelos trabalhos de Hill e Lupton (1923) e Hill et al. (1924) foi validado, aceite e aprofundado por eminentes fisiologistas (Åstrand 1952, Taylor et al. 1955, Mitchell et al. 1958, Costill et al. 1973, Rowell 1986, Saltin e Strange 1992) e encarado com algum cepticismo e criticado por outro investigador das ciências do desporto (Noakes 1997).

O VO₂max é actualmente considerado o melhor indicador da capacidade do sistema cardiovascular por ser o mais globalizante, isto é, aquele que representa o limite máximo de tolerância do exercício aeróbio e traduz a

capacidade de produzir energia aeróbia, a uma taxa elevada (Wilmore, 1979; Squiree e Bove, 1984; Reilly e Secher, 1990; Snell, 1990; Davis, 1995; Brooks et al., 1996; Pereira, 1997c; Pereira, 1997d). O metabolismo aeróbio decorrente da capacidade de fornecer energia aos tecidos, quando submetido a actividades físicas de duração elevada, pode ser mensurado a partir das trocas gasosas efectuadas a nível pulmonar, dependendo, entre outros factores, do consumo e da utilização de O₂ (Billat, 1991; Brooks e al., 1996).

O VO₂max é a quantidade máxima de oxigénio que o nosso organismo consegue captar (ventilação), fixar (trocas alvéolo-capilares), transportar (sistema cardiovascular) e consumir (respiração celular) por unidade de tempo, durante uma actividade de intensidade crescente até à exaustão e que envolva um conjunto alargado de grupos musculares correspondente a pelo menos 50% da massa muscular total (Holly, 1993; Thoden, 1995; Brooks et al., 1996; Pereira, 1997a, 1997b, Basset e Howley, 2000). Por sua vez, Wasserman et al. (1986) e Bangsbo (2000) definem VO₂max como o VO₂ *steady-state* em que, apesar do aumento contínuo da velocidade, o VO₂ atinge o valor mais elevado. Já Taylor (1955) define VO₂max como o *plateau* onde o aumento de VO₂ é menor que 2.1 ml.kg⁻¹.min⁻¹ para um aumento de velocidade de 1 km.h⁻¹. Com efeito, este indicador depende da quantidade de massa muscular solicitada na actividade física desenvolvida, pelo que o VO₂max é superior, durante um esforço máximo que envolva a massa muscular dos membros inferiores, àquele que solicita exclusivamente os membros superiores. O VO₂max é mais elevado quando solicitados os músculos habitualmente envolvidos no treino, o que vem corroborar a necessidade de utilizar um ergómetro que se aproxime o mais possível da especificidade do gesto técnico do sujeito.

O VO₂max, uma vez que representa o metabolismo aeróbio máximo, também pode ser designado de potência aeróbia máxima.

Quanto mais pobre em O₂ for o sangue venoso que abandona o músculo, tanto mais oxigénio é consumido. À diferença entre a quantidade de O₂ contido no sangue arterial e no sangue venoso, que sai do músculo, dá-se o nome de diferença artério-venosa [dif (art - ven)O₂] expressa em mililitros de O₂ por 100 ml de sangue ou pelo volume percentual (Vol %).

Do produto do débito cardíaco (Q) com a diferença artério venosa resulta o VO₂ max, que podemos representar pela equação de Fick (1):

$$\text{VO}_2\text{max} = Q \cdot \text{dif}(\text{art} - \text{ven})\text{O}_2 \quad (1)$$

Este parâmetro pode ser expresso em termos absolutos (l·min⁻¹) ou relativos (ml·kg⁻¹·min⁻¹), permitindo assim comparar atletas com massas corporais diferentes.

No entanto, o VO₂max tem sido objecto de inúmeras críticas, quanto à sua eficácia no controle e prescrição do treino, assim como na predição da *performance* em atletas de médias e longas distâncias (Åstrand e Rodahl, 1970; Svedenhag e Sjödin, 1984; Sjödin e Svedenhag, 1985; Heck et al., 1985; Santos, 1995).

De acordo com Noakes (1988) a validade do VO₂max, como preditor da *endurance*, deve ser questionada, uma vez que as melhorias induzidas pelo treino na *performance* dos corredores não são acompanhadas com uma optimização do VO₂max. Este desinteresse por parte de alguns investigadores das ciências do desporto e especialistas do treino desportivo em aceitar o VO₂max como referencial do perfil aeróbio dos atletas, tem vindo a ser contrariado progressivamente, tendo surgido outros indicadores a si relativizados que apresentam melhores índices de correlação com a *performance* desportiva.

Segundo di Prampero (1985), Ekblom (1986), Rieu (1988), di Prampero e Ferreti (1990), Sutton (1992), Ferreti e di Prampero (1995), Brooks et al. (1996), di Prampero (1999) e Basset e Howley (2000), Richardson et al. (2000), os factores limitativos do VO₂max podem ter origem central, se dependem da quantidade de sangue e de O₂ transportados até ao músculo esquelético, ou periférica, quando dependem da quantidade de O₂ que é extraído e consumido no músculo activo.

De acordo com Basset e Howley (2000), como limitação central surgem: (1) a velocidade máxima de difusão do oxigénio através da membrana respiratória (alveolo-capilar); (2) a capacidade máxima de transporte de oxigénio pelo sangue que depende dos valores do débito cardíaco máximo (Q_{max}) e do conteúdo arterial em oxigénio (CaO₂).

No que concerne à limitação periférica, os mesmos autores referem que esta depende das características do músculo esquelético e da sua capacidade em extrair do sangue uma maior ou menor quantidade de oxigénio.

di Prampero (1999) refere, quanto aos factores limitativos do VO₂max, que a análise do percurso do O₂ do meio ambiente até à mitocôndria, apresenta-se como uma sucessão de resistências em série: 1) o O₂ transportado é directamente proporcional ao produto do débito cardíaco e da concentração da hemoglobina; (2) a difusão e perfusão periférica são directamente proporcionais à densidade capilar do músculo esquelético; (3) a capacidade mitocondrial é directamente proporcional à actividade da SDH (sucinato dehidrogenase) no tecido muscular.

di Prampero (1999) afirma que as alterações pontuais de cada uma destas resistências dependem, entre outras, da relação treino/destreino, sendo possível calcular a importância percentual de cada uma, enquanto factor limitativo do VO₂max. O mesmo autor refere que 70% da limitação decorre da capacidade de transporte de O₂ pela circulação e os restantes 30% são repartidos pela capacidade de difusão e perfusão e ainda pela capacidade mitocondrial.

2.1.1.2. Métodos de determinação

Relativamente à maratona, uma corrida de 42195 m com duração superior a duas horas, importa correr em equilíbrio bioquímico à velocidade o mais elevada possível, correspondente a uma determinada percentagem, também elevada, do VO₂max. A melhor marca mundial desta competição, 2h05min42s, (125.7 minutos), corresponde a uma velocidade de 20.141 km·h⁻¹ (5.59 m·s⁻¹) equivalente a uma média de 2min58s por cada 1000 m. A aptidão fisiológica de um maratonista consiste na sua maior ou menor capacidade de transformar energia química em mecânica, pelas oxidações. A avaliação desta aptidão fisiológica pode ser efectuada pela determinação do consumo máximo de oxigénio, utilizando o método directo, quando se efectua a recolha dos gases expirados, ou indirecto, quando se faz a extrapolação a partir da relação linear entre o VO₂ e a FC (frequência cardíaca), a velocidade da corrida, o tempo dispendido ou o espaço percorrido (Billat, 1998).

A determinação directa do VO₂max implica equipamento sofisticado, pessoal especializado, envolve alguns riscos porque se trata de um exercício em esforço máximo, para além de ser demorado e dispendioso. Por estas

razões, foram desenvolvidos, aperfeiçoados e vulgarizados métodos indirectos que podem ser efectuados a intensidades submáximas.

Para a determinação do VO₂max podemos recorrer a ergómetros gerais, se pretendemos avaliar os atletas independentemente da modalidade que praticam (ex: tapete rolante, cicloergómetro) ou específicos quando concebidos, respeitando um determinado padrão de movimento próximo do treino e da competição, no que se refere à carga funcional, à frequência de movimentos e à posição espacial do atleta (ex: *swim-mill*, remo-ergómetro, kayak-ergómetro).

O VO₂max, quando determinado em diferentes ergómetros, apresenta resultados distintos. Os valores obtidos no *step*, no cicloergómetro ou no ergómetro de braços, são respectivamente mais baixos 2%, 10% e 20% que no tapete rolante (Holly 1993, Pereira 1997b). Isto acontece porque o tapete rolante é o que apresenta menor participação do trabalho estático, envolvendo um maior volume de massa corporal, o que implica um maior dinamismo.

O tapete rolante, por utilizar como estímulo funcional a marcha ou a corrida, deve: (1) estar colocado no solo; (2) oferecer uma superfície com área suficiente para a actividade a desenvolver; (3) possuir barras de segurança laterais que não perturbem o movimento; (4) integrar um dispositivo analógico ou digital para controlo da velocidade (até 40 km.h⁻¹) e da inclinação (0 a 25%); (5) incluir um sistema de travagem gradual ou imediato para situações de emergência.

As vantagens deste ergómetro são: (1) manter uma velocidade estabilizada e pré-determinada; (2) possuir excelente adaptabilidade para a marcha ou a corrida; (3) permitir a obtenção de valores elevados de VO₂max em corredores.

As desvantagens do tapete rolante são: (1) representar um custo elevado; (2) requerer energia eléctrica; (3) não ser portátil; (4) dificultar a recolha de qualquer amostra em movimento como a medição da pressão arterial ou a recolha de sangue; (5) necessitar da colaboração de um profissional especializado.

No cicloergómetro, o sujeito não tem que deslocar a sua massa corporal, uma vez que o exercício acontece numa posição sentada ou reclinada e a massa muscular mobilizada, predominantemente dos membros inferiores, é menor. Nos testes com *steps*, a altura e o número de degraus diferem entre os

autores, daí a necessidade de escolher criteriosamente esses valores, tendo em consideração o peso e a altura do sujeito. Para a obtenção do VO₂max, o ritmo necessário à realização do teste é incompatível com as características biomecânicas inerentes à sua concepção, principalmente pela variação na oscilação vertical do centro de massa. Deste modo, só deve ser utilizado em protocolos submáximos (Pereira, 1997a). O ergómetro de braços, que pode ser duplo ou simples, permite uma moderada estimulação cardio-respiratória, daí o seu consumo máximo de oxigénio ser significativamente inferior (-20%).

Durante um teste incremental até à exaustão observa-se que ao aumento da velocidade e/ou da inclinação, no tapete rolante, corresponde um

Quadro 1. Características genéricas dos ergómetros de uso comum (classificação crescente de 1 a 4) Adaptado a partir de Pereira (1997a).

Critérios	T. Rolante	Cicloerg.	Step	Erg. Braços
Obtenção de VO ₂ elevado	4	2	3	1
Monitorização	3	4	1	2
Fadiga muscular local	4	2	3	1
Adaptação ao ergómetro	4	3	2	1
Custo do equipamento	4	3	1	2
Manutenção	4	2	1	3

aumento linear do consumo de oxigénio (Åstrand, 1973; Holly, 1993; Davis 1995). A uma determinada intensidade, a capacidade máxima de transporte de oxigénio para os músculos activos é atingida e o consumo de oxigénio (VO₂) atinge uma plataforma (*plateau*), permanecendo inalterável, apesar do aumento contínuo da carga. O valor alcançado neste *plateau* é o VO₂max. Noakes (1998) refere que o "*Plateau phenomenon*" é um conceito de Taylor (1955), erradamente atribuído a Hill et al. (1924), uma vez que aquele foi o primeiro a descrevê-lo de uma forma adequada, compreensível e de acordo com a maioria dos textos de fisiologia do exercício.

Bassett e Howley (1997) e Bassett e Howley (2000) rebatem a opinião de Noakes (1998), referindo que, na década de 20, Hill e colegas já afirmavam que existia um limite máximo para o consumo de oxigénio, que esta variável apresentava diferenças interindividuais, que era limitada pelos sistemas respiratório e/ou circulatório, que aumentava linearmente com a velocidade e ainda que em alguns sujeitos, eventualmente, se atingia um valor de VO₂max que permanecia inalterável apesar do aumento da intensidade de esforço

(*reaches a maximum beyond which no effort can drive it.*), numa alusão clara ao "Plateau phenomenon".

Os pressupostos para a realização de um teste maximal para a identificação do VO₂max são os seguintes (Brooks et al. 1996): (1) o exercício deve solicitar pelo menos 50% da massa muscular total, deve ser contínuo, possuir um ritmo uniforme e ser prolongado no tempo; (2) os resultados devem ser independentes da motivação ou do *skill*; (3) quando durante o exercício os valores de consumo de oxigénio estabilizarem, a intensidade da carga deve poder evoluir para valores superiores; (4) o exercício deve ser efectuado sob condições standardizadas, sendo de evitar temperaturas e humidade excessivas, altitude elevada e poluição atmosférica. O consumo máximo de oxigénio encontrado sem se cumprirem as condições acima descritas, será designado de pico de VO₂ (VO₂ peak) em vez de VO₂max.

Segundo Astrand (1973), Billat (1991), Holly (1993), Davis (1995) e Billat (1998), os critérios fisiológicos associados à obtenção do VO₂max são: (1) um *plateau* VO₂, mesmo quando a carga continua a aumentar; (2) uma lactatemia superior a 8 mmol/l durante os primeiros 5 minutos de recuperação; (3) um quociente respiratório (Q) final igual ou superior a 1.1; e (4) uma FC final superior a 90% da FC máxima teórica. A definição destes critérios envolve alguma controvérsia, mas aceita-se que o VO₂max foi alcançado se pelo menos um dos critérios referidos foi atingido pelo sujeito.

Se na determinação do VO₂max em indivíduos sedentários, idosos ou doentes, não ocorre qualquer dos critérios pré-definidos para o efeito, apresentando os sujeitos sintomas de angina, fadiga ou visão desfocada, o valor alcançado não representa um limite fisiológico, mas um limite funcional que também pode ser designado por VO₂peak.

Para a determinação em laboratório do VO₂max podem utilizar-se provas ergométricas máximas ou sub-máximas. No primeiro caso a determinação faz-se de forma directa ou indirecta e no segundo de forma indirecta. Os testes de terreno para a determinação do VO₂max também podem ser máximos ou sub-máximos.

2.1.1.2.1. Métodos directos

A forma mais consistente e fiável para avaliar o VO₂max é através da medição directa do gás expirado enquanto um indivíduo realiza um esforço até à exaustão, utilizando o maior número possível de grupos musculares (Cox, 1991)

A avaliação directa do VO₂max é efectuada por espirómetros (o pioneiro foi o Tissot) que recolhem e medem os gases inspirados, a maior parte das vezes num circuito aberto. O corredor inspira o ar ambiente, de composição constante, que passa no bocal por uma válvula de Rudolph, entra seguidamente numa câmara de mistura e posteriormente para um saco hermético, de Douglas, onde sensores e analisadores electrónicos ligados a computadores, determinam a espaços regulares (respiração a respiração, 10 em 10, 20 em 20 ou 30 em 30 s) por análise das fracções gasosas, a diferença na composição de ar inspirado e expirado, os volumes ventilatórios, o O₂ consumido, o CO₂ produzido e outros factores dependentes destes parâmetros respiratórios (quociente respiratório, equivalentes ventilatórios), reflectindo o gasto energético da actividade (Billat, 1998).

Determinação do VO₂max e da vVO₂max (VAM)

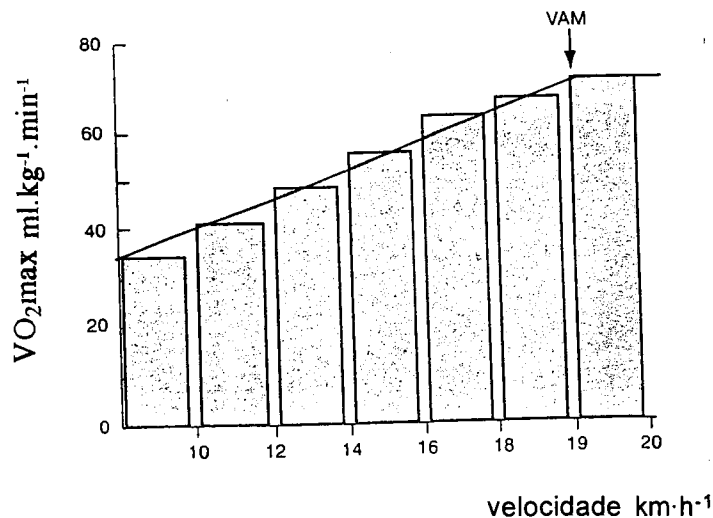


Figura 1

Determinação do VO₂max e da vVO₂max (VAM). Protocolo que evidencia a relação entre VO₂ e o aumento da velocidade da corrida, em patamares de 3 min. VAM é a velocidade máxima aeróbia, isto é, a mais baixa que permite solicitar o VO₂max e, por isso, é também designada por vVO₂max. (Adaptado de Billat, 1998).

Os protocolos utilizados para a determinação directa do VO₂max podem ser triangulares ou rectangulares. Nos protocolos triangulares (ver figura 1), a intensidade do exercício é progressiva e os patamares têm a duração de 1 a 4 min, sem qualquer tempo de recuperação até à exaustão ou até se atingir um *plateau* no consumo de oxigénio. Nos protocolos rectangulares, o sujeito realiza uma série de exercícios de intensidade constante com a duração de 5 a 6 min e tempos de recuperação de 3 a 10 min (Billat, 1998). As diferenças dos resultados obtidos para determinação do VO₂max entre protocolos triangulares e rectangulares são pouco significativas (Vandewalle e Friemel, 1989). Os valores de VO₂max obtidos através de protocolos contínuos são idênticos aos observados em protocolos descontínuos (McArdle et al., 1973).

Segundo Buchfuhrer et al. (1983), a determinação do VO₂max depende do protocolo utilizado. Os protocolos rápidos, com grandes incrementos de carga por min, terminam mais cedo por insuficiência de força muscular (fadiga local) enquanto os lentos, com pequenos incrementos de carga, determinam valores do VO₂max muito inferiores ao verdadeiro valor.

Os protocolos lentos, por terem uma duração elevada (em média 18 min no cicloergómetro e 26 min no tapete rolante) promovem um grande aumento da temperatura corporal, em que o fluxo do sangue para a musculatura diminui, aumentando a circulação subcutânea para dissipar o calor. Isto implica a diminuição do consumo de oxigénio nos músculos activos, que por serem muito exaustivos, requerem níveis volitivos e de empenhamento elevados (Davis 1995). Assim sendo, Buchfuhrer et al., (1983) recomendam para os protocolos uma duração intermédia de 8 a 12 min.

Os protocolos maximais contínuos e graduais no tapete rolante mais utilizados são:

(1) Teste de Marcha de Balke - realiza-se a velocidade contínua (5.5 km·h⁻¹) e com uma inclinação de 0% nos dois primeiros minutos, findos os quais sobe para 2% e aumenta a partir daí 1% por minuto. Este teste é para indivíduos destreinados, uma vez que os treinados chegam a atingir desconfortáveis inclinações superiores a 20%.

(2) Teste de Marcha de Balke modificado - efectua-se a velocidades mais elevadas. Surge porque McArdle et al. (1973), ao compararem os resultados do Teste de Marcha de Balke e um teste de corrida, encontraram no primeiro

valores de VO₂max 5% mais baixos, o que pode ser minimizado pelo aumento da velocidade da marcha.

(3) Maksud e Coutts (1971) - um teste de corrida muito utilizado que se efectua com uma velocidade constante de 9.6 km·h⁻¹, inicialmente com uma inclinação de 0% e que sofre um incremento de 2.5% em cada 2 minutos.

Os protocolos maximais por incrementos graduais no tapete rolante mais utilizados são:

(1) o protocolo de Wassermman et al. (1986) - a variação de velocidade ocorre a cada minuto mas a inclinação não se altera.

(2) o protocolo de Mitchel, Sproule e Chapman (1958) - inicia com o sujeito a caminhar durante 10 min a uma velocidade de 3 mph com uma inclinação de 10%. Após 10 min de recuperação, o testado corre durante 2.5 min a 6 mph com uma inclinação de 2.5%. Após outros 10 min de recuperação, o testado corre durante 2.5 min a 9.7 km·h⁻¹ com uma inclinação de 5% e assim sucessivamente (10 min de recuperação e incremento de

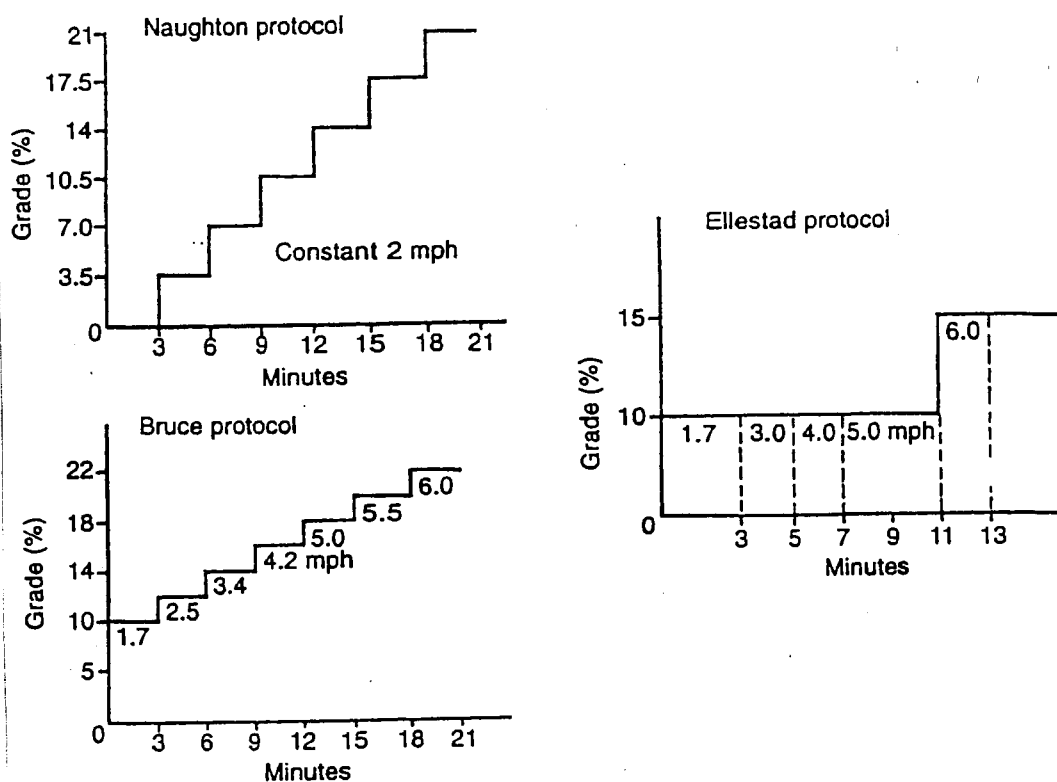


Figura 2

Protocolos utilizados no tapete rolante para pacientes com problemas cardíacos (Adaptado de American College of Sports Medicine: Guidelines for Exercise testing and Prescription, 3rd ed., 1986, Philadelphia; Lea & Febiger.)

Quadro 2 Protocolo de Bruce para tapete rolante

Nível	Velocidade (km·h ⁻¹)	Inclinação (%)	Duração (min.)
1	2.7	10	3
2	4.0	12	3
3	5.5	14	3
4	6.8	16	3
5	8.0	18	3
6	8.2	20	3
7	9.6	22	3

2.5% por cada patamar) até ao seu limite de tolerância.

Os protocolos maximais mais utilizados para pacientes com problemas cardíacos são os de (1) Bruce, (2) Bruce modificado, (3) Ellestad e (4) Naughton, que se podem caracterizar assim:

(1) protocolo de Bruce (Bruce et al., 1973) foi desenvolvido para diagnosticar problemas cardíacos é o mais utilizado e o melhor validado para estimar o VO₂max em esforço máximo, pois os coeficientes de correlação oscilam entre $r = 0.86$ e $r = 0.96$ (Ward et al., 1995). Este teste pode ser completado rapidamente, uma vez que o aumento da carga é de 3 a 4 MET (1 MET⁻¹ = 3.5 ml·kg⁻¹·min⁻¹) por cada patamar de 3 min. A sua principal vantagem é permitir um estabelecimento satisfatório de tabelas e normas. A desvantagem mais marcante é a progressão da carga não ser compatível com a progressão cardio-respiratória, o que provoca a exaustão precoce e induz num erro de estimação de 10 a 20%. A necessidade de frequentemente o testado ter de recorrer às barras de protecção também contribui para o referido erro de estimação.

Quadro 3 Protocolo de Bruce modificado para tapete rolante

Nível	Velocidade (km·h ⁻¹)	Inclinação (%)	Duração (min.)
1	5.1	0	3
2	5.1	5	3
3	5.1	10	3
4	6.4	12	3
5	8.8	14	3
6	10.8	16	3
7	12.9	18	3
8	14.3	20	3
9	15.6	22	3

(2) O protocolo de Bruce modificado também é utilizado para diagnosticar problemas cardíacos. A sua maior vantagem é o facto da progressão da carga ser compatível com a progressão cardio-respiratória. Uma duração prolongada é a sua desvantagem mais significativa.

(3) O protocolo de Ellestad também para doentes do foro cardíaco, apresenta como maior vantagem o facto da progressão da carga, apesar de mais elevada, continuar adequada à progressão cardio-respiratória. As suas desvantagens mais marcantes são uma duração acima da média e a uma intensidade da carga relativamente elevada.

Quadro 4 Protocolo de Ellestad para tapete rolante

Nível	Velocidade (km·h ⁻¹)	Inclinação (%)	Duração (min.)
1	2.7	10	3
2	4.8	10	2
3	6.4	10	2
4	8.0	10	2
5	9.6	15	2

(4) O protocolo de Naughton também é para doentes do foro cardíaco, e apresenta como maior vantagem o facto da progressão da carga, apesar de mais elevada, continuar adequada à progressão cardio-respiratória. Uma duração média é a sua desvantagem, a juntar a uma intensidade da carga relativamente elevada

Quadro 5 Protocolo de Naughton para tapete rolante

Nível	Velocidade (km·h ⁻¹)	Inclinação (%)	Duração (min.)
1	3.2	3.5	3
2	3.2	7.0	3
3	3.2	10.5	3
4	3.2	14	3
5	3.2	17.5	3
6	3.2	21	3

Vários foram os estudos elaborados com atletas de diversas modalidades, utilizando protocolos maximais efectuados no terreno ou em ergómetros específicos para determinação do consumo máximo de oxigénio e de outros indicadores relativizados ao VO₂max. O objectivo era a precisão dos

indicadores na prescrição do treino e na predição da *performance*, assim como, uma melhor definição do perfil aeróbio dos atletas.

No sentido de haver maior correspondência entre a actividade específica dos atletas praticantes da corrida e os testes, foram vários os investigadores que utilizaram protocolos máximos no tapete rolante. Neste contexto, apresentamos em seguida de forma sistematizada as principais características dos protocolos máximos mais utilizados pelos investigadores das ciências do desporto em geral e do atletismo em particular.

Com Daniels et al. (1984) surge na comunidade científica o termo velocidade associada ao VO₂max e a abreviatura correspondente (vVO₂max), como um indicador que combina o valor de VO₂max com o de economia de corrida, variável que explica as diferenças interindividuais da *performance* que o VO₂max e a economia de corrida, por si só não conseguem explicar. Daniels e Daniels (1992) são também os primeiros a fazer corresponder a vVO₂max à velocidade dos 3000 metros.

O protocolo inicialmente utilizado por Daniels et al. (1984), mais tarde aperfeiçoado (Daniels e Daniels, 1992), incluía quatro corridas no tapete rolante a diferentes intensidades, seguidas por uma a velocidade constante para determinar o VO₂max. As velocidades utilizadas nos testes submáximos eram 230, 248, 268, 290, 310, 330, 350 m.min⁻¹. Cada teste submáximo durava 6 min, com recolha simples do ar expirado, nos 2 min finais de cada corrida. A FC era registada nos 10 s seguintes a cada corrida assim como se procedia à recolha de lactato nos 30 s que decorriam após a realização de cada corrida. Uma concentração de lactato de 4.0 mmol⁻¹ era utilizada para terminar as corridas a intensidades submáximas. Após o último teste submáximo, considerava-se um tempo de recuperação de 5-10 min para a determinação do VO₂max, usando cada indivíduo a velocidade utilizada no último teste submáximo (geralmente não era superior a 350 m.min⁻¹ e poderia ser adoptada a correspondente à melhor marca nos 5000 metros) como velocidade a adoptar no teste máximo. Os primeiros 2 min de teste máximo eram com uma inclinação de 0%, sendo acrescentado a partir do início do 3º min, 1% em cada minuto seguinte em toda a duração do teste. O teste terminava quando cada sujeito (homem ou mulher) entendia que não completava um novo min, sendo

normalmente de 6-7 min o tempo total do teste. O valor mais elevado de VO₂ era considerado o VO₂max.

Quadro 6 Velocidade utilizada em cada patamar no protocolo de Daniels para determinação do VO₂max, da economia de corrida (Daniels et al., 1984; Daniels e Daniels, 1992)

m.min ⁻¹	m.s ⁻¹	km.h ⁻¹	t/1000m
248	4.13	14.87	4.02.13
268	4.47	16.09	3.43.71
290	4.83	17.36	3.27.04
310	5.17	18.61	3.13.42
330	5.50	19.80	3.01.82
350	5.83	20.99	2.51.53
370	6.17	22.21	2.42.07

di Prampero (1986) para além do VO₂max, também pretende pelo seu protocolo máximo no tapete rolante, descobrir a velocidade aeróbia máxima que designa pelas abreviaturas V_{amax} ou MAS (maximal aerobic speed), ou seja a velocidade máxima que um corredor pode suportar em competição e em condições aeróbias, [V_{amax} ou MAS (Léger e Boucher, 1980) são designações distintas de um mesmo conceito, a vVO₂max] o que depende simultaneamente da capacidade máxima de trabalho metabólico (maximal metabolic power) e do custo energético da corrida (C), isto é, o quociente entre o VO₂ (ml.kg⁻¹.min⁻¹) e a velocidade da corrida (m.min⁻¹). di Prampero (1986) calcula a V_{amax} (MAS ou vVO₂max) pela equação (2)

$$V_{amax} = FVO_{2max}/C \quad (2)$$

em que F representa a fracção máxima de VO₂max que pode ser sustentada a determinada velocidade. O protocolo de di Prampero et al. (1986) consiste em quatro patamares de 6 min com um tempo de recuperação de 15-20 min, corridos no tapete rolante a intensidades de 85, 100, 120 e 130% em relação à velocidade média da maratona (o teste era efectuado uma a quatro semanas após a maratona) e o custo energético da corrida (C) resulta do quociente do VO₂ (ml.kg⁻¹.min⁻¹) e a velocidade (m.min⁻¹) de cada patamar. O VO₂max corresponde ao valor de VO₂ alcançado na velocidade mais elevada.

Se a velocidade da maratona foi 84% de vVO₂max, então as velocidades utilizadas por di Prampero et al. (1986) no seu teste mostram que 0.85, 1, 1.2 e

$1.3 \times 0.84 v\text{VO}_2\text{max} \Rightarrow 0.71, 0.84, 1.01, 1.11$ o que significa que a penúltima velocidade era praticamente coincidente com $v\text{VO}_2\text{max}$ e a última muito próxima.

Lacour et al. (1990) efectuam um teste máximo, cujos patamares têm a duração de 4 min com uma recuperação de 1 min e uma inclinação que 3%, que não se altera ao longo do teste. A velocidade inicial é de $10.3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($2.85 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) com incrementos de $1.54 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($0.43 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) em cada patamar. O valor de C resulta da média dos valores obtidos nos dois últimos patamares ($5.42 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e $5.84 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). O teste decorre até à exaustão sendo a lactatemia medida em cada tempo de recuperação. O VO₂ observado no último patamar é considerado VO₂max se a lactatemia for superior a $9 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. A velocidade correspondente a uma lactatemia de $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ($v_{\text{la}4}$) também é determinada por interpolação dos 2 valores mais próximos.

Lacour et al. (1990) e Lacour et al. (1991) utilizam a fórmula original de di Prampero (1986), mas subtraindo ao valor de VO₂max um VO₂ *standard* de repouso de $5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ de acordo com Medbo et al. (1988). Como $V_{\text{amax}} = (\text{VO}_2\text{max} - \text{VO}_2\text{repouso}) \cdot C^{-1}$, onde C continua a representar o custo energético da corrida, o custo energético a uma determinada velocidade será $C = (\text{VO}_2 - 0.083) \times v^{-1}$, onde VO₂max é expresso em $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ e V_{amax} em $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, daí a necessidade de transformar o VO₂ residual de $5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ para $0.083 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$

Morgan et al. (1989) realizaram uma investigação adoptando o protocolo de Daniels et al. (1984) modificado, onde determinam o VO₂max por extrapolação a partir da relação velocidade submáxima - VO₂ submáximo. Os sujeitos efectuam um aquecimento de 5 min a $3.57 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($214 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$) para adaptação ao tapete rolante. Em seguida, cada sujeito completa quatro patamares de 6 min de corrida às velocidades de $3.83, 4.13, 4.47$ e $4.88 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($230, 248, 268, 293 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$). Um tempo de recuperação de 5 min separava cada repetição. Se a diferença entre os consumos nos dois últimos patamares for superior a $2.1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, significa que o testado ainda não atingiu o VO₂max. Então, o testado recupera durante 10 minutos e realiza um patamar final durante 4 minutos, onde atinge uma intensidade supramaximal, mas em que os 2 primeiros minutos ainda são corridos a uma intensidade submaximal, sendo o primeiro minuto corrido $-37.2 \text{ s}\cdot\text{km}^{-1}$ mais lento que o ritmo dos 5000

metros e o segundo minuto corrido -18.6s.km⁻¹ mais lento que o ritmo dos 5000 metros e, então sim, os 2 últimos corridos a uma intensidade supramaximal, correspondente à marca dos 5000 que permanece constante durante o restante tempo de duração do teste. Os primeiros 2 min. do teste são realizados com 0% de inclinação, sendo aumentada 2% cada 2 min até à exaustão.

Por sua vez, o estudo apresentado por Noakes (1988) pretendia a determinar no tapete rolante o VO₂max e ainda a velocidade de ponta maximal (*peak running velocity*) passível de ser suportada. O teste começa a 10km.h⁻¹ com incrementos de 1km.h⁻¹ até à exaustão. Quando um atleta não é capaz de completar um patamar de 60 s a uma determinada velocidade, então a velocidade do patamar anterior é designada como a velocidade de ponta maximal e o VO₂max como o valor máximo de VO₂ obtido em qualquer patamar. Este mesmo autor (Noakes, 1990) demonstrou que o pico de velocidade máxima encontrado em tapete rolante, num exercício até à exaustão, era um melhor preditor da *performance* que o VO₂max, o que foi confirmado por Morgan et al. (1989).

O objectivo fundamental de Billat et al. (1994a) e Billat et al. (1994c) era para além de determinar o VO₂max, identificar qual a velocidade mínima a que ele ocorre. O protocolo consiste numa velocidade inicial de 12 km.h⁻¹ com 0% de inclinação que é aumentado 2km.h⁻¹ em cada 3 minutos até se atingir uma intensidade equivalente a 80% da melhor marca aos 3000 metros e, em seguida, os incrementos passam a ser de 1 km.h⁻¹ por patamar. A vVO₂max será a velocidade mínima que elege o VO₂max ou o VO₂*peak*, quando não se observa um *plateau*. Billat et al. (1994a) e Billat et al. (1994c) referem ainda, que para além dos critérios para atingir o VO₂max anteriormente citado, também consideram a evolução da FC nos dois últimos patamares, i.e., se a diferença for superior a 5 então o atleta consegue correr mais rápido e atingir uma FC ainda mais elevada.

A solicitação maximal do sistema cardiovascular em corredores deve ser feita no tapete rolante, uma vez que solicita grupos musculares que permitem uma postura erecta e utiliza uma carga funcional, frequência de movimentos e posição espacial mais próxima da corrida, ao contrário de qualquer outro ergómetro que implique uma postura sentada.

Quadro 7 Protocolos máximos para determinação directa do VO₂max em tapete rolante em atletas de meio-fundo e fundo

Referência	Inclinação	Velocidade	Métodos e protocolos
Daniels et al. (1984)	progressiva	constante	1º patamar a velocidade constante (idêntica à utilizada nos 5000 metros), duração de 2 min, uma inclinação de 0%, que aumentando 1% por minuto até à exaustão.
di Prampero (1986)	constante	constante	4 patamares de 6 minutos com recuperação de 15-20 min, velocidade correspondente a 85, 100, 120 e 130% da velocidade da maratona, inclinação 0%.
Noakes (1988)	constante	progressiva	1º patamar de 5 minutos a uma velocidade de 10 km.h ⁻¹ , com um incremento nos patamares seguintes de 1km.h ⁻¹ cada min.
Morgan et al. (1989)	progressiva	progressivo	1º patamar com a duração de um minuto e 37 segundos por km mais lento que o ritmo dos 5000 e 0% de inclinação. 2º patamar com a duração de 1min18s por km mais lento que o ritmo dos 5000 e 0% de inclinação. 3º patamar com a duração de 1min e ao ritmo dos 5000 e 0% de inclinação. 4º patamar com a duração de 1min e ao ritmo dos 5000 e 2% de inclinação, com um incremento de 2% por minuto.
Lacour et al. (1990)	constante	progressiva	Patamares de 4 minutos com recuperação de 1minuto, inclinação constante de 3% e velocidade inicial de 10.3 km.h ⁻¹ com incrementos de 1.54 km.h ⁻¹
Billat et al. (1994a)	constante	progressiva	Velocidade inicial de 12 km.h ⁻¹ com 0% de inclinação que é aumentado 2km.h ⁻¹ em cada 3 min até se atingir uma intensidade equivalente a 80% da melhor marca aos 3000 metros e em seguida os incrementos passam a ser de 1 km.h ⁻¹ por patamar.

Os testes máximos no tapete rolante mais utilizados para atletas de elite e sub-elite são os protocolos de: Daniels et al. (1984), di Prampero (1986), Noakes et al. (1988), Morgan et al. (1989), Lacour et al. (1990), Billat et al. (1994a) que permitem não só determinar o VO₂max mas também a vVO₂max e a economia de corrida.

Hill e Rowell (1996) são de opinião que os protocolos de di Prampero (1986) e Lacour et al. (1990) são os que se apresentam menos contaminados pela componente anaeróbia e que para determinação das intensidades do treino a partir da vVO₂max o melhor é o de Billat et al. (1994a), mas que o de

Daniels et al. (1984) consegue determinar uma vVO₂max 4% mais baixa que a de Billat et al. (1994a).

2.1.1.2.2. Métodos indirectos

A determinação do VO₂max também pode ser efectuada por métodos indirectos com base na análise e interpretação dos dados obtidos em provas maximais ou submaximais, efectuadas no terreno ou em laboratório, extrapolados a partir de uma relação linear que se estabelece com a velocidade da corrida, a frequência cardíaca ou o tempo dispendido (Billat, 1991; Ward, 1995; Billat, 1998).

Quadro 8 Métodos indirectos para determinação do VO₂max

Testes de Laboratório		Testes de Terreno	
Máximos	Submáximos	Máximos	Submáximos
Tapete Rolante <ul style="list-style-type: none"> • Bruce • Bruce modificado • Balke • Naughton • Ellestad • Åstrand • Maksud & Coutts 	Tapete Rolante <ul style="list-style-type: none"> • Single Stage Walking Test 	Corrida <ul style="list-style-type: none"> • Léger & Lambert SRT • Léger et al. SRT • Yo-Yo <i>Endurance</i> Test • Conconi Grade Test • Léger & Boucher Test • Brue Test • Brue & Montmeyer Test 	Corrida <ul style="list-style-type: none"> • 12-Minute Field Performance Test • Cooper Test • One Mile Walk Test • 30 min. Test • Margaria Test • Brikci & Dekkar Test
Cicloergómetro <ul style="list-style-type: none"> • A.C.M.S. 	Cicloergómetro <ul style="list-style-type: none"> • Åstrand-Ryhming Test • YMCA Test • PWC 170 		
	Steps <ul style="list-style-type: none"> • Harvard Step Test • Queens College Step Test • Siconolfi Step Test 		

Os métodos indirectos têm demonstrado alguma inconsistência na estimação de valores de VO₂max em populações específicas (Shephard, 1990). Os testes submáximos apresentam algumas limitações decorrentes do facto

de a FC poder variar, de acordo com o grau de emocionalidade e excitabilidade do sujeito, de forma independente do VO₂. A FC pode ainda variar de acordo com o tempo que decorreu após a última refeição, o valor total da hemoglobina circulante, o grau de hidratação do sujeito e da temperatura ambiente (Rowell et al., 1964). Segundo Maritz et al. (1961) o valor máximo de FC é atingido a uma intensidade inferior à que ocorre o VO₂max e varia entre 180 e 220 bpm, o que forçosamente subestima o valor de VO₂max.

Os testes submáximos no cicloergómetro e no *step* têm a vantagem de serem portáteis e pouco dispendiosos. Para indivíduos não habituados ao cicloergómetro, o valor de VO₂max é subestimado entre 5 a 25%, dependendo do nível de condição física do sujeito. O *step test* pode ser administrado a muita gente ao mesmo tempo, mas o *Harvard Step Test* (Brouha et al., 1943) é muito violento, causando rapidamente fadiga localizada.

Os testes *Siconolfi* (Siconolfi et al., 1985) e o *Queen's College Step* (McArdle et al., 1972) podem ser utilizados com pessoas idosas porque utilizam degraus mais baixos.

Nos testes de intensidade máxima, o sujeito deve parar a prova por manifesta incapacidade física ou exaustão, enquanto nos submáximos, o teste é interrompido quando se atinge um determinado critério pré-estabelecido (tempo dispendido, distância percorrida ou determinado valor de FC). Os testes máximos em comparação com os testes submáximos, possibilitam uma melhor estimativa do VO₂max, porque provocam um maior *stress* cardio-respiratório. Estes são os aconselhados pelo American College of Sports Medicine (1991) para atletas bem treinados e populações jovens (Ward, 1995). No entanto, os testes máximos ou submáximos de terreno, que utilizam a marcha ou a corrida, podem ser realizados no local habitual de treino (pavilhões gimnodesportivos, pistas de atletismo) apresentando, por isso, maior especificidade que os organizados em laboratório. As maiores vantagens dos testes de terreno são a sua simplicidade, a exiguidade de material necessário e a possibilidade de serem aplicados a um grande número de atletas em simultâneo.

2.1.1.2.2.1. Testes de laboratório

Os protocolos de intensidade máxima estandardizados para estimar de forma indirecta, em laboratório, no tapete rolante, o consumo máximo de oxigénio são os seguintes: (1) o protocolo de Bruce (Bruce et al., 1973); (2) o protocolo de Bruce modificado (Bruce et al, 1973); (3) o protocolo de Balke desenvolvido por Balke & Ware (1959) neste caso, a velocidade é constante, de 90 m.min⁻¹ e a inclinação aumenta de 1% por minuto, terminando quando o sujeito atinge uma FC de 180 pmm. Este teste é mais agradável, uma vez que o incremento da carga é suave, mas tem a desvantagem de poder durar acima de 20 minutos. Para abreviar a sua duração utiliza-se (4) o protocolo de Balke modificado (Ward, 1995) com inclinações de 2, 2.5 ou 5% de inclinação e/ou 2 a 3 minutos de duração, por patamar; (5) o protocolo de Ellestad; (6) o protocolo de Naughton; (7) ou o protocolo de Åstrand.

Pollock et al. (1976) num estudo com homens de meia idade (n = 51), em que compara os resultados dos protocolos de Bruce, Balke e Ellestad e Åstrand, concluíram que apesar do desigual aumento dos VO₂ entre protocolos, todos apresentam sensivelmente o mesmo valor de VO₂max.

As vantagens mais importantes do cicloergómetro, que justificam a sua utilização frequente são: (1) custo inferior ao do TR; (2) mobilidade; (3) requerer menos espaço; (4) permitir uma monitorização estável para os electrocardiogramas e a pressão arterial.

O protocolo máximo estandardizado mais utilizado para estimar de forma indirecta, em laboratório, no cicloergómetro, o consumo máximo de oxigénio é o do American College of Sports Medicine (1991).

O protocolo máximo estandardizado para estimar de forma indirecta, em laboratório, no ergómetro de braços, o consumo máximo de oxigénio é semelhante ao já referido para o cicloergómetro (American College of Sports Medicine 1991) e é utilizado para sujeitos que não podem utilizar os membros inferiores. O valor obtido é 20 a 30% inferior ao obtido no cicloergómetro, devido à reduzida massa muscular utilizada e a FC máxima atingida é de 15 bpm mais baixa (Ward, 1995), daí designar-se por VO₂ *peak* e não VO₂max.

Os protocolos submáximos de terreno permitem uma determinação mais fácil e mais prática da potência aeróbia, não precisando de material sofisticado nem de grande dispêndio de tempo, em populações de crianças,

de idosos (acima dos 40 anos) e em amostras de grandes dimensões. Um conjunto de equações de regressão foram desenvolvidas, com base nos resultados que expressam o tempo gasto a correr um percurso aferido ou a distância percorrida num determinado tempo, na pista ou no tapete rolante. Quanto a protocolos submáximos a utilizar em laboratório, no tapete rolante, temos, entre outros: (1) o *Single Stage Submaximal Treadmill Walking Test* (Ebell et al. 1991); no cicloergómetro: (2) o *Åstrand-Ryhming Test* (Åstrand&Ryhming 1954); (3) o *YMCA Cycle Ergometer Test* (Golding et al. 1989); (4) o *Physical Working Capacity at a Heart Rate of 170 (PWC 170)* (Wahlund et al. 1948). Os testes submáximos utilizando o *step* são: (5) o *Harvard Step Test* (Brouha et al. 1943); (6) *Queens College Step Test* (McArdle et al. 1972); (7) o *Siconolfi Step Test* (Siconolfi et al.1985).

2.1.1.2.2. Testes de terreno

Os testes de terreno para determinação indirecta do VO₂max podem ser máximos ou submáximos.

Quadro 9 Testes de terreno para determinação indirecta do VO₂max

Máximos	Submáximos
Corrida	Corrida
<ul style="list-style-type: none"> • Léger e Lambert SR test • Léger et al. SR Test • Yo-Yo <i>Endurance Test</i> • Conconi Grade Test • Léger & Boucher Test • Brue Test • Brue & Montmeyer Test 	<ul style="list-style-type: none"> • 12-Minute <i>Field Performance Test</i> • Cooper Test • One Mile Walk Test • 30 min. Test • Margaria Test • Brikci & Dekkar Test

Os protocolos máximos mais utilizados são o Yo-Yo *Endurance Test*, Conconi Grade Test, o Léger & Boucher Test (1980) e o Brue et al. Test (1985).

Os protocolos submáximos mais utilizados são o 12-Minute *Field Performance Test* (Balke, 1963), o Cooper Test (Cooper, 1968) o One Mile Walk Test (Kline et al., 1987), o Margaria Test (Margaria et al., 1975), o Brikci & Dekkar Test (Brikci & Dekkar, 1989) e o 30 min Test.

Os testes de terreno para determinação indirecta do VO₂max, para além da sua divisão em máximos e submáximos, também podem ser organizados e identificados como de intensidade contínua ou progressiva.

2.1.1.2.2.1. Testes de terreno de intensidade contínua

O teste de Cooper (1968) foi o primeiro protocolo indirecto e contínuo para a previsão do VO₂max, em que houve a preocupação em simplificar procedimentos e reduzir custos. Consiste numa corrida ou marcha com a duração de 12 minutos em que o sujeito avaliado deve percorrer a maior distância possível. A determinação do consumo máximo de oxigénio é estimado a partir da equação (3)

$$\text{VO}_2\text{max (ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}) = 22.351 \times d \text{ (km)} - 11.288 \quad (3)$$

Também podem ser utilizadas tabelas para determinar índices de aptidão aeróbia.

As críticas mais relevantes a este teste são: (1) a possibilidade de utilização alternada da marcha e da corrida; (2) a duração de 12 min é demasiado elevada (Åstrand, 1973) para um corredor sustentar um esforço equivalente ao seu VO₂max ou à sua velocidade aeróbia máxima, evidenciando um grande contributo do metabolismo anaeróbio. No entanto foram encontradas elevadas correlações ($r = 0.90$) com testes realizados no tapete rolante para determinação directa do VO₂max (Åstrand, 1973).

O teste de Balke (12-Minute Field *Performance Test*) que consiste em percorrer o maior espaço possível durante 12 ou 15 minutos (Balke, 1963) é idêntico ao de Cooper e também se baseia na relação linear estabelecida entre a velocidade da marcha ou da corrida e o consumo de O₂ que conduzia a um ponto de exaustão que determinava o VO₂max.

Segundo Billat e Koralsztein (1996) a fidelidade destes (Cooper e Balke) na predição do VO₂max depende da variação interindividual do custo energético da corrida, de que falaremos adiante.

O protocolo de Margaria et al. (1975) pode ser aplicado de duas formas conforme a sua duração é superior ou inferior a 10 minutos.

No primeiro caso a equação a utilizar (4) é a seguinte:

$$d = 5(\text{VO}_2\text{max} - 6)t \Rightarrow \text{VO}_2\text{max} = d + 30t / 5t \quad (4)$$

em que d é a distância em metros, e t a duração do percurso em minutos e o valor de VO₂max é estimado em ml.kg⁻¹.min⁻¹.

No segundo caso, em que a duração da corrida é inferior a 10 minutos, a equação a utilizar (5) é a seguinte:

$$d = 5(\text{VO}_2\text{max} - 6)t + 5\text{VO}_2\text{max} \Rightarrow \text{VO}_2\text{max} = d + 30t / 5t + 5 \quad (5)$$

O protocolo de Brikci e Dekkar (1989) consiste em correr a maior distância possível durante 5 minutos. Uma estimativa do consumo máximo de oxigénio é efectuada a partir da velocidade média da corrida (km.h⁻¹) e aplicada nas equações (6) para corredores até 400 metros ou (7) para corredores de distâncias superiores.

$$\text{VO}_2\text{max} = 2.27v + 13.3 \quad (6)$$

$$\text{VO}_2\text{max} = 8.67v - 113 \quad (7)$$

O coeficiente de correlação entre o valor de VO₂max obtido e as *performances* compreendidas entre os 800 metros e a maratona é de 0.76 (Brikci e Dekkar, 1989).

2.1.1.2.2.2.2. Testes de terreno de intensidade progressiva

Os testes máximos de terreno de intensidade progressiva são: (1) o Léger e Lambert (1982) que consiste num teste com percursos de ida e volta (*shuttle run tests*), de 20 metros com um aumento da velocidade cada 2 minutos (n = 91; r = 0.84); (2) o Léger et al. (1988) também com percursos de ida e volta de 20 metros, mas com patamares de 1 minuto, em que o atleta percorre, na mesma direcção, o maior número possível de percursos de 20 metros de ida e volta, até à exaustão (n = 77; r = 0.90).

As sequelas mais recentes destes *shuttle run tests* (SRT) foram desenvolvidas por Nicholas et al. (1995) e Bangsbo (1996).

O teste de Bangsbo (1996), muito utilizado nos desportos colectivos, contempla 3 versões: (1) o *yo-yo endurance test*, contínuo (2) o *yo-yo intermittent endurance test*, com paragens de 5 segundos e (3) o *yo-yo intermittent recovery test*, muito utilizado nos desportos colectivos, mas que não permite estimar de forma indirecta o VO₂max. Também Nicholas et al. (2000) referem que o *Loughborough Intermittent Shuttle Test* (LIST) foi elaborado com a finalidade de simular um jogo de futebol. O seu protocolo consiste em duas partes: (A) período fixo de corrida com percursos de ida e volta com intensidade variável, (B) corrida contínua por aceleração sistemática cada 20 metros, alternando intensidades de 55% e 95% do VO₂max.

Léger e Boucher (1980) com o seu *Université de Montréal Track Test* (UMTT). deram um forte contributo para a fidelização dos métodos de determinação indirecta do VO₂max, através da corrida. O seu teste de terreno, de corrida contínua e intensidade progressiva, com uma velocidade inicial de 8.5 km.h⁻¹ e um incremento de 1km.h⁻¹ por cada patamar de 2 minutos, realizado numa pista de 400 metros balizada com mecos de 50 em 50 metros (em que o atleta para cumprir a velocidade pré-estabelecida para cada patamar deve a cada sinal sonoro ter alcançado cada um) permite determinar a velocidade aeróbia máxima (MAS-maximal aerobic speed), correspondente ao último patamar totalmente realizado. A partir deste valor pode-se prever o VO₂max pela aplicação da formula (8):

$$\text{VO}_2\text{max}_{\text{pista}} (\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) = 0.0324 * (\text{MAS}_{\text{pista}})^2 + 2.143 * \text{MAS}_{\text{pista}} + 14.49 \quad (8)$$

em que o VO₂ se exprime em ml·kg⁻¹·min⁻¹ e MAS em km·h⁻¹.

A pertinência, acessibilidade, validade e fidelidade deste teste foi reforçada pelos trabalhos de diversos autores (Léger e Boucher, 1980; Léger et al., 1984; Mercier e Léger, 1986; Gadoury e Léger, 1986; Paliczka et al. 1987; Leger et al., 1988; Ramsbottom, 1988; Lacour et al., 1989; Berthoin et al., 1994; Berthoin et al., 1996; Berthoin et al., 1999) e o valor de MAS apresentou um elevado coeficiente de correlação na predição de *performance* (para os 1500 metros) de atletas de elite masculinos e femininos de meio-fundo (n = 12; r = 0.96) quando calculado através da fórmula (9):

$$\text{MAS (m.s}^{-1}\text{)} = 0.97 \cdot v1500 \text{ (m.s}^{-1}\text{)} - 0.47 \quad (9)$$

Mercier e Léger (1986) nos seus estudos com homens (n = 251) e mulheres (n = 60) revelaram um elevado coeficiente de correlação entre a vVO₂max (MAS segundo Mercier e Léger) e a *performance* de 3000 e 5000 metros (r = 0.98).

Léger e Mercier (1983) e Léger e Mercier (1984) calcularam posteriormente uma nova regressão (10) para estimar o VO₂max para velocidades entre os 8 e os 25 kms.h⁻¹ onde o VO₂ se expressa em ml.kg⁻¹.min⁻¹ e a velocidade em km.h⁻¹.

$$\text{VO}_2 = 1.353 + (v \times 3.163) + v^2 \times 0.0122586 \quad (10)$$

Esta equação ainda foi simplificada passando a ser (11)

$$\text{VO}_2\text{max} = 3.5 \times v \quad (11)$$

onde o VO₂max se expressa em ml.kg⁻¹.min⁻¹ e a velocidade em km.h⁻¹.

Berthoin et al. (1994) num estudo efectuado com 17 estudantes de educação física, comparam os valores de VO₂max estimados a partir de dois testes de terreno, o contínuo e por incrementos de carga progressivos da *Université de Montreal Track Test* (Leger e Boucher 1980) e o Leger e Boucher (1984) *shuttle run test*, com os valores obtidos por medição directa no tapete rolante, considerando uma inclinação de 3% para (Pugh 1970), para simular o efeito da resistência do vento. Os resultados do UMTT (56.8±5.8 ml.kg⁻¹.min⁻¹) e do tapete rolante (56.8±7.1 ml.kg⁻¹.min⁻¹) não apresentam diferenças significativas, mas são mais elevados que os observados no *shuttle test* (51.1±5.9 ml.kg⁻¹.min⁻¹). Também as médias de MAS (maximal aerobic speed) observadas no UMTT (15.8±1.9 km.h⁻¹) e no tapete rolante (15.9±2.6 km.h⁻¹) não apresentam diferenças muito significativas (P > 0.10) o que já não acontece com o SRT (13.1±1 km.h⁻¹) significativamente inferior (P < 0.01).

Berthoin et al. (1995) num estudo efectuado com 121 alunos com idades compreendidas entre 14 e 17 anos, utilizando o UMTT, mediram a MAS para

determinar a intensidade para um programa de treino de 12 semanas, encontrando reprodutibilidade para os rapazes ($r = 0.93$) e para as raparigas ($r = 0.68$).

Berthoin et al.(1996) comparam os valores de MAS obtidos no terreno através do UMTT e no laboratório, no tapete rolante, mas calculam-nos de 4 formas diferentes:

(a) após o tapete rolante pela fórmula(12):

$$MAS_{calc} = (VO_2max - 0.083)/C \quad (12)$$

onde VO₂max se expressa em ml·kg⁻¹·s⁻¹ e o custo energético da corrida (C) em ml·kg⁻¹·m⁻¹.

(b) por extrapolação (MAS_{ex}) obtida a partir dos valores de obtidos no tapete rolante do VO₂ e da velocidade

(c) No tapete rolante (MAS_{TR}) considerando a velocidade do último patamar.

(d) No UMTT (MAS_{UMTT}) a partir da velocidade do último patamar.

Os valores médios de MAS_{calc} (4.71±0.48 m·s⁻¹), MAS_{ex} (4.62±0.48 m·s⁻¹), MAS_{TR} (4.75±0.57 m·s⁻¹) e MAS_{UMTT} (4.64±0.35 m·s⁻¹) não apresentavam valores muito diferenciados e as correlações eram significativas: 0.85 (MAS_{ex} contra MAS_{UMTT}) e 0.99 (MAS_{calc} contra MAS_{TR}), $P < 0.001$ para ambos.

Berthoin et al. (1996) verificaram que os valores da velocidade máxima aeróbia se correlacionavam significativamente com o VO₂max, mas independente do custo energético de corrida (C).

Uma pesquisa recente foi apresentada por Berthoin et al. (1999), na qual, numa amostra de 15 adolescentes, validaram o UMTT para determinar a vVO_{2peak}, comparando o VO_{2peak}, a vVO_{2peak} e o custo energético da corrida (C), encontrados por determinação directa por telemetria, através de um Cosmed K2, Milão, Itália, com os valores obtidos por determinação indirecta utilizando o UMTT. Não se registaram diferenças significativas entre os valores de VO_{2peak} obtidos por telemetria (51.8 ±6.5 ml·kg⁻¹·min⁻¹) e os obtidos no terreno (51.0±7.9 ml·kg⁻¹·min⁻¹), ($r = 0.96$ e $p < 0.001$), também não se registaram diferenças significativas entre a vVO_{2peak} calculada (12.9±1.0 km.h⁻¹) e a mensurada (12.7±0.9 km.h⁻¹) e o nível de correlação foi elevado ($r = 0.80$, $P <$

0.001). Este estudo permitiu ainda concluir que para adolescentes a velocidade do último patamar completo do UMTT permite uma estimacão válida do vVO_{2peak}.

Ahmaidi et al. (1992) realizaram um estudo comparativo entre o UMTT, o 20m SRT (Léger e Boucher 1984) e o TR, numa amostra de 11 atletas que treinavam moderadamente. A MAS obtida pelo UMTT e no TR foi respectivamente 19.3% e 16.3% superior  alcançada pelo 20m SRT. Os valores de VO₂max obtidos nos três testes, assim como a FC max e a lactatemia mais elevada obtida após o exercício, não apresentam diferenças significativas. Estes valores confirmam que o UMTT é um teste de terreno válido para avaliar a potência aeróbia máxima.

Lacour et al. (1991) estudaram diferentes formas de determinao da vVO₂max numa amostra de 32 atletas bem treinados (8 mulheres e 24 homens). A vVO₂max e a v₄ (velocidade de corrida correspondente a uma concentrao de lactato de 4 mmol.l⁻¹) foram medidas num teste de intensidade progressiva no TR. Na semana anterior ou posterior ao teste no TR, os atletas efectuaram o UMTT. A velocidade correspondente ao último patamar deste teste (vUMTT) era ligeiramente mais alta que a vVO₂max (6.08 m·s⁻¹ ± 0.41 contra 6.01 m·s⁻¹ ± 0.44; P < 0.03), mas estas duas velocidades eram altamente correlacionadas (r = 0.92, P < 0.001). A FC correspondente a estas velocidades eram semelhantes e bem correlacionadas (r = 0.92, P < 0.001). As lactatemias também apresentavam valores médios semelhantes, 10.5 mmol.l⁻¹ ± 2.7 contra 11.8 mmol.l⁻¹ ± 2.5, mas não estavam correlacionados. Quer a vVO₂max quer a vUMTT estavam bem correlacionadas com a melhor marca da época aos 1500 m (r = 0.89; r = 0.90, respectivamente). Estes resultados comprovam que o UMTT permite obter um valor de vVO₂max tão fidedigno como o medido no TR. A v₄ era 84.6% ± 2.6 da vVO₂max e dependia do VO₂max e do custo energético da corrida.

O protocolo de Brue (1985) surge como uma variante do teste progressivo e maximal da UMTT (Léger e Boucher 1980), em que para otimizar a velocidade da corrida foi acrescentada a particularidade de um ciclista fazer de lebre e transportar um gravador que emite sinais sonoros, estabelecendo a frequência da pedalada, isto é, a cada *bip* corresponde uma aco de força para baixar o pedal, sendo também emitidas pelo gravador indicaes sobre a

alteração progressiva da velocidade. Os atletas iniciam a prova sem qualquer tipo de aquecimento, começando por marchar a uma velocidade de 6.41 km·h⁻¹ com incrementos de 0.24-0.40 km·h⁻¹ em cada 30 segundos, correndo até à exaustão.

O VO₂max era estimado pela seguinte equação (13) de Léger e Mercier (1983)

$$\text{VO}_2\text{max (ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) = 3.5 \times \text{VMA} \quad (13)$$

em que 3.5 representa o custo energético *standard* em ml·kg⁻¹·min⁻¹ consumido por minuto e por quilograma de peso corporal, equivalente a 210 ml·kg⁻¹·min⁻¹.

O Teste de Brue e Montmeyer (1988a) é uma versão do teste de Brue em que a corrida com um ciclista a impor o ritmo contempla paragens na 1^a, 3^a, 5^a, 7^a, 9^a e 11^a voltas, de 400 m cada uma, para recolha de amostras de sangue para determinação da lactatémia. As cinéticas da velocidade da corrida-FC-lactato podem assim ser estabelecidas (Brue e Montmeyer 1988b).

Berthon et al. (1997) num estudo realizado com 48 indivíduos de sexo masculino (idade 27.9±6.9) de condição física heterogénea, compararam os valores de VAM e VO₂max obtidos por medição directa a partir do tapete rolante (VAM_{TR} e VO₂max_{TR}) e por medição indirecta pelo teste de Brue (1986) (VAM_{Brue} e VO₂max_{Brue}) e pelo teste de corrida máxima de 5 minutos (VAM₅ e VO₂max₅). Os valores de VO₂max₅ e VO₂max_{Brue} são respectivamente 5% e 13.7% mais elevados que VO₂max_{TR}. O nível de correlação entre VO₂max_{TR} e VAM₅ é elevado (r=0.90; P<0.001) o que sugere que o teste de terreno de 5 minutos de corrida máxima proporciona uma informação precisa da VAM e em menor grau do VO₂max.

2.1.1.3 Principais factores que influenciam o VO₂max

A capacidade para utilizar oxigénio durante esforços prolongados parece ser fortemente influenciada pela idade, sexo, altitude e treino (Bouchard e Malina, 1983; Squires e Bove, 1984; Bouchard, 1986; Åstrand e Rodhal, 1987; Bouchard, 1992) entre outros factores.

2.1.1.3.1. Efeitos da idade

Os níveis de longevidade aumentaram consideravelmente nos nossos dias, tornando-se importante determinar qual o papel da actividade física na melhoria da saúde em geral, da capacidade funcional, da qualidade de vida e da independência nos idosos. O envelhecimento é um processo complexo, que envolve muitas variáveis genéticas e outras decorrentes do estilo de vida e das doenças crónicas que, interagindo entre si, influenciam a maneira como envelhecemos. Um estilo de vida que contemple a actividade física regular, que inclua exercícios aeróbios e de força, reúne um conjunto de respostas favoráveis para o envelhecimento saudável (American College of Sports Medicine 1998). A influência do treino de força para contrariar a perda de massa muscular e de força decorrentes do envelhecimento normal, traduz-se na redução do risco de osteoporose, na melhoria da estabilidade postural e na redução do risco de acidentes por queda (Hagerman et al., 2000). O treino de resistência ajuda a manter e a melhorar a função cardiovascular, o VO₂max, o débito cardíaco e a diferença arteriovenosa e contribui para um aumento da expectativa de vida (Heath et al., 1981; Hagberg et al., 1989; American College of Sports Medicine, 1998).

Lemura et al. (2000) referem que há um declínio progressivo na capacidade funcional do sistema cardiovascular com o envelhecimento, expresso pela diminuição do VO₂max. Este varia com a idade e o seu valor máximo é atingido entre os 14-16 anos nas mulheres e entre os 18-20 anos nos homens, permanecendo estável até cerca dos 30 anos e depois decrescendo aproximadamente 0.6% por ano, até atingir, cerca dos 60 anos, apenas 70% do valor máximo (Noakes, 1991). Esta regressão, independente do sexo, pode ser retardada pelo treino regular, podendo mesmo o VO₂max manter-se até aos 50 anos sem alteração significativa (Billat, 1991). No entanto, em sujeitos saudáveis mas sedentários, após os 25 anos o VO₂max decresce 9% por década, enquanto entre atletas este decréscimo é de apenas 5% (Heath et al., 1981; Pollock et al., 1987; Hassmen et al., 1992). Este decréscimo do VO₂max com a idade deve-se, essencialmente, a uma diminuição da FC máxima (Noakes, 1988; Fleg e LaKatla, 1988), entre 6 a 10 bpm por década e é a grande responsável pela diminuição da relação idade-débito cardíaco máximo. (Ogawa et al., 1992; Fleg et al., 1995; Pollock et al., 1997; Stratton et al.,

1992). A redução da relação idade-VO₂max resulta do decréscimo entre o débito cardíaco máximo e a diferença artério-venosa (Rodeheffer et al., 1984; Ogawa et al., 1992; Fleg et al., 1995; Stratton et al., 1992). O débito cardíaco para uma intensidade de carga relativa idêntica é menor nos idosos mais velhos (Fleg et al., 1995; Ogawa et al., 1992), enquanto a diferença artério-venosa tende a ser mais elevada (Ogawa et al., 1992; Stratton et al., 1992). Os adultos masculinos e femininos expressam em termos qualitativos a mesma resposta cardiovascular ao exercício máximo (Fleg et al., 1995; Hersey et al., 1994).

Um conjunto de estudos efectuados com idosos proporcionaram resultados e observações interessantes que reflectem as adaptações cardiorespiratórias ao treino de resistência.

Segundo Coudert e Van Praagh (2000) um estímulo insuficiente no treino provoca pouca ou nenhuma melhoria no VO₂max em indivíduos de 60 anos, mas com uma carga suficiente, a resposta expressa no valor de VO₂max em indivíduos mais velhos era a mesma que nos mais novos.

Uma pesquisa recente foi apresentada por Hagerman et al. (2000) na qual os autores defendem que os idosos não podem suportar cargas de trabalho com intensidade muito elevada, mas exibem alterações intramusculares, cardiovasculares e metabólicas similares aos mais novos.

Lemura et al. (2000) avaliaram numa amostra de 720 idosos, com idades compreendidas entre os 46 e os 90 anos, o efeito das várias intensidades do treino no VO₂max. Os estudos foram codificados de acordo com a intensidade, o volume, a duração do treino e o tipo de exercício. Uma diferença significativa foi encontrada ($P < 0,001$) na FC dos sujeitos cuja intensidade do exercício era $\geq 80\%VO_2max$, comparada com os que adoptaram uma intensidade de treino inferior ($60-75\%VO_2max$). Uma diferença significativa foi encontrada ($p < 0,002$) para um volume do treino ≥ 30 minutos que produziu melhorias significativas no VO₂max, quando comparada com uma duração do exercício < 30 minutos. Não foi registada nenhuma diferença significativa na FC entre os sujeitos em que o período de treino foi de duração superior ou inferior a 15 semanas. Não foi registada nenhuma diferença significativa na FC entre os sujeitos que utilizaram o caminhar ou a corrida lenta como forma de exercício, em relação aos que usaram o cicloergómetro. Lemura et al. (2000) concluíram ainda que, apesar do declínio inevitável do VO₂max com o envelhecimento, o treino produz

também adaptações favoráveis na FC nos sujeitos septagenários ou octagenários.

Outra conclusão é apresentada por Tsuji et al. (2000) a partir de um estudo efectuado com 65 idosos com idades compreendidas entre os 60 e os 81 anos. Os elementos da amostra foram divididos de forma aleatória num grupo experimental e num grupo de controle. Os sujeitos do grupo experimental treinaram durante 25 semanas efectuando duas unidades de treino de duas horas, duas vezes por semana. Cada unidade de treino incluía um aquecimento, trabalho no cicloergómetro, desenvolvimento da força com elásticos e retorno à calma. Os sujeitos do grupo de controle só se exercitavam livremente duas vezes por mês. A comparação do VO₂max antes e depois das 25 semanas revelou um aumento significativo no grupo experimental (2.1 ml.kg⁻¹.min⁻¹), mas nenhuma mudança significativa no grupo de controle. O valor alcançado no grupo experimental permite concluir que os participantes adquiriram uma potência aeróbia correspondente a um rejuvenescimento de 5 anos, após 6 meses de treino.

Paterson et al. (1999) avaliaram o VO₂max em 298 sujeitos (152 homens e 146 mulheres) com idades compreendidas entre 55-86 anos, tendo constatado que a taxa do declínio em VO₂max nos homens é de - 0.034 l.min⁻¹.ano⁻¹ e nas mulheres de - 0.019 l.min⁻¹.ano⁻¹. O declínio em VO₂max expresso relativamente à massa do corpo era similar nos homens (0.31 ml.kg⁻¹.min⁻¹.ano⁻¹) e nas mulheres (0.25 ml.kg⁻¹.min⁻¹.ano⁻¹). Entretanto, nos mais idosos o declínio é mais lento do que nos menos idosos. Também verificaram que o nível mínimo da potência aeróbia, compatível com uma vida independente aos 85 anos, era de aproximadamente 18 ml.kg⁻¹.min⁻¹ nos homens e 15 ml.kg⁻¹.min⁻¹ nas mulheres. Concluíram ainda que o limiar ventilatório decresce com a idade, cerca de metade do valor do VO₂max.

Wiebe et al. (1999), num estudo efectuado com 23 mulheres (seis entre os 20-29 anos, seis entre os 40-45 anos, seis entre os 49-54 anos e cinco entre os 58-63 anos) que treinavam habitualmente a resistência, referiram que o volume do sangue não se tinha alterado com o envelhecimento e que o VO₂max tinha decrescido progressivamente a uma taxa de 0.51 ml.kg⁻¹.min⁻¹.ano⁻¹. O declínio do VO₂max nas mulheres treinadas em resistência deve-se a uma diminuição da FC, do volume sistólico e do débito cardíaco e acentua-se com o

decorrer da idade. Em todas as idades a diástole é significativamente mais rápida que a sístole. O volume sistólico não atinge um *plateau* a uma intensidade submáxima mas aumenta progressivamente para o máximo.

Jessup et al. (1998) estudaram os efeitos de 16 semanas de treino de resistência numa amostra de vinte e um homens e mulheres com 68.5 ± 4.7 anos de idade, que foram distribuídos de forma aleatória por um grupo experimental ($n = 11$) ou por um grupo de controle ($n = 10$). Após 16 semanas de treino o VO₂max aumentou 14% ($p = 0.001$).

Kohrt et al. (1991) num estudo realizado com 53 homens e 57 mulheres, saudáveis, sedentários nos dois últimos anos, com idades compreendidas entre os 60 e os 71 anos, participaram num programa de treino de marcha e corrida com a duração de 12 meses (3.9 ± 6 UT.sem⁻¹, 45 ± 5 min.dia⁻¹; $80 \pm 5\%$ da FCmax. No final do estudo verificou-se um aumento médio no VO₂max de $24 \pm 12\%$, não foi muito diferente entre homens ($26 \pm 12\%$) e mulheres ($23 \pm 12\%$), tendo concluído que neste grupo de idosos saudáveis as adaptações provocadas pelo treino de resistência são idênticas à de indivíduos mais novos, independentemente da idade, sexo e nível condicional inicial.

Em conclusão, as manifestações de velhice no indivíduo podem ser atenuadas pela actividade física regular, particularmente pelo trabalho de força e o treino da resistência, contribuindo para a manutenção ou o desenvolvimento da função cardiovascular (avaliada pelo VO₂max), do débito cardíaco e da diferença artério-venosa (American College of Sports Medicine 1998).

2.1.1.3.2. Efeitos do sexo

Nos homens e mulheres adultos podem ser observadas diferentes tipos de respostas neuromusculares, cardiovasculares, respiratórias e metabólicas.

Quanto às respostas neuromusculares, as qualidades inatas do músculo e os mecanismos do seu controlo motor são semelhantes nas mulheres e nos homens. A força dos membros inferiores das mulheres é 5 a 15% inferior ao homem, apenas quando expressa em relação ao peso total do corpo, sendo igual quando comparada considerando a massa gorda livre. Através de biopsias (ACSM, 1998) sabemos que homens e mulheres têm distribuições semelhantes dos tipos de fibras e estudos efectuados por Costill

et al. (1987) e Fink et al. (1992) em corredores de elite referem que as percentagens de ST eram semelhantes para homens e mulheres.

No que diz respeito à resposta cardiovascular, a FC e o débito cardíaco são os mesmos em homens e mulheres, mas uma FC elevada na mulher implica um baixo volume sistólico, o que resulta de 3 factores: (1) as mulheres têm corações mais pequenos e ventrículos esquerdos menores, devido ao seu menor tamanho corporal e possivelmente devido à sua menor concentração de testosterona; (2) as mulheres têm um volume sanguíneo menor, o que também está relacionado com o seu menor tamanho; (3) a mulher média é tipicamente menos activa e por isso apresenta uma menor condição física (ACSM, 1998).

A 50% do VO₂max, o débito cardíaco, o volume sistólico e o VO₂max de uma mulher são menores, mas a FC é maior quando comparada com o de um homem. Estas diferenças também se observam a intensidades máximas de exercício.

As mulheres também têm menor potencial para desenvolver a sua diferença artério-venosa, o que se deve a um menor conteúdo de hemoglobina, que por sua vez resulta num menor conteúdo arterial de O₂ e na redução do potencial oxidativo do músculo.

Um nível menor de hemoglobina é um importante contributo para as diferenças de valores de VO₂max em cada sexo, uma vez que menos O₂ é enviado para o músculo activo para um determinado volume de sangue.

As divergências na resposta respiratória de homens e mulheres devem-se às diferenças de tamanho corporal, uma vez que a frequência respiratória resultante do mesmo trabalho difere pouco, embora a mulher trabalhe a uma percentagem mais elevada do seu VO₂max. As mulheres bem treinadas apresentam 125 l·min⁻¹ de volume ventilatório contra 150-250 l·min⁻¹ nos homens (Wilmore e Costill, 1994).

Quanto à resposta metabólica, o VO₂max é o melhor índice da capacidade cardiorespiratória e é o produto do débito cardíaco com a diferença artério-venosa. O VO₂max representa, no exercício maximal que o sujeito maximizou, a capacidade de transporte e utilização do O₂.

Os valores de VO₂max de homens e mulheres são idênticos até à puberdade e a partir daí as mulheres apresentam valores inferiores porque têm

mais massa gorda, menos massa muscular e valores inferiores de hemoglobina (McArdle et al., 1986; Ross e Jackson, 1990).

A mulher sedentária apresenta um valor de VO₂max que oscila entre 32 e 40 ml.kg⁻¹.min⁻¹ e o homem entre 35 e 55 ml.kg⁻¹.min⁻¹ (Billat, 1991; Zintl, 1991; Platonov, 1991; Sutton, 1992; Franklim, 1997; Pfitzinger, 1999). A mulher maratonista apresenta um valor de VO₂max que oscila entre 60 e 72 ml.kg⁻¹.min⁻¹ e o homem entre 73 e 90 ml.kg⁻¹.min⁻¹ (Billat, 1991; Zintl, 1991; Platonov, 1991; Sutton, 1992; Franklim, 1997; Pfitzinger, 1999) (Quadro 10).

Quadro 10 Valores médios de VO₂max (ml.kg⁻¹.min⁻¹) para mulheres e homens, sedentários e maratonistas femininos e masculinos.

Autor	Sedentário		Maratonista	
	Mulher	Homem	Mulher	Homem
Billat (1991)	35	45	•	•
Zintl (1991)	32-38	40-55	60-70	80-90
Platonov (1991)	32-40	40-50	65-72	80-90
Sutton (1992)	•	38	•	•
Franklim (1997)	•	35	•	80
Pfitzinger (1999)	38	45	65	73

Helgerud et al. (1990) estudaram seis homens e seis mulheres escolhidos com idades compreendidas entre 20-30 anos e um desempenho na maratona de 199.4±2.3 min para homens e 201.8±1.8 minutos para as mulheres. A finalidade era encontrar diferenças entre os sexos quanto ao VO₂max, Lan, custo energético da corrida, % VO₂max e a carga de treino. Os resultados mostraram que os corredores masculinos e femininos com níveis de *performance* idênticos apresentaram o mesmo VO₂max (aproximadamente 60 ml.kg⁻¹.min⁻¹). Para ambos os sexos o Lan foi alcançado a uma intensidade aproximada de 83% de VO₂max, ou 88%-90% da FC máxima. A economia de corrida das mulheres era mais baixo, uma vez que o seu consumo de oxigénio a uma velocidade submaximal padronizada era mais elevado ($p < 0.05$). A % VO₂max média utilizada na maratona era um tanto mais elevada para as mulheres, mas a diferença não era significativa. A velocidade média da maratona foi para homens e mulheres 93%-94% do limiar anaeróbio.

Num trabalho posterior, também com maratonistas, numa amostra de seis homens e seis mulheres com a idade compreendida entre 20-30 anos e um desempenho médio de 2 h 40 minutos sobre a maratona, Helgerud (1994)

investigou as diferenças entre homens e mulheres, no custo energético da corrida, VO₂max, Lan e % de VO₂max. O VO₂max foi 10% (23 ml.kg^{-0.75}.min⁻¹) mais elevado nos homens do que nas mulheres. As mulheres apresentaram em média um valor de VO₂ de 10-12 ml.kg^{-0.75}.min⁻¹ mais baixo que os homens quando correm às mesmas velocidades. O valor médio do custo energético da corrida era 0.211 ml.kg⁻¹.m⁻¹ e foi idêntico para ambos os sexos independentemente da velocidade do TR. Também não foi detectada qualquer diferença entre homens e mulheres quanto ao Lan expresso em % de VO₂max ou %FC max.

Wiswell et al. (2000) estudaram as relações entre o VO₂max, o Lan e a *performance*, numa amostra com 168 atletas idosos (111 homens e 57 mulheres) que corriam 10 milhas.semana⁻¹ há 5 anos ou mais. Para além da determinação da v4, também o VO₂max foi avaliado, no TR, tendo os autores concluído que os homens possuíam um VO₂max superior às mulheres e que o VO₂max e a *performance* diminuíam com a idade, em ambos os sexos. O Lan enquanto %VO₂max não diferia entre homens e mulheres e aumentava de forma significativa com a idade. O VO₂max manifestou-se um melhor preditor que o Lan da *performance* sobre 5000m e 10000m.

2.1.1.3.3. Efeitos da altitude

A realização dos Jogos Olímpicos na Cidade do México, em 1968, a 2300 m, contribui para o aparecimento de inúmeros estudos realizados sobre o efeito da altitude no treino e na competição (Balke et al., 1965; Grover e Reeves, 1966; Klausen et al., 1966; Hansen et al., 1967; Buskirk et al., 1967; Faulkner et al., 1967; Faulkner et al., 1968; Dill, 1971). O VO₂max altera-se fruto da diminuição da pressão atmosférica e consequente redução no conteúdo de oxigénio no ar decrescendo 3%, por cada fracção de 300 m acima dos 1600 m (Billat, 1998; Roi et al., 1999).

Squires e Buskirk (1982) referem uma quebra na percentagem de O₂ no ar atmosférico de 10% por cada 1000 metros, a partir dos 1200 m. Buskirk et al. (1967) referem um decréscimo de 25% a 4300m e 35% a 5200 m, em relação ao nível do mar. Segundo West et al. (1983a, 1983b) no cimo do Everest (8848 m) o VO₂max médio de um alpinista é de apenas 15 ml.kg⁻¹.min⁻¹, ou seja, cerca de 27% do valor ao nível do mar e é pouco mais elevado que o necessário para

manter as funções vitais (7 ml·kg⁻¹·min⁻¹). Pugh (1964) refere que a FC diminui entre 24 a 33 bpm a uma altitude de 4000m e é de 67 bpm a 6100m.

São várias as alterações hematológicas, ventilatórias e metabólicas associadas à residência e treino em altitude (Young et al., 1982; Grover et al., 1986; Young e Young, 1988). A residência em altitude é responsável por alterações fisiológicas como o aumento da hemoglobina (Grover et al., 1986) e do hematócrito (Young e Young, 1988) e a diminuição no débito cardíaco maximal (Grover et al., 1986; Young e Young, 1988), isto é, o miocárdio é sensível à hipóxia e a limitação do consumo máximo de oxigénio não é só periférica (baixa do CaO₂), mas também central (Young et al., 1982; Grover et al., 1986; Young e Young, 1988).

Por sua vez, o treino em altitude estimula a eritropoiese (Eckardt et al., 1989, Rodriguez et al., 1999) e provoca também alterações na densidade capilar (Desplanches et al., 1993), no tamanho da fibra muscular (Desplanches et al., 1993), na concentração de mioglobina (Terrados et al., 1990), nas respostas hormonais (Emonson et al., 1997), na capacidade oxidativa do músculo (Terrados et al., 1990), na actividade glicolítica (Terrados et al., 1990) e na densidade do volume interfibrilar mitocondrial (Desplanches et al., 1993). No entanto, é muito difícil determinar qual a magnitude de muitos destes potenciais benefícios (Desplanches et al., 1993).

Para além do acima referido, Billat (1998) sugere como forma de compensar a quebra de O₂ na pressão alveolar (PAO₂), que o sujeito aumenta o seu débito ventilatório entrando em hiperventilação 1 a 2 horas após o início da permanência em altitude, mantendo-se nesta situação, de forma acentuada, por mais 2 a 4 dias.

De acordo com Brooks et al. (1996) a capacidade de transporte do O₂ no sangue arterial é de aproximadamente 18 a 20 mlO₂.100ml⁻¹ em sujeitos saudáveis, que vivem ao nível do mar e 30% superior nos que nasceram em altitude elevada.

Apesar da controvérsia (Kolias e Buskirk, 1974; Jackson e Sharkley, 1988; Levine e Stray-Gundersen, 1992; Levine e Stray-Gundersen, 1997) que estas descobertas proporcionaram, após México 68, proliferaram um pouco por todos os continentes vários locais para o treino em altitude, nomeadamente no Quénia, na África do Sul, no México (Toluca), na Itália (Sestriere), na França (St.

Moritz, Font Romeu) e nos Estados Unidos (Gunnison-Colorado, Alamosa-Colorado, Flagstaff-Arizona), entre outros.

Para maratonistas com níveis de *performance* desportiva heterogéneos, a média de velocidade da maratona depende directa e preferencialmente do VO₂max (Sjodin, 1985; Peronnet, 1991), pelo que a *performance* da maratona em altitude será substancialmente reduzida. Roi et al. (1999) sustentam que as melhores marcas de sempre na maratona a diferentes altitudes (Quadro 11) coincidem com a diminuição dos valores de VO₂max apontados na literatura.

Quadro 11 Melhores marcas de sempre na maratona a diferentes altitudes (Adaptado de Roi, 1999)

Ano	Local	Altitude (m)	Marca	Velocidade (km.h ⁻¹)	Vencedor
1999	Chicago	0	2h05'42"	20.0	Kannouchi (MAR)
1993	Cidade do México	2240	2h14'47"	18.8	Ceron (MEX)
1994	Tibete	4300	2h56'08"	14.4	Carpenter (EUA)
1995	Tibete	5200	3h22'25"	12.5	Carpenter (EUA)

Daniels e Oldridge (1970) num estudo efectuado com seis corredores de elite que treinaram a 2300m durante 42 dias repartidos por períodos de 7 e 14 dias, referem um aumento de 4.4% no VO₂max e ainda que 5 atletas melhoraram os seus recordes pessoais e um deles bateu o recorde do mundo da milha. No entanto, outros estudos provaram o contrário, como o efectuado por Jensen et al. (1993). Neste trabalho, dois grupos de remadores de elite treinaram durante 21 dias em locais diferentes, um em altitude (1822m) e outro ao nível do mar, mas utilizando a mesma metodologia de treino. Após este período, o grupo que treinou ao nível do mar melhorou em 4% e 3% respectivamente o seu VO₂max e a sua *performance*, enquanto no grupo que treinou em altitude não se registou nenhuma alteração significativa. Estes dados sugerem que o treino em altitude apresenta respostas interindividuais heterogéneas quanto à melhoria do VO₂max e da *performance*.

A inexistência de consenso no benefício do treino em altitude, que ainda hoje existe na comunidade científica e nos especialistas do treino, resulta do facto de muitos estudos terem utilizado métodos e procedimentos experimentais desajustados como: (1) amostras reduzidas; (2) inexistência de grupos de controlo; (3) número de unidades de treino desajustadas; (4) volume

e intensidade da carga incorrectos; (5) conteúdos de treino não recomendados; (6) não respeitarem a progressão da carga para uma correcta adaptação; (7) não efectuarem estudos intraindividuais e interindividuais em cada um dos modelos de treino adoptados em altitude; (8) nas amostras não considerarem apenas sujeitos do mesmo sexo; (9) o nível condicional heterógeno dos sujeitos; (10) a motivação multivariada dos indivíduos da amostra; (11) a idade (Fulco et al., 2000).

Vários autores (Daniels e Oldridge, 1970; Gleser e Vogel, 1973; Horstman et al., 1980; Astrand e Rodahl, 1986) referem que a não alteração de valores de VO₂max não implica ineficácia no treino em altitude, mesmo quando não é evidente a melhoria da *performance* ao nível do mar. Após um período de treino e residência em altitude são quatro as situações possíveis : (1) não alteração do VO₂max e da *performance* (Buskirk et al., 1967); (2) melhoria do VO₂max e da *performance* (Faulkner et al., 1967); (3) não alteração do VO₂max e melhoria da *performance* (Mizuno et al., 1990; Svedenhag et al., 1991); (4) melhoria do VO₂max e não alteração da *performance* (Levine e Stray-Gundersen, 1997).

Quais os factores que contribuem para após um treino em altitude não se registar uma melhoria do VO₂max ao nível do mar ?

A primeira explicação deve-se ao não desenvolvimento de massa eritrocitária (red blood cell mass) durante o treino em altitude, consequência, segundo Stray-Gundersen et al. (1992), do atleta apresentar valores anormalmente baixos de ferritina.

O segundo factor que pode contribuir para a estabilização ou até uma diminuição do VO₂max após o treino em altitude tem a ver com a intensidade do mesmo, que deve ser inferior à utilizada ao nível do mar, para que o estímulo permaneça equivalente (Levine e Stray-Gundersen, 1992). A curva resultante da relação FC e lactatemia desloca-se para a esquerda permanecendo aí durante todo o período de treino em altitude, o que obriga a treinar a baixas intensidades. O aumento das concentrações de lactato tem a ver com a diminuição do nível de saturação de O₂ no sangue, que a uma intensidade de 85% do VO₂max é menor em corredores de elite mesmo quando comparada com outros atletas ao nível do mar. Essa diminuição, no entanto, acentua-se quando os atletas treinam a uma altitude de 750 m, à intensidade do VO₂max.

(Dempsey et al., 1984; Gore et al., 1995). O volume de plasma diminui com o aumento de altitude, o débito cardíaco e o volume sistólico diminuem mas a FC aumenta durante o exercício de intensidade submaximal. Isto acontece com sedentários, mesmo após 3 semanas de adaptação (Mazzeo et al., 1994; Wolfel 1991). Estes dados sugerem que a diminuição da intensidade do treino em altitude deve ser acompanhada com uma aferição do estímulo do treino.

O terceiro factor que conduz a uma diminuição do VO₂max ao nível do mar, após um período de treino em altitude, é o sobretreino, uma vez que alguns autores (Berglund, 1992; Dick, 1992; Jackson e Sharkey, 1988; Terrados 1992) detectaram uma diminuição da actividade glicolítica.

O treino em altitude tem sido efectuado de 5 formas: (1) treinar e residir em altitude baixa (1200<1500m); (2) treinar em altitude baixa (\pm 1200m) e viver ao nível do mar; (3) treinar em altitude baixa (\pm 1200m) mas viver em altitude elevada (\pm 2500m); (4) treinar ao nível do mar e passar para altitude só após um período de adaptação; (5) treinar e viver em altitude elevada (\pm 2500m)

Levine e Stray-Gundersen (1992) e Levine et al. (1991) compararam um grupo de 9 atletas, que durante 4 semanas viviam em altitude elevada (2500m) mas treinavam em altitude baixa (1300m) (*living high - training low*), com um outro grupo que vivia e treinava a esta altitude (*living low - training low*), utilizando a mesma metodologia e carga de treino. O grupo *high-low* apresentou uma melhoria de 5% do seu VO₂max ao nível do mar, um aumento do volume do sangue de 500 ml e todos os atletas melhoraram em média 30 s nos 5000 m. No grupo *low-low* não se registaram alterações significativas.

Stray-Gundersen e Levine (1994) e Stray-Gundersen et al. (1995) referem que um conjunto de atletas, após 6 semanas de treino efectuado ao nível do mar com planos de treino e dinâmica de carga idênticos, foi subdividido em três. Durante outras 4 semanas, mantendo as mesmas condições de treino, isto é, com volume e intensidade iguais, mas com estímulos aferidos, um grupo passou a viver e a treinar em altitude elevada (2500 m) (*high-high*), outro passou a viver a altitude elevada (2500m) e a treinar a baixa altitude (1300) (*high-low*) e um terceiro permaneceu ao nível do mar. Os grupos *high-high* e *high-low*, evidenciaram após as 4 semanas de treino um aumento semelhante na eritropoítina sérica, na massa eritrocitária e nos valores do VO₂max ao nível do mar, não tendo sido registada qualquer alteração no grupo que viveu e

treinou ao nível do mar. A melhoria da *performance* sobre 5000 m na pista foi mais evidente no grupo *high-high* que no *high-low*, mas as diferenças não são estatisticamente significativas.

Levine e Stray-Gundersen (1997), num estudo comparativo semelhante, observaram o efeito na *performance* após 4 semanas de *living high-training low* (2500m - 1250m), *living high-training high* (2500m - 2500m) e ao nível do mar (150m) e demonstraram a eficácia de viver a altitude elevada (2500m) e treinar a altitude baixa (1250m), com a melhoria da *performance* aos 5000 m (-13.4s±10s). Os corredores treinaram também 4 semanas ao nível do mar (150m) com a mesma metodologia, para que a melhoria dos parâmetros fisiológicos e da *performance* resultassem da permanência em altitude e não do treino. Para que os estímulos de treino fossem próximos no volume e na intensidade, com uma FC semelhante a todas as altitudes, a intensidade do treino era de 85% da velocidade correspondente aos 5000 m ($v_{5000m} = 71\%$ do VO₂max) ao nível do mar, de 80% a 1250 m e 75% a 2500m. Uma melhoria de 6% no VO₂max e de 8% no limiar anaeróbio, foi registada nos grupos que treinaram em *high-low*. O aumento do volume de glóbulos vermelhos, por unidade de peso (+1.5ml.kg⁻¹ correspondente a + 5.3%), estava correlacionada com a melhoria do VO₂max e a *performance* nos 5000m. O grupo que treinou e viveu a 2500 m (*high-high*) aumentou significativamente o VO₂max e o volume de glóbulos vermelhos, por unidade de massa muscular (de 13.8 a 15.0 mg.dl⁻¹), mas não melhoraram a sua *performance* aos 5000m, tendo ainda sentido uma grande prostração ao fim das 4 semanas de treino.

O treino em altitude, segundo Wolski et al. (1996), apresenta alguns benefícios fisiológicos como o aumento da hemoglobina, do hematócrito, da actividade das enzimas oxidativas, da concentração de mioglobina. Segundo os mesmos autores, as desvantagens são a redução dos volumes plasmático e sistólico, do débito cardíaco e do VO₂max, e ainda, implica uma redução na intensidade do treino, potencia o sobre-treino, o aparecimento de infecções e ainda a AMS (*acute mountain sickness*) que se manifesta por dor de cabeça, insónia, vômito, fraqueza, náusea e anorexia.

Chapman et al. (1998) registaram uma grande variabilidade interindividual na resposta ao treino em altitude entre os atletas que adoptaram o modelo *living high-training low*, apesar dos valores médios indicarem uma

clara melhoria no VO₂max e na *performance*. Este autores identificam os factores responsáveis por esta variabilidade concluindo que os atletas que respondiam positivamente ao treino em altitude apresentavam valores mais elevados no VO₂max e na eritropoetina que os que não respondiam de forma tão evidente.

Ainda segundo Wolski et al. (1996), apesar de alguma controvérsia (Levine e Stray-Gundersen, 1992b), o treino em altitude proporciona uma melhoria da *performance* ao nível do mar, embora ainda seja necessário o aparecimento de estudos credíveis, que confirmem a sua eficácia atendendo à grande variabilidade interindividual da resposta, a inexistência de grupos de controlo em alguns estudos e a inexistência de atletas de elite nas amostras. As razões destes resultados conflituais não é clara mas parece indicar a necessidade de comparação horizontal e vertical dos métodos, dos procedimentos e resultados de todos estes estudos para se perceber melhor o efeito da intensidade, volume e densidade da carga do treino em altitude. A necessidade de utilizar outros critérios que não apenas a melhoria do VO₂max e da *performance* parece evidente, principalmente dos indicadores relativizados ao VO₂max, como a velocidade associada ao VO₂max (vVO₂max) (Daniels et al., 1984) e o tempo de exaustão à velocidade associada ao VO₂max (t_{lim} vVO₂max) (Billat et al., 1994a), para além da economia de corrida (considerando o custo em oxigénio a uma intensidade submáxima ou o custo em oxigénio por unidade de distância) e o limiar anaeróbio, que nos ajudarão a entender melhor o efeito do treino e de residência em altitude, assim como contribuirão de forma mais ajustada para a calibração do treino. Também nos parece importante, devido à heterogeneidade interindividual de respostas dentro do mesmo grupo, uma avaliação do comportamento do indivíduo no grupo.

Os estudos efectuados por Levine e Stray-Gundersen referem claramente as vantagens do treino a baixa altitude (1200<1500m) associado a uma vida a altitude elevada (2500 m), (*training low - living high*) como forma de garantir a melhoria dos parâmetros aeróbios, cardiovasculares e musculares sem produzirem uma fadiga generalizada.

Uma pesquisa recente sobre esta problemática foi apresentada por Stray-Gundersen et al. (2001), que em trabalhos anteriores haviam concluído que o *training high-living low* permitia a melhoria da *performance* ao nível do

mar, excepto para atletas de elite. Neste estudo que contemplou uma amostra de atletas de elite (14 homens e 8 mulheres) que viveram durante 27 dias a 2500m e treinaram a intensidade elevada a 1250m, os autores registaram uma melhoria de 1.1% na *performance* ao nível do mar sobre 3000m e ainda um aumento de cerca de 3% para os valores do VO₂max (72.5±1.5 para 74.4±1.5 ml·kg⁻¹·min⁻¹). Desta forma Stray-Gundersen et al. (2001) concluíram que 4 semanas de aclimação a altitude elevada (2500m) e treino muito intenso a baixa altitude (1250m) permite melhorar significativamente ($r = 0.95$) a *performance* ao nível do mar em atletas de elite.

Roi et al. (1999) estudaram o efeito da altitude na *performance* da maratona. Oito atletas de elite e quatro de bom nível participaram numa maratona a 4300 m de altitude, enquanto 5 outros atletas de elite participaram numa maratona a 5200m. O VO₂max foi determinado indirectamente em altitude, durante as expedições a 4300 m e a 5200m, a partir de teste de 12 min. As %VO₂max utilizadas durante as duas corridas foram calculadas a partir da relação linear estabelecida entre o VO₂ e a velocidade da corrida, de acordo com o descrito por Costill e Fox (1969). Estes autores verificaram que o VO₂max decresce com a altitude ($P < 0.001$). Encontraram uma relação linear entre a velocidade de cada participante ao nível do mar ($R^2 = 0.73$, $P < 0.001$) e a velocidade a 4300 m. A diferença média entre a velocidade ao nível do mar e a observada a 4300 m era de 35±9% ($P < 0.001$). A 4300 m os atletas de elite utilizaram 63±8% do VO₂max, enquanto os corredores de bom nível, apenas utilizaram 52±8% do VO₂max ($P < 0.001$). Os cinco corredores de elite utilizaram respectivamente 74±6% ($P < 0.01$) e 71±3% ($P < 0.01$) a 4300 m e a 5200m. Concluíram que a *performance* da maratona em altitude é principalmente afectada por um baixo valor do VO₂max. A melhor *performance* dos corredores de elite em altitude, quando comparada com os corredores de bom nível, está relacionada com a mais elevada %VO₂max mantida durante a corrida.

2.1.1.3.4. Efeitos do treino

Para o desenvolvimento da *performance* é necessário um indivíduo submeter-se a cargas de treino contínuas ou intermitentes, que provoquem adaptações fisiológicas nos sistemas pulmonar, cardiovascular e neuromuscular. Com o efeito do treino de resistência: (1) o trabalho muscular

requer menor quantidade de sangue para o exercício efectuado à mesma intensidade submaximal, devido ao aumento da diferença artério-venosa; (2) acontece um aumento do volume sistólico resultado do aumento do ventrículo esquerdo, da contractilidade do miocárdio e do volume diastólico final; (3) assiste-se a um decréscimo da sensibilidade para as catecolaminas, o que conduz a uma redução da FC durante o exercício submaximal; (4) a capacidade de transporte de O₂ pelo sangue é aumentada devido a um incremento no conteúdo total de hemoglobina no sangue; (5) no exercício maximal, um débito cardíaco maior juntamente com um aumento na extração de O₂ pelo músculo, resulta num maior VO₂max (Shephard, 1992; Spina, 1999). Estas adaptações deslocam a curva da relação velocidade-tempo para a direita, o que resulta numa melhoria da resistência.

2.1.1.3.4.1. Intensidade, duração e frequência

De acordo com Wenger (1986), a magnitude da resposta ao treino depende da duração, intensidade e frequência dos conteúdos utilizados e também do nível condicional inicial do sujeito, do seu potencial genético e, como já foi referido, da idade e do sexo. Klissouras et al. (1973) e Bouchard (1988) demonstraram uma grande variabilidade interindividual na treinabilidade do VO₂max, que decorre da composição genética e do nível condicional inicial do sujeito.

A melhoria do VO₂max pode variar entre 10 e 30% e está directamente relacionada com a frequência, a intensidade e a duração da carga de treino (Hickson e Rosenkoetter, 1981; Hickson et al., 1985; Wenger e Bell, 1986; ACSM, 1995).

Segundo o ACSM (1998), uma variação de 10 a 15% no VO₂max, num adulto saudável, deve-se a uma quantidade e qualidade de treino com base numa frequência de 3-5 dias.semana⁻¹, uma intensidade de 55/65%-90% da FCmax ou 45/50%-85% do VO₂reserva (VO₂max-VO₂ repouso), uma duração da unidade de treino de 20-60 min de trabalho contínuo ou intermitente e um tipo de actividade que solicite o maior número possível de grupos musculares.

Por outro lado, Santiago et al. (1989) afirmam que a intensidade e duração do treino estão interrelacionados, sendo o volume total de treino realizado um factor importante na melhoria condicional do atleta. Quando a

intensidade do exercício é reduzida, o volume total de treino acumulado passa a ser o mais importante factor de desenvolvimento ou da manutenção da condição física.

Wenger e Bell (1986), Robinson et al. (1991) e numa pesquisa mais recente Tabata (1997) sugerem que para haver uma melhoria da condição física é necessário uma intensidade de treino elevada, entre 90-100% do VO₂max, associada a um volume de treino mínimo.

O aumento do VO₂max pode ser potenciado com o aumento da frequência do treino, mas a magnitude da mudança pode ser nula ou pouco significativa, mesmo quando o número de unidades de treino é superior a 5 por semana. O treino inferior a dois dias por semana não provoca qualquer alteração do VO₂max (Wenger e Bell 1986, Martin et al. 1987).

2.1.1.3.4.2. Cross-training

As adaptações ao treino dependem da frequência, intensidade e duração da carga e não da especificidade do trabalho realizado (Lieber et al., 1989). No entanto, estudos recentes (Tanaka, 1994; Pizza et al., 1995; Loy et al., 1995; Foster et al., 1995; Wilber et al., 1996; Ruby et al., 1996; Frangolias et al., 1996; Tanaka e Swensen, 1998; Flynn et al., 1998) referem que o *cross-training*, isto é, a utilização simultânea por parte do atleta de conteúdos de treino que contenham uma gama variada de gestos técnicos que não os específicos da sua modalidade desportiva, solicita um maior número de grupos musculares, produzindo um incremento acentuado nos valores de VO₂max.

O tipo de *cross-training* mais utilizado com corredores de meio-fundo e fundo é a corrida na água de que são exemplos os estudos elaborados por Ritchie e Hopkins (1991), Eyestone et al. (1993), Wilber et al. (1996), Bushman et al. (1997), Gehring et al. (1997), DeMaere e Ruby (1997).

Ritchie e Hopkins (1991) comparam o efeito do treino efectuado no tapete rolante com a corrida em imersão na água, concluindo que esta última mantém em atletas bem treinados um perfil aeróbio elevado, idêntico ao que resulta do treino no terreno.

Eyestone et al. (1993) fizeram estudo comparativo do efeito do treino através da corrida em imersão na água, do ciclismo e da corrida no terreno, na manutenção do VO₂max e na *performance* de 2 milhas, após 6 semanas de

treino. A amostra era constituída por 32 sujeitos com uma idade compreendida entre 18 e 26 anos, que foram divididos em três grupos de acordo com a sua elevada, média ou baixa prestação na corrida das 2 milhas. Os três grupos treinaram durante as seis semanas com uma frequência, intensidade e duração semelhantes. Após as seis semanas, os 3 grupos apresentaram uma pequena e estatisticamente significativa diminuição do VO₂max, mas nenhuma alteração na *performance* da corrida de duas milhas. Concluiu-se que para atletas de meio-fundo e fundo, durante 6 semanas, o VO₂max e a *performance* sobre duas milhas podem ser mantidas, se o treino de corrida no terreno for substituído por ciclismo ou corrida em imersão na água.

Wilber et al. (1996) efectuaram um estudo em que examinaram o efeito de 6 semanas de treino na manutenção da *performance* cardiorespiratória (VO₂max, limiar ventilatório e economia de corrida) e metabólica (glucose sanguínea, lactatemia e noradrenalina plasmática). A amostra era constituída por 16 atletas masculinos (VO₂max = 58.6±3.6 ml.kg⁻¹.min⁻¹) distribuídos por dois grupos a partir dos valores de VO₂max da corrida efectuada no tapete rolante ou na corrida de imersão na água. Os conteúdos de treino, que eram efectuados alternadamente, durante 5 dias.semana⁻¹ eram os seguintes: a) 30 min a 90-100% VO₂max; b) 60 min a 70-75% VO₂max. Após 6 semanas de treino, não foram registadas diferenças significativas intragrupos ou intergrupos no VO₂max do grupo que trabalhou no tapete rolante (pré-teste = 58.4±2.3, pós-teste = 60.1±3.6 ml.kg⁻¹.min⁻¹) e na corrida em imersão na água (pré-teste = 58.7± 4.7, pós-teste = 59.6±5.4 ml.kg⁻¹.min⁻¹). Concluíram que o treino através da corrida em imersão na água é uma excelente alternativa ao treino no terreno, uma vez que garante, durante seis semanas, a manutenção do perfil aeróbio de atletas bem treinados.

DeMaere e Ruby (1997) comparam o efeito do treino, efectuado no tapete rolante e sob a forma de corrida em imersão na água, a uma intensidade submaximal em atletas treinados (n = 8). Após a determinação do VO₂max no tapete rolante, seguem-se duas corridas a intensidade submaxima (60% e 80% VO₂max) e a consequente avaliação de alguns parâmetros cardiorespiratórios e metabólicos que provaram a réplica perfeita da intensidade utilizada no tapete rolante e na corrida em imersão na água.

Gehring et al. (1997) também investigam a existência de réplica entre a intensidade da corrida efectuada no tapete rolante e em imersão na água com e sem colete de flutuação. A amostra, constituída por 7 atletas de competição do sexo feminino e outras 7 que não competiam, permitiu concluir que as atletas com experiência de competição replicavam com facilidade a intensidade aplicada na corrida no tapete rolante e na corrida em imersão na água com ou sem colete, o que já não acontecia com as atletas sem experiência de treino e de competição.

Bushman et al. (1997) propuseram-se estudar o efeito do treino efectuado sob a forma de corrida em imersão na água, durante 4 semanas, em alternativa ao treino de corrida no terreno, para determinar se o nível da *performance* se mantinha. A amostra, constituída por 11 atletas bem treinados (10 homens e uma mulher, idade 32.5±5.4), treinaram durante 4 semanas, 5-6 dias.semana⁻¹, para uma média total de 22±1.5 unidades de treino. Antes e após as 4 semanas de treino, todos os atletas efectuaram testes no tapete rolante para determinar a economia de corrida, o limiar anaeróbio e o VO₂max que apresentou os seguintes valores: pré-teste - 63.4±1.3 ml.kg⁻¹.min⁻¹; pós-teste - 62.2±1.3 ml.kg⁻¹.min⁻¹; P = 0.11). Os autores concluíram que atletas de meio-fundo e fundo, bem treinados, mantêm os mesmos níveis de *performance* se utilizarem durante 4 semanas como meio de treino, a corrida em imersão na água, em alternativa à corrida no terreno.

2.1.1.3.4.3. Destreino e sobretreino

Tempos de recuperação adequados são fundamentais para permitirem a adaptação da carga. Um estímulo de treino insuficiente associado a um tempo de recuperação demasiado extenso podem provocar a estagnação ou o destreino, enquanto uma carga de treino exagerada, com um tempo de recuperação insuficiente, pode conduzir ao sobretreino (Neufer, 1989; McKenzie, 1999).

Para que o efeito do treino seja mantido é necessário que todas as componentes da carga mantenham valores estáveis. Uma redução significativa da condição cardiorespiratória ocorre depois de duas semanas de destreino e os atletas regressam aos níveis condicionais iniciais após um período que decorre entre 10 semanas a 8 meses de destreino (Coyle et al., 1984). Uma

perca de 50% do valor inicial de VO₂max torna-se evidente após 4-12 semanas de destreino (Coyle et al., 1984). A paragem absoluta do treino provoca reduções profundas no VO₂max, mas a sua redução por períodos de 5-15 semanas evidencia mudanças nulas ou insignificantes (Hickson et al., 1985)

Hickson e Rosenkoetter (1981), Hickson et al. (1982) e Hickson et al. (1985) manipularam a frequência, duração e intensidade do treino e descobriram que, se a intensidade do treino se mantiver inalterada, o VO₂max também não se altera durante 15 semanas, mesmo quando a frequência e a duração decrescem cerca de 2/3. No entanto, quando a frequência e a duração do treino permanecem constantes, mas a intensidade é reduzida de 1/3 a 2/3, o VO₂max reduz-se de forma significativa.

Billat et al. (1999) referem que o sobretreino, a incapacidade do atleta efectuar *performances* anteriormente conseguidas apesar de manter uma intensidade elevada no treino, é consequência da utilização de uma intensidade desajustada no treino intervalado.

Mujika et al. (2000) examinaram as respostas fisiológicas e da *performance* após 6 dias de redução (*taper*) do volume e da intensidade do treino numa amostra de 8 atletas de meio-fundo. A após 15 semanas de treino foram divididos em dois grupos, tendo um (n=4) uma diminuição moderada do volume do treino e o outro (n=4) uma diminuição acentuada do volume do treino, para além de ambos reduzirem 50% a 75% na intensidade do treino efectuado pelo método contínuo ou pelo método dos intervalos. Foram efectuadas recolhas de sangue e da *performance* sobre 800m antes e depois do *tapering*. A *performance* não sofreu alterações significativas antes e depois do *tapering* (124.9 ±4.5 contra 126.1±4.2 s para o grupo com diminuição acentuada do volume de treino, 126.2 ± 8.0 contra 125.7 ± 6.6 s para o grupo com diminuição moderada do volume de treino). As maiores alterações fisiológicas foram principalmente hematológicas, não tendo os autores referenciado qualquer alteração no VO₂max, concluindo ser possível os atletas de meio-fundo e fundo reduzirem para 75% o volume e a intensidade do treino pelo menos durante 6 dias.

Mujika e Padilla (2000a) efectuaram um estudo em que avaliaram o destreino, que definem como a perda parcial ou total das adaptações resultantes da interrupção ou insuficiência do treino. Estes autores referem que

o destreino, decorrente de 4 semanas de estímulo de treino insuficiente em atletas bem treinados, é caracterizado por um decréscimo acentuado no VO₂max e no volume sanguíneo, assim como por um aumento da FC que se revela insuficiente para contrabalançar o decréscimo do volume sistólico e do débito cardíaco máximo. A eficiência ventilatória e a *performance* também diminuem. Estas mudanças são menos acentuadas em atletas com menor idade de treino. Sob o ponto de vista metabólico, o estímulo de treino insuficiente implica um aumento na contribuição do metabolismo dos hidratos de carbono durante o exercício.

Ainda os mesmos autores, Mujika e Padilla (2000b), noutro estudo, referem que o destreino decorrente de um estímulo de treino insuficiente, superior a 4 semanas, provoca um declínio acentuado no VO₂max e se perdem todos os ganhos adquiridos pelo treino. Isto acontece devido à redução do volume de sangue, da eficiência ventilatória, do volume sistólico, do débito cardíaco e ao aumento da FC. A *performance* também decresce. Os níveis de glicogénio regridem para os níveis basais, a utilização dos hidratos de carbono aumenta e o limiar anaeróbio diminui, apesar de, nos atletas bem treinados, manter níveis superiores aos dos indivíduos sedentários. A nível muscular, a capilarização, a diferença artério-venosa e a actividade das enzimas oxidativas, são completamente anuladas em atletas pouco experientes, contribuindo para uma grande perda de VO₂max. A proporção de fibras oxidativas também decresce nos atletas que, pelo treino, potenciam a resistência, mas todos estes efeitos negativos podem ser contrariados se a intensidade for mantida durante o máximo de tempo possível e a frequência sofrer reduções moderadas. Por outro lado, o volume pode ser substancialmente reduzido. O *cross-training* contribui para a manutenção das adaptações decorrentes do treino.

Shepley et al. (1992), num estudo efectuado com 9 atletas masculinos de meio-fundo e fundo avaliaram as consequências de três tipos de redução do treino (*taper*), com a duração de 7 dias, todos eles aplicados aos mesmos sujeitos com 8 semanas de treino normal até ao primeiro taper e 4 semanas entre os seguintes. Os tipos de *taper* eram os seguintes: (1) alta intensidade e volume reduzido; (2) baixa intensidade e volume moderado; (3) repouso total. A *performance* foi avaliada antes e após cada *taper*, com uma corrida no TR até à exaustão, à velocidade correspondente à melhor marca de cada um aos

1500m. Não foi registada qualquer alteração no VO₂max de qualquer sujeito, após cada *taper*, mas na corrida até à exaustão registaram-se diferentes valores. No grupo que efectuou um *tapering* que consistia numa carga de alta intensidade e volume reduzido registou-se um aumento de 22%, no grupo de baixa intensidade e volume moderado foi observado um aumento de 6% e no grupo que efectuou repouso total aconteceu uma diminuição de 3%.

Houmard et al. (1989) investigaram o efeito da redução do volume do treino (8 km·dia⁻¹, 5 dias·semana⁻¹, durante 10 dias) numa amostra de 5 atletas universitários de meio-fundo e fundo bem treinados. Os atletas foram testados a meio da época quando faziam 110 km·semana⁻¹, após 10 dias de *taper* (80 km·semana⁻¹) e após a consequente competição. O VO₂max, a FC máxima e o $t_{lim}vVO_2max$ avaliados, antes e depois do *taper*, não sofreram alteração.

Houmard et al. (1994) estudaram o efeito de 7 dias de redução do volume de treino na *performance*. A amostra foi constituída por 3 grupos de oito atletas e foi implementado um: (1) *taper* tendo a corrida como meio de treino, (2) *taper* no cicloergómetro e (3) grupo de controlo. O treino do grupo (1) consistia em treino pelo método dos intervalos efectuados a intensidade elevada, o grupo dois utilizou a mesma metodologia de treino do grupo 1, com a mesma dinâmica da carga, mas só treinavam no ciclo ergómetro, enquanto o grupo 3, de controlo, fazia o seu treino normal. Quando avaliados sobre 5000m, o grupo (1) melhorou a sua *performance* em 3% (1036.2±30.6 para 1006.8±28.2 s, P < 0.005), assim como o seu VO₂ (6%) e o seu custo energético da corrida (7%), estes avaliados a uma intensidade de 80%VO₂max. Não houve qualquer alteração no grupo que trabalhou no cicloergómetro. Concluíram que um *taper* de 7 dias, ao considerar a corrida como meio de treino, proporciona a melhoria da economia de corrida (considerando o valor submáximo de VO₂ ou o custo energético) e da *performance*, enquanto o trabalho no cicloergómetro mantém o nível condicional inicial.

Nas pesquisas recentes de Uusitalo et al. (1998a), Uusitalo et al. (1998b), Uusitalo et al. (1998c) e Uusitalo et al. (2000), os autores pretendem conhecer os efeitos do sobretreino identificados por alguns indicadores fisiológicos, entre os quais o VO₂max e ainda pela *performance*. A amostra é constituída por atletas do sexo feminino, e contempla um grupo experimental (n = 9) e um grupo de controlo (n = 6), em que o sobretreino é induzido por um

aumento de 130% do volume da carga de intensidade mais elevada (70-90% do VO₂max) e um aumento para 100% do volume da carga de menor intensidade (<70% do VO₂max). No grupo de controle procedeu-se a um aumento idêntico do volume da carga mas apenas de 5% e 10% respectivamente. No grupo experimental não foi observada qualquer alteração no VO₂max e na *performance* mas em 5 atletas do primeiro grupo, para além de um decréscimo na *performance*, também o VO₂max desceu de 53.0±2.2 ml·kg⁻¹·min⁻¹ para 50.2±2.3 ml·kg⁻¹·min⁻¹ o que revela a presença de sobretreino.

2.1.1.3.4.4. Indicadores relativizados com o VO₂max (vVO₂max, t_{lim}vVO₂max).

Sharkey (1974) e Pollock et al. (1984) foram os primeiros a assinalar que quanto mais intenso era o treino, maior era o incremento no VO₂max e na *performance*.

A melhoria da *performance* associada ao incremento de alguns indicadores fisiológicos, entre os quais o VO₂max, são objecto de investigação constante no âmbito das ciências do desporto. Uma prescrição cada vez mais eficaz do treino passa pela possibilidade de individualização da carga, o que tem levado alguns investigadores como Daniels et al. (1984), Morgan et al. (1989), Billat et al. (1994a), Billat et al. (1994b), Billat et al. (1995), Hill e Rowell (1996) a definirem e adoptarem como calibradores da carga, por excelência, dois indicadores relativizados ao VO₂max, a velocidade associada ao VO₂max (vVO₂max) e o tempo limite da velocidade associado ao VO₂max (t_{lim} a vVO₂max).

Vários autores (Daniels et al., 1984; di Prampero, 1986; Srimgeour et al., 1986; Morgan et al., 1989; Cunningham, 1990; Noakes, 1990; Lacour et al., 1990; Lacour et al., 1991; Billat et al., 1994a; Billat et al., 1994b; Hill e Rowell, 1996) têm definido a velocidade associada ao VO₂max utilizando para isso diferentes métodos de determinação, definições e abreviaturas. Neste trabalho vamos utilizar para todas elas a designação de vVO₂max, inicialmente adoptada por Daniels et al. (1984) definida por Billat et al. (1994a), como a velocidade mínima necessária a que ocorre o VO₂max. A vVO₂max é a intensidade de treino ideal para melhorar a potencia aeróbia máxima, quer pelo método contínuo em que o atleta corre durante o máximo de tempo possível a essa intensidade, quer pelo método dos intervalos quando efectua um conjunto de repetições a

essa velocidade, mas com menor fatigabilidade, o que permite correr à vVO₂max durante mais tempo na unidade de treino.

A vVO₂max explica diferenças interindividuais na *performance*, que o VO₂max e a economia de corrida só por si não explicam (Billat e Koralsztein, 1996).

Os desportistas de elite de modalidades eminentemente aeróbias são capazes de trabalhar durante cerca de 10 min a 100% da vVO₂max, 30 min a 95%, 60 min a 85% e durante mais de duas horas a 80% (Billat, 1998).

Hill e Rowell (1996) num estudo comparativo dos diferentes métodos de determinação da vVO₂max utilizados por Daniels et al. (1984), di Prampero (1986), Noakes (1990), Lacour et al. (1990), Lacour et al. (1991) e Billat et al. (1994a), Billat et al. (1994b), concluíram que todos representam parâmetros diferentes e que os menos contaminados pela componente anaeróbia eram os de di Prampero (1986), Lacour et al. (1990) e Lacour et al. (1991).

Outro parâmetro que decorre do VO₂max é o tempo máximo a que a vVO₂max pode ser suportada ($t_{lim} vVO_2max$), um indicador muito útil para a prescrição da duração óptima da carga treino e que apresenta uma elevada correlação com a capacidade anaeróbia, para além de uma grande variabilidade entre um grupo de indivíduos com um baixo coeficiente de variação para o vVO₂max (Billat et al. 1994a, Billat et al. 1994b, Billat et al. 1995).

De acordo com Billat et al. (1994a) o $t_{lim} vVO_2max$ apresenta uma relação inversa com o VO₂max e com a vVO₂max. Por outro lado o $t_{lim} vVO_2max$ é positivamente correlacionado com a %VO₂max utilizada (Billat et al. 1995).

Segundo Thoden (1995), o tempo que um atleta é capaz de suportar continuamente, à velocidade a que foi encontrado o VO₂max, assume maior relevo na *performance* desportiva de nadadores de 800 m e corredores de 3000 m obstáculos.

Na prescrição da carga no treino devemos considerar a frequência, intensidade, duração e tipo de actividade a desenvolver e o nível condicional inicial do sujeito. A utilização destes indicadores possibilita estabelecer uma relação válida entre a carga interna e externa, através do estudo das adaptações agudas e/ou crónicas do exercício e do seu impacto no treino, permitindo a calibração da intensidade, a partir da vVO₂max e da duração, a partir do $t_{lim} vVO_2max$.

Morgan et al. (1989), Anderson (1994), Billat et al. (1994a), Billat et al. (1994b), Billat et al. (1995), Hill e Rowell (1996) argumentam que a vVO₂max é a intensidade de treino ideal para incrementar o VO₂max, quer pelo método contínuo, quer pelo método dos intervalos.

Vários autores investigam a eficácia da utilização da vVO₂max e do t_{lim}vVO₂max enquanto calibradores da intensidade e duração da carga, estudando o seu efeito na potenciação da *performance* e do VO₂max, entre outros parâmetros fisiológicos.

Billat et al. (1999) sugerem que a duração das repetições do treino pelo método dos intervalos deve ser igual a 50% do t_{lim}vVO₂max a uma intensidade de 100% do vVO₂max, que a razão esforço-recuperação deve ser de 1:1 e que a acção durante o tempo de recuperação deve ser a corrida a uma intensidade de 60% de vVO₂max. Neste estudo, efectuado com 8 atletas de meio-fundo e fundo, uma sessão de treino intervalado é calculada a partir da determinação da vVO₂max e do t_{lim} vVO₂max. Assim, um atleta que obtenha no TR, com uma inclinação de 0%, uma vVO₂max de 21km.h⁻¹, (o que de acordo com Pugh (1970) corresponde a 20 km.h⁻¹, i.e., uma velocidade 1km.h⁻¹ inferior quando aplicada na pista ou na estrada, devido a ausência de resistência do ar no laboratório) e sendo o t_{lim}vVO₂max de 6 min, a distância de cada repetição no treino intervalado é de 1000m de acordo com o seguinte raciocínio: t_{lim}vVO₂max x vVO₂max = 6 min x 20 km.h⁻¹ = 6min x 20000m/60min = 2000m, logo o treino intervalado contempla 5 x 50% de 2000m = 5 x 1000m. Calibrando o treino intervalado desta forma, Billat et al. (1999) registam ao fim de quatro semanas um aumento considerável na vVO₂max (20.5 ± 0.7 contra 21.1 ± 0.8 km.h⁻¹, (P = 0.02) e do VO₂max (71.6 ± 4.8 contra 72.7 ± 4.8 ml.min⁻¹·kg⁻¹) no grupo de atletas da amostra, quando efectuam este tipo de treino uma vez por semana, juntamente com outra sessão de corrida a uma intensidade correspondente ao limiar anaeróbio. Nenhum aumento ocorre com o mesmo grupo de atletas que durante outras 4 semanas, efectuou semanalmente três sessões de treino intervalado da forma habitual.

Hill e Rowell (1997) afirmam que a vVO₂max e o t_{lim} vVO₂max podem ser utilizados na prescrição da carga do treino, quer se utilize o método das repetições ou o dos intervalos, uma vez que a vVO₂max permite a individualização da intensidade e o t_{lim} vVO₂max proporciona a individualização

da duração das repetições. Estes autores, num trabalho efectuado com 13 atletas de meio-fundo e fundo do sexo feminino, que apresentam um VO₂max de 52.1±5.1 ml.min⁻¹.kg⁻¹ e uma vVO₂max de 271±18 m.min⁻¹ e um t_{lim} vVO₂max 290±61s (aqui com uma dispersão individual entre 183 e 372s), concluem que pelo método dos intervalos, utilizando uma intensidade de 100% de vVO₂max, a duração mínima de cada repetição deve ser superior a 60% do t_{lim} vVO₂max, para que ocorra um incremento no VO₂max. Neste estudo apenas uma atleta, das 13 da amostra, atinge o VO₂max no espaço que decorre entre o início e os 60% do t_{lim} vVO₂max. Hill e Rowell (1997) concluem que no treino pelo método dos intervalos, para que haja um incremento no VO₂max, a intensidade da repetição deve ser igual ou superior a 95%vVO₂max e a duração da repetição deve ser igual a 60% t_{lim} vVO₂max.

Smith et al. (1999), resumem os efeitos de um programa de treino individualizado, de 4 semanas, usando a vVO₂max e 60 e 75% de t_{lim}vVO₂max de cada sujeito como intensidade e duração óptimas para o treino intervalado. Neste estudo efectuado com 5 atletas de meio-fundo bem treinados, com uma idade média de 22.8±4.5 anos e um VO₂max médio de 61.5±6.1 ml.kg⁻¹.min⁻¹, os resultados proporcionaram aumentos significativos na vVO₂max (20.5 km.h⁻¹ para 21.3 km.h⁻¹, no t_{lim}vVO₂max (225.5 s para 300.9 s), no VO₂max (61.5 ml.kg⁻¹.min⁻¹ para 64,5 ml.kg⁻¹.min⁻¹) e na *performance* sobre 3000m (616.6 s para 599.6 s).

Tabata et al. (1997) numa pesquisa realizada com estudantes de educação física (n=9) praticantes de diferentes modalidades desportivas (ténis, basquetebol, natação, basebol e futebol) que acederam participar neste estudo como ciclistas, experimentaram dois tipos de treino intervalado, o TI₁ e o TI₂. O primeiro consistia em 6 a 7 repetições com a duração de 20s e uma intensidade de 170% vVO₂max, com 10s de recuperação entre cada repetição e o TI₂ 4 a 5 repetições de 30s a uma intensidade de aproximadamente 200% vVO₂max, com 2 minutos de recuperação entre cada repetição. O VO₂peak registado nos últimos 10s da última repetição de cada modalidade de TI apresentou para o TI₁ 55±6 ml.kg⁻¹.min⁻¹, não significativamente menor que o valor de VO₂max que era de 57±6 ml.kg⁻¹.min⁻¹ e para o TI₂ o VO₂peak registado foi de 47±8 ml.kg⁻¹.min⁻¹, bastante mais baixo que o VO₂max (P<0.01). Os autores concluíram que não foi a intensidade muito elevada do treino

intervalado que provocou o aumento do VO₂max, mas sim o elevado consumo de oxigénio requerido que foi responsável pelo incremento, como consequência do elevado *stress* do sistema cardiorespiratório.

Um outro é realizado por Olsen et al. (1988), com 12 homens saudáveis, de 25.4±3.75 anos de idade e experiência anterior da corrida. Os elementos da amostra são distribuídos em dois grupos, A (n=4) e B (n=8), efectuem repetições de 800m duas vezes por semana e um teste semanal de 3200m para ambos. O grupo A efectua 5-6 repetições a 92% da vVO₂max com um tempo de recuperação de 2-3 minutos e o B, 3-5 repetições a 100%vVO₂max recuperando 3 minutos. Os dois grupos melhoraram significativamente o VO₂max (grupo A 11.1% e grupo B 6,3%) e o tempo aos 3200m (ambos registaram a mesma melhoria - 9.6%) e curiosamente o grupo de treino que efectuou as repetições a uma menor intensidade foi o que obteve um maior incremento no VO₂max, segundo os autores devido ao facto de o grupo A efectuar maior volume de treino de corrida contínua.

Gorostiaga (1991) verificam numa amostra de 12 ciclistas divididos em dois grupos de 6 que treinam 30 min.dia⁻¹, 3 dias.semana⁻¹, durante 8 semanas, em que um dos grupos efectua treino contínuo a uma intensidade de 70% do vVO₂max e o outro um treino intermitente de 30s de pedalada a 100% da vVO₂max com um tempo de recuperação de 30s, que ambos melhoraram o VO₂max, registando um aumento mais significativo o grupo do treino intermitente (9-16%) em relação ao do treino contínuo (5-7%).

Num trabalho de Carter et al. (1999) foi examinada a influência de 6 semanas de treino nos parâmetros caracterizadores do perfil aeróbio de 16 estudantes de educação física que treinavam 3 a 5 vezes por semana, com unidades de treino de 20 a 30 minutos a uma velocidade idêntica à do limiar anaeróbio, tendo sido observado um aumento do VO₂max de 10% passando de 47.9±8.4 para 52.2±2.7 ml.kg⁻¹.min⁻¹.

Por sua vez, Hickson et al. (1981), Convertino (1991) e Green et al. (1991) afirmam que grande parte do aumento do VO₂max, que decorre pelo treino, assim como, a diminuição rápida da FC, podem ser atribuídos, em parte, a uma hipervolemia precoce que aumenta o volume sistólico durante o exercício que também proporciona um aumento na tolerância ao calor. No entanto, alguns autores (Rusko, 1992; Jones 1998) referem que a melhoria da

performance pode acontecer sem qualquer alteração do VO₂max, mas com o desenvolvimento de indicadores submaximais como a economia de corrida e o limiar anaeróbio, como iremos abordar nos capítulos seguintes.

2.1.1.5. VO₂max em função da modalidade desportiva

Como podemos observar pelo quadro 12, o perfil aeróbio dos atletas depende da modalidade desportiva que praticam. Esta especificidade reflecte a importância da potência aeróbia nos desportos individuais como o remo, a canoagem, o ciclismo e o atletismo (corridas de meio fundo e fundo) e possui menor expressão nos desportos colectivos, não deixando mesmo assim de possuir um papel importante na *performance* e permitindo diferenciar as equipas pelo seu nível competitivo (Pirnay et al., 1992).

De acordo com Ekblom (1986) a intensidade de um jogo de futebol corresponde a 80% VO₂max o que traduz a importância da potenciação do metabolismo oxidativo nos desportos de equipa.

Quadro 12 Valores de VO₂max em modalidades desportivas distintas

Modalidade	n	VO ₂ max (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	Autor
Andebol	7	58.3±5.3	Delemarche et al., 1987
Andebol	10	43.8±5.2	Santos, 1991
Basquetebol	8	56.1±2.2	Puhl et al., 1982
Basquetebol	19	57.5±3.3	Desnus et al., 1990
Basquetebol	25	46.8±5.1	Janeira, 1994
Futebol	14	60.4±4.0	Bangsbo, 1993
Futebol	44	52.0±10.7	Matckovic et al., 1991
Futebol	44	58.0±6.2	Santos, 1995a
Futebol	99	56.1±4.7	Tokmakidis et al., 1991
Remo	27	67.1±3.4	Desnus et al., 1990
Remo	13	70.1±3.8	Desnus et al., 1990
Voleibol	15	56.7±4.5	Smith et al., 1992
Voleibol	16	53.6±4.1	Desnus et al., 1990
10000-maratona	10	76.8±4.8	Santos, 1995a
Maratonistas	10	81.3	Jousselin et al., (1984)

Num desporto colectivo podemos mesmo relativizar os dados caracterizadores do perfil aeróbio de um atleta com a sua posição específica no jogo. Bangsbo (1993) referiu a existência de diferentes valores de VO₂max em futebolistas dinamarqueses de elite de acordo com a função que desempenham no campo. Os laterais (61.9 ml·kg⁻¹·min⁻¹), os médios (62.4

ml·kg⁻¹·min⁻¹) e os atacantes (60.2 ml·kg⁻¹·min⁻¹) apresentam um perfil aeróbio superior ao dos centrais (56.4 ml·kg⁻¹·min⁻¹) e dos guarda-redes (51.0 ml·kg⁻¹·min⁻¹). Santos (1995a) num estudo semelhante efectuado com futebolistas portugueses, apresentou os seguintes valores médios do VO₂max, de acordo com a sua especialização funcional: médios 59.5, 59.3, 56.8 54.9 ml·kg⁻¹·min⁻¹ respectivamente para médios, laterais, centrais e avançados.

2.1.1.5.1 VO₂max no atletismo

Pelo exposto anteriormente, facilmente podemos deduzir que também o perfil aeróbio dos praticantes de atletismo varia em função da especialidade. A aptidão aeróbia não é fundamental nos saltadores e lançadores, onde as questões técnicas se sobrepõem, adquirindo no entanto enorme importância nos corredores e marchadores devendo ser relativizado à distância da competição. O potencial aeróbio dos velocistas (100, 200, 400, 100b, 110b, 400b) não está correlacionado com a *performance*, resultando de outros factores anaeróbios decorrentes da potenciação das reservas de ATP e fosfocreatina (Bosco, 1982; Black, 1982; Bricki e Decker, 1987; Desnus et al., 1990). A importância do VO₂max, como preditor da *performance* nos especialistas das distâncias olímpicas (800, 1500, 3000 obst, 5000, 10000 metros e maratona) varia de acordo com os autores, mas o índice de correlação entre o VO₂max e a *performance* começa a ser significativo a partir dos 800m (Lacour et al., 1980; Houmard et al., 1991; Bunc e Heller, 1993; Brandon, 1995). No entanto, Craig e Morgan (1998), num trabalho efectuado com 9 atletas masculinos de 800 m, bem treinados, (idade = 24.7±4.5 anos, peso = 69.4±8.5 kg, VO₂max = 64.8±4.5 ml.kg⁻¹.min⁻¹) não encontraram valor preditivo do VO₂max na *performance*. Também Deason et al. (1991) não encontraram uma elevada correlação (r=0.49; p<0.05). Contrariando os estudos anteriores, Camus (1992), num trabalho efectuado com estudantes de educação física (n=65), encontrou correlações muito significativas entre o VO₂max e as marcas dos 800 e 1500 metros (r=-0.85 e r= - 0.89 respectivamente). Parece evidente que em atletas pouco treinados (insuficientes volume, intensidade e densidade) o VO₂max torna-se determinante na *performance* nas distâncias mais curtas (800 e 1500m), enquanto em atletas bem treinados com níveis aeróbios altamente potenciados e estabilizados os factores anaeróbios tornam-se predominantes.

No quadro seguinte podemos observar a distinta caracterização aeróbia de cada especialidade, sendo notório o aumento do perfil aeróbio dos atletas à medida que aumenta a distância.

Quadro 13 Valores de VO₂max em diferentes especialidades e distâncias no atletismo.

Especialidade	n	VO ₂ max (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	Autor
Decatlo	8	58.1±2.8	Desnus et al., 1990
100 - 200 m	12	57.9±4.8	Desnus et al., 1990
100 - 200 m	18	53.1±3.2	Bricki e Deckar, 1987
200 - 400 m	9	57.5±3.8	Bricki e Deckar, 1987
100 - 200 - 400 m	6	60.1±5.9	Crielaard e Pirnay, 1981
100 - 200 - 400 m	10	56.9±4.8	Santos, 1995a
400 m	22	61.4±4.1	Desnus et al., 1990
400 - 800 m	10	61.4±4.7	Bricki e Deckar, 1987
800 m	23	71.0±3.6	Desnus et al., 1990
800 m	3	73.6±5.6	Crielaard e Pirnay, 1981
1500 m	19	75.5±3.8	Desnus et al., 1990
1500 - 3000 m	18	71.6±3.7	Bricki e Deckar, 1987
1500 - 3000 m	6	77.1±3.1	Crielaard e Pirnay, 1981
800-1500-3000 m	10	68.1±5.2	Santos, 1995a
3000Obs - 5000 m	26	77.3±4.7	Desnus et al., 1990
5000 m - maratona	14	75.8±4.5	Bricki e Deckar, 1987
10000 m - maratona	10	76.8±4.8	Santos, 1995a
10000 m - maratona	19	80.0±4.7	Desnus et al., 1990
10000 m - maratona	6	78.6±2.4	Crielaard e Pirnay, 1981

2.1.1.5.1.1. VO₂max na maratona

Convém salientar que já Saltin e Åstrand (1967) referiam que os atletas que competiam sobre longas distâncias (10000m e maratona) eram os que apresentavam os níveis mais elevados de consumo de oxigénio. De igual forma, foi junto dos maratonistas de elite (tempos inferiores a 2h30min) que se registaram os níveis de consumo de oxigénio mais elevados (quadros 14, 15 e 16) e todos os estudos correlacionaram positivamente uma alta capacidade de rendimento com um elevado VO₂max, apesar das excepções de Dereck Clayton (69.7 ml·kg⁻¹·min⁻¹), que foi detentor em 1969 da melhor marca mundial (2.08.34) e Kjell-Erik Stahl (66.8 ml·kg⁻¹·min⁻¹) que para a época fazia a excelente marca de 2.10.38 (Costill et al., 1971) (quadro 15).

Jousselin et al. (1984) referem que a selecção masculina nacional francesa de maratona apresentava um VO₂max médio de 81.3 ml·kg⁻¹·min⁻¹, quase o mesmo valor de Davies (1979) para a selecção masculina inglesa da maratona (79 ml·kg⁻¹·min⁻¹).

Quadro 14 Valores do consumo máximo de oxigénio (VO₂max) em maratonistas excepcionais do sexo feminino

Atleta	VO ₂ max (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	Melhor Marca (h·min·s)	Referência
Joan Benoit	78.6	2.22.43	Daniels, 1986
Grete Waitz	75.1	2.24.54	Peronnet, 1998
Ingrid Kristiansen	71.2	2.21.06	Horwill, 1999

Quadro 15 Valores do consumo máximo de oxigénio (VO₂max) em maratonistas de elite masculinos (adaptado de Noakes, 1991)

Atleta	VO ₂ max (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	Melhor Marca	Referência
Clarence DeMar	76.0	2.18.10	Dill, 1965
Buddy Edele	73.0	2.14.28	Dill et al., 1967
Dereck Clayton	69.7	2.08.34	Costill et al., 1971
Amby Burfoot	74.3	2.14.28	Costill & Winrow, 1970a
Kjell-Erik Stahl	66.8	2.10.38	Costill et al., 1971
Craig Virgin	81.1	2.10.26	Cureton et al., 1975
Gary Tuttle	82.7	2.17.00	Pollock, 1977
Don Kardong	77.4	2.11.15	Pollock, 1977
Kenny Moore	74.2	2.11.36	Pollock, 1977
Frank Shorter	71.3	2.10.30	Pollock, 1977
Cavin Woodward	74.2	2.19.50	Davies e Thompson, 1979
Bill Rogers	78.5	2.09.27	Rogers e Concanon, 1982
Alberto Salazar	70.0	2.08.51	Costill, 1982
Zithulele Sinqe	72.0	2.08.04	Noakes et al., 1990b
Willie Mtolo	70.3	2.08.15	Noakes et al., 1990b
Robert de Castella	80.2	2.07.51	Peronnet, 1998
Greg Meyer	81.5	2.09.00	Peronnet, 1998
Carlos Lopes	80.4	2.07.11	Horwill, 1999
Toshihiko Seko	78.8	2.08.27	Horwill, 1999

Uns anos mais tarde, Jousselin et al. (1990) referem que o consumo máximo de oxigénio dos maratonistas da selecção nacional francesa, estudados entre 1979 e 1988, apresentara valores médios de 68.9 ml·kg⁻¹·min⁻¹ para as mulheres e 80 ml·kg⁻¹·min⁻¹ para os homens. A selecção masculina nacional americana apresentava em 1972 uma média de VO₂max de 72 ml·kg⁻¹·min⁻¹ e em 1984, os melhores maratonistas internacionais apresentavam valores em média de 80 ml·kg⁻¹·min⁻¹, o que pode ser explicado, entre outras razões, por uma optimização da metodologia de treino.

Quadro 16 Valores médios do VO₂max em maratonistas masculinos de elite (tempos inferiores a 2h30min), segundo alguns investigadores (adaptado de Sjödín e Svedenhag, 1985)

Autor	VO ₂ max (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	n	p(t) (h.min)
Costil e Fox, 1969; Costill e Winrow, 1970	70.9	10	2.23
Pollock, 1977	74.1	8	2.15
Davies e Thompson, 1979	79.0	13	2.13
Svedenhag e Sjödín, 1984	74.2	5	2.16
Sjodin e Svedenhag, 1985	71.8	12	2.21
Noakes et al., 1990	68.1	20	2.39
Helgerud, 1990	59.5	6	3.19
Daniels e Daniels, 1992	74,4	9	-
Helgerud, 1994	70.7	6	2.39
Vuorimaa et al., 1996	73.2	6	2.21
Valdevieso e Arrese, 2000	82.3	8	2.13

Apesar destes valores terem sido encontrados em épocas, locais e equipamentos diferentes, o que já por si não permite a sua comparação fidedigna, permitem concluir a existência de uma elevada correlação entre a *performance* da maratona e os valores médios de VO₂max de vários grupos estudados (quadro 17).

Quadro 17 Correlações entre a *performance* desportiva na maratona e o VO₂max (Sjödín e Svedenhag, 1985).

Autor	n	amplitude	r*	r ²
Foster et al., 1977	23	2h23 - 4h08	0.86	0.74
Farrell et al., 1979	13	2h17 - 3h49	0.91	0.83
Hagan et al., 1981	50	2h19 - 4h58	0.63	0.40
Maughan e Leiper, 1983	18	2h19 - 4h53	0.88	0.77
Sjodin e Svedenhag, 1985	35	2h12 - 3h52	0.78	0.61

* Todas as correlações são significativas.

No entanto, a existência de heterogeneidade entre maratonistas, que apresentam capacidades de prestação muito distintas e VO₂max coincidentes, ou VO₂max muito desiguais e *performances* semelhantes, comprova que o consumo máximo de oxigénio é apenas um dos factores que determinam o sucesso nas corridas da maratona, existindo outros indicadores relativizados ao VO₂max como o vVO₂max e t_{lim}vVO₂max referidos anteriormente, o limiar anaeróbio e a economia de corrida, que se reclamam como factores determinantes no sucesso da corrida da maratona.

A utilização fraccional do VO₂max durante a corrida é também um factor que podemos correlacionar com as capacidades de rendimento dos maratonistas, uma vez que uma percentagem elevada do VO₂max necessita ser sustentado durante a competição (quadro 18).

Quadro 18 Valores da *performance* [p(t)] média da maratona e %VO₂max sustentada à velocidade da competição (adaptado de Billat, 1991).

Autor	n	p(t) (h.min)	%VO ₂ max
Costill et al., 1971	1	2.08	86
Davies e Thompson, 1979	13	2.13	86
Sjodin e Svendehag, 1985	12	2.21	80
Costill e Fox, 1969	6	2.27	75
Davies e Thompson, 1979	13	2.30	82
Maugham e Leiper, 1983	5	2.35	74
Sjodin e Svendehag, 1985	16	2.37	80
Farrel et al., 1979	13	2.46	75
di Prampero et al., 1986	12	2.49	73
Wells et al., 1981	7	3.12	76
Sjodin e Svendehag, 1985	7	3.24	71
Maugham e Leiper, 1983	5	4.36	60

Maron et al.(1976), num estudo efectuado com dois maratonistas que simularam uma maratona no tapete rolante, referem que havia um aumento no VO₂ à medida que a prova decorria e que um dos corredores, quando atingiu as 23.4 milhas (37650m) utilizava 4.54 l·min⁻¹ o equivalente ao seu VO₂max.

Hagan et al. (1981) numa amostra de 50 maratonistas masculinos cuja *performance* oscilava entre 139 e 298 min, com idades compreendidas entre os 21 e os 61 anos (média = 36), com um peso médio de 69.6 kg, com um VO₂max que oscilava entre 52.7 e 88.6 ml·kg⁻¹·min⁻¹ e um total de km percorridos durante as 9 semanas entre 372 e 1260 (6.1 a 20.6 km·dia⁻¹, 28 a 61 unidades de treino), verificaram uma relação inversa entre a *performance* e (1) o VO₂max ($r = -0.63$), (2) o total de km percorridos ($r = -0.67$), (3) a média de km por unidade de treino ($r = -0.64$) e (4) o número total de unidades de treino ($r = -0.62$). Nesta amostra, que incluía maratonistas experientes e debutantes, o tempo final da maratona podia ser predito ($r^2 = 0.71$) pela seguinte equação: Maratona (min) = 525.9 + 7.09 (km·UT⁻¹) - 0.45 vUT (m.min⁻¹) - 0.17 (total km efectuados nas 9 semanas) - 2.01 (VO₂max ml·kg⁻¹·min⁻¹) - 1.24 (idade expressa em anos).

Os autores concluíram que um VO₂max elevado, uma massa corporal reduzida, treinos diários que incluem corrida contínua sobre longas distâncias contribuem para a melhoria da *performance* na maratona.

Maughan e Leiper (1983) estudaram 18 maratonistas do sexo masculino (2 h 19 min 58 s - 4 h 53 min 23 s) e 10 do sexo feminino (2 h 53 min 4 s - 5 h 16 min 1 s) testando-os no TR, 2-3 semanas após a competição. O VO₂ foi medido à velocidade da maratona e o VO₂max foi determinado numa corrida no TR com inclinação. Estes investigadores encontraram uma relação linear, quer para os homens ($r = 0.88$) quer para as mulheres ($r = 0.63$) entre a *performance* da maratona e o VO₂max. A %VO₂max, sustentada ao longo da corrida, apresentou uma correlação significativa com a *performance*, quer para os homens ($r = 0.74$), quer para as mulheres ($r = 0.73$). Os corredores mais rápidos correram a 75%VO₂max e os mais lentos a 60%VO₂max. Também verificaram que uma corrida de 5 minutos no TR sem inclinação, efectuada à velocidade da maratona, não provocou qualquer alteração significativa da lactatemia.

Tanaka e Matsuura (1984) testaram a hipótese da velocidade da maratona (v_M) estar mais próxima da velocidade correspondente ao limiar anaeróbio (v_{Lan}) do que aquela que equivale a uma lactatemia de 4 mmol.l⁻¹ (v_{OBLA}). Estes autores verificaram que a v_{Lan} (4.57 m.s⁻¹) está mais próxima da v_M (4.49 m.s⁻¹) que a v_{OBLA} (5.30 m.s⁻¹). A correlação entre v_{Lan} e v_M ($r = 0.781$) é maior que entre v_{OBLA} e v_M ($r = 0.682$).

Quando a v_{Lan} (X_1) é combinada com $\Delta\%VO_2max$ ($\%VO_2max_{OBLA} - \%VO_2max_{v_{Lan}}$) (X_2) e o VO₂max (ml.kg⁻¹.min⁻¹) (X_3) a variação na v_M aumenta substancialmente entre 61 e 88%. Daqui deduziram uma equação com um elevado valor preditivo v_M (m.s⁻¹) = 1.312 X_1 + 0.0346 X_2 - 0.00993 X_3 - 1.272. Este estudo demonstra que a v_{Lan} é mais próxima da velocidade da maratona e que o grau de proximidade aumenta quando à v_{Lan} se associam $\Delta\%VO_2max$ e/ou o VO₂max.

Sjödín e Svedenhag (1985) observaram uma grande variabilidade no VO₂max entre maratonistas com a mesmo nível de *performance*, o que se devia à influência de outros indicadores fisiológicos como a economia da corrida (VO₂ submáximo, correspondente a uma determinada velocidade) e a fracção de VO₂max correspondente à velocidade da maratona ($\%VO_2max_{v_M}$).

Hagan et al. (1987) relacionaram a *performance* na maratona com o VO₂max e os índices antropométricos e do treino nas 12 semanas anteriores à competição. A amostra era constituída por 35 maratonistas do sexo feminino com os valores médios de 35.7±8.5 anos, 166.4±5.7 cm de altura, 55.1±5.7 kg de peso, 15.7 +/- 5.0% de massa gorda um VO₂ max médio de 56.5±6.2 ml.kg⁻¹.min⁻¹ e correram a maratona em 227.0±31.6 min. Continuando a considerar os valores médios nas 12 semanas treinaram em 71.0±10.0 dias, efectuaram um total de 81.0±8.0 unidades de treino, dos quais 10.0±10.0 treinos duplos.dia⁻¹ correspondentes a 12.3±1.8 km-unidade de treino⁻¹, um tempo total de treino de 5402.8±1302.6, a uma velocidade de 187.0±18.0 m.min⁻¹, num máximo de 112.2±32.1 km.semana⁻¹, uma média de km.semana⁻¹ de 83.1±23.4, num total de 998.8±282.6 km.12 semanas⁻¹ e uma média de 13.8±2.4 km.dia⁻¹. A *performance*, na maratona, foi correlacionada positivamente com a massa corporal (r = 0.52), a massa gorda (r = 0.52) e negativamente com o VO₂max (r = -0.65), o número de maratonas completadas anteriormente (r = -0.47), os dias de treino (r = -0.47), os treinos duplos.dia⁻¹ (r = -0.52), total de UT (r = -0.56), a média de km.dia⁻¹ (r = -0.58), o tempo total de treino em min (r = -0.56), a velocidade utilizada no treino em m.min⁻¹ (r = -0.66), o máximo de km.semana⁻¹ (r = -0.70), a média de km.semana⁻¹ (r = -0.74), os km.12 semana⁻¹ (r = -0.74) e a média de km.dia⁻¹ (r = -0.77).

Péronnet et al. (1987) definem índice de *endurance* como a habilidade para sustentar uma elevada fracção de VO₂max durante um tempo prolongado. O índice de *endurance* que resultava do VO₂max, da eficiência da corrida e da *performance* na maratona, foi estudado numa amostra de 18 atletas do sexo masculino com 30±7 anos e um VO₂max = 66±5 ml.kg⁻¹.min⁻¹) e apresentou valores que oscilavam entre -4.07 e -9.96% VO₂max.1nt⁻¹ (média ±SD = -6.40±1.50) e estava relacionado com o VO₂max (r = 0.107) ou a velocidade da maratona (r = 0.354). Contudo o índice de *endurance* estava proximamente relacionado com a utilização fraccional do VO₂max (r = 0.853) correspondente ao limiar ventilatório que ocorre a 76±5.5% VO₂max de acordo com um teste efectuado no tapete rolante. Os resultados desta investigação indicam que: (1) a *performance* expressa pelo tempo dispendido nas corridas de longa distância não é uma adequada medida da capacidade de *endurance* devido ao enorme contributo do VO₂max na *performance*; (2) o índice de *endurance* expresso

enquanto $\%VO_2\text{max} \cdot 1\text{nt}^{-1}$ é um indicador objectivo e independente; (3) corredores com uma grande capacidade de *endurance* têm tendência a a hiperventilar a uma carga elevada num teste no TR.

Maron e Horvath (1988) estudaram o perfil aeróbio de um grupo de maratonistas (n = 4) antes e depois da competição. Avaliaram 3 a 6 vezes o VO₂max em cada corredor, em dias alternados, 1 a 4 semanas antes da prova e igual número de vezes após a competição a partir do momento em que a recuperação muscular foi restabelecida (± 7 dias). Cada teste consistia em 10 min de marcha no TR com uma inclinação de 8.6% a uma velocidade de 94 m.min⁻¹ seguida de 5 min de corrida (inclinação de 8.6% e uma velocidade de 188 m.min⁻¹). Em seguida a velocidade aumentava em cada minuto 10m.min⁻¹ até à exaustão. Não foram encontradas diferenças no VO₂ no exercício submaximal, nem ocorreu qualquer redução do VO₂max. No entanto, um corredor exibiu um aumento consistente e substancial do VO₂max após a maratona (73.6 ± 1.5 para 79.9 ± 0.7 ml·kg⁻¹·min⁻¹, p<0.05). Estes autores concluíram que após a maratona considerando um tempo de recuperação suficiente que permita o desaparecimento da fadiga muscular, o perfil aeróbio dos sujeitos mantém-se intacto.

Péronnet e Thibault (1989) estimaram as características metabólicas dos corredores de meio-fundo e fundo de elite, referindo que o VO₂max seria de 83.5 ml·kg⁻¹·min⁻¹ e que poderiam correr a 83.5% da potência aeróbia máxima (W/kg) durante a maratona.

Daniels e Daniels (1992) num estudo efectuado com atletas de meio fundo e fundo do sexo feminino (n=20) e masculino (n=45), observaram, entre outras coisas, que o VO₂max dos homens era mais elevado que o das mulheres e que comparando os corredores de meio fundo curto (800 e 1500m), os de meio fundo (3000, 5000 e 10000m) e os de fundo (maratonistas), estes eram os que apresentavam um menor consumo à velocidade da maratona.

Hagerman (1992) refere que os maratonistas de elite correm a 80-90% VO₂max.

Noakes et al. (1991) estudaram 30 maratonistas (VO₂max= 58.3 ± 5.9 ml·kg⁻¹·min⁻¹) que treinavam como forma de lazer e que completaram a maratona a $75.8\% \pm 9.3\%$ VO₂max.

Dressendorfer (1991) estudou 9 maratonistas (idade 24-39 anos) no TR e numa corrida de 21.1km realizada na estrada cuja *performance* média foi de 89.5 min. A 1/2 maratona e a corrida no TR foi efectuada a 239 ± 33 m.min⁻¹. O VO₂ e outros indicadores foram medidos em *steady state* a 0% de inclinação e também após exaustão. Os valores médios de VO₂max obtidos no TR e na 1/2 maratona (60.0 contra 56.3 ml.kg⁻¹.min⁻¹) não são muito diferentes e o VO₂ submáximo em *steady state* (44.4 contra 45.0 ml.kg⁻¹.min⁻¹; P=NS) apresentara valores semelhantes.

Joyner (1991) interrelacionou o VO₂max, o Lan e a EC de vários corredores de elite para estabelecer modelos para prever as possibilidades de evolução dos recordes do Mundo. Para a maratona um indivíduo com um VO₂max de 84 ml.kg⁻¹.min⁻¹ e um limiar anaeróbio correspondente a 85%VO₂max e uma economia de corrida excepcional pode efectuar 1h 57min 58s, o que sugere que os avanços na *performance* da maratona são fisiologicamente possíveis e que os factores limitativos das corridas de *endurance* têm que ser revistos.

Knapik et al. (1990) testou 13 maratonistas no TR que correram em 3 dias consecutivos até à exaustão a $85 \pm 3\%$ VO₂max. Concluíram que em atletas bem treinados as respostas metabólicas e cardiorespiratórias não se alteraram ao longo dos três dias.

Tanaka (1990) refere que o melhor preditor da velocidade da maratona é a velocidade correspondente a uma lactatemia de 4 mmol.l⁻¹ e que outros indicadores, entre os quais o VO₂ correspondente ao limiar anaeróbio, são bons preditores para distâncias de 16 km ou menos.

Helgerud et al. (1990) compararam maratonistas masculinos (n = 6) e femininos (n = 6) com 20-30 anos de idade e uma *performance* média de 199.4 ± 2.3 e 201.8 ± 1.8 min respectivamente, para despistar as diferenças no VO₂max, limiar anaeróbio, economia de corrida, %VO₂max, e quantidade de treino. Homens e mulheres apresentavam sensivelmente o mesmo VO₂max (60 ml.kg⁻¹.min⁻¹) e o limiar anaeróbio correspondia para ambos os sexos a 83%VO₂max ou 88%-90% da FC max. As mulheres eram menos económicas porque a uma velocidade pré-definida apresentavam um maior consumo de O₂, o que quer dizer que à velocidade da maratona as mulheres consumiam mais O₂. Ambos os sexos consumiam à velocidade correspondente a uma

lactatemia de 4 mmol.l⁻¹ 93%-94%VO₂max. Nos dois meses que antecederam a maratona as mulheres faziam mais 27 km.semana⁻¹ que os homens.

Helgerud (1994) comparou em maratonistas masculinos (n = 6) e femininos (n = 6) com 20-30 anos de idade e uma *performance* de 2h 40min, a economia de corrida, o VO₂max, o limiar anaeróbio e a %VO₂max. A economia de corrida, o VO₂max e o limiar anaeróbio foram medidos no tapete rolante com uma inclinação de 1 e 3%. A velocidade média da maratona de cada atleta foi calculada e mantida no tapete rolante durante 11 minutos. Concluíram, entre outras coisas, que o VO₂max era cerca de 10% mais elevado (23 ml.kg^{-0.75}.min⁻¹) nos homens. As mulheres expressavam um VO₂ médio inferior em 10-12 ml.kg^{-0.75}.min⁻¹ que os homens à mesma velocidade submaximal. A economia de corrida, considerando o custo em oxigénio por unidade de distância, foi de 0.211 ml.kg⁻¹.m⁻¹ (incluindo VO₂repouso) e verificou-se independente da velocidade do tapete rolante. Não foram encontradas diferenças entre os sexos, no que se refere ao limiar anaeróbio e %VO₂max, mas o Lan expresso como VO₂ ml.kg^{-0.75}.m⁻¹ era significativamente mais elevado nos homens.

Noakes et al. (1990) num estudo efectuado com maratonistas (n=20) e ultramaratonistas (n=23), determinaram o VO₂max, vVO₂max, o limiar anaeróbio, VO₂16km.h⁻¹, e %VO₂16km.h⁻¹ e o tempo efectuado em várias distâncias para poderem predizer as *performances* das distâncias que iam dos 10 aos 90 km. O tempo aos 10000m e à meia maratona (21.1 km) foram os melhores preditores da *performance* dos maratonistas (r = 0.91) e dos corredores de 90 km (r = 0.97), enquanto o vVO₂pico (r = -0.88; r=-0.94), v4 (r = -0.80; r=-0.92), %VO₂16km.h⁻¹ (r = 0.76; r=0.90), VO₂max (r = 0.55; r=-0.86) e VO₂16km.h⁻¹ (r = 0.10-0.61) se comportaram como preditores menos eficazes.

di Prampero et al. (1986) determinaram o VO₂max e a economia de corrida em 38 maratonistas amadores (18-52 anos) que participaram na maratona e na 1/2 maratona e cuja *performance* variava entre 149-226 min e 84-131 min respectivamente. O VO₂max era significativamente maior entre os maratonistas (60.6 contra 52.1 ml . kg⁻¹.min⁻¹) enquanto C era o mesmo nos dois grupos (0.179±0.017 ml.kg⁻¹.m⁻¹). Neste trabalho di Prampero et al. (1986) aplicaram pela primeira vez a fórmula vEND = F . VO₂max . C⁻¹ que permitiu calcular a velocidade máxima teórica de qualquer competição de meio-fundo e

fundo assim como o seu custo em oxigénio por unidade de distância (C), e a fracção (F) de VO₂max sustentada na corrida.

Scrimgeour et al. (1986) num estudo efectuado com 30 atletas masculinos, determinaram o VO₂max, vários níveis de VO₂ submáximos no tapete rolante, que permitiram determinar a %VO₂max sustentada em competição. Este estudo pretendia determinar as interrelações entre a *performance* das provas situadas entre 10 e 90 km, o volume de treino acumulado nas 3-5 semanas que antecediam a competição e a utilização fraccional do VO₂max. Os corredores foram divididos em grupos de 10 de acordo com o volume de treino efectuado por semana. O grupo A <60km.semana⁻¹, grupo B 60-100 km.semana⁻¹, grupo C >100 km.semana⁻¹. VO₂max e %VO₂max não apresentava diferenças significativas entre os grupos e a velocidade mais elevada dos atletas do grupo A em competição resultava de uma melhor economia de corrida (±19%), o que permitia concluir que percorrer semanalmente mais de 100 km permite desenvolver a economia de corrida ou que os atletas que correm mais de 100 km.semana⁻¹, apresentam uma melhor economia de corrida.

Em síntese é possível referir o seguinte:

1. O VO₂max é um indicador fundamental da aptidão desportivo-motora, uma vez que a capacidade de fornecer energia aos tecidos numa actividade física de duração elevada (como a maratona, por exemplo) depende entre outros factores do consumo e utilização do oxigénio. A sua determinação define o perfil aeróbio do sujeito oferecendo uma medida precisa da capacidade de transporte e utilização do O₂, i.e., da capacidade funcional dos pulmões, do sistema cardiovascular e da mitocondria.

2. O consumo de oxigénio e outros indicadores a si relativizados podem ser determinados por calorimetria indirecta num circuito aberto, o que envolve a medida da ventilação pulmonar e a comparação das concentrações de CO₂ e O₂ inspiradas e expiradas.

O VO₂max pode ser expresso em valores absolutos (L·min⁻¹) ou relativos (ml·kg⁻¹·min⁻¹), permitindo comparar atletas com massas corporais diferentes.

Num teste por incrementos de carga sucessivos, o aumento do VO₂ é linear até atingir um *plateau* permanecendo o seu valor estável, indiferente ao

aumento de duração e intensidade do exercício. O valor assim obtido é o correspondente ao VO₂max.

A forma mais consistente e fiável para determinação do VO₂max é a utilização de métodos directos, mas a sua utilização em laboratório implica problemas de espaço, mobilidade e custo. O aparecimento de oxímetros portáteis, veio permitir a realização de testes no terreno, o que contribuiu decisivamente para o aumento da sua fiabilidade. No entanto, alguns testes de terreno para avaliação indirecta do VO₂max, entre os quais destacamos o *Université de Montreal Track Test*, também revelaram fiabilidade elevada.

3. O aumento do VO₂max está associado à adaptação das variáveis fisiológicas centrais e periféricas. Assim sendo, os seus factores limitativos podem ter origem central (quantidade de sangue e de O₂ transportado até ao musculo esquelético) ou periférica (dependem da quantidade de sangue e de O₂ que é extraído e consumido no músculo activo). Quanto à importância de cada um, entre os investigadores a questão permanece em aberto. Alguns defendem que o factor central, i.e., o transporte de oxigénio pela circulação não é determinante, outros referem que a sua importância é substancial (70%), sendo inversamente proporcional ao produto do débito cardíaco máximo e à concentração de hemoglobina. Quanto aos factores periféricos, limitativos do VO₂max segundo alguns autores a sua importância é de apenas 30%, referindo ainda que a difusão do O₂ é inversamente proporcional à densidade capilar do musculo esquelético.

4. Para além do potencial genético de cada indivíduo, são inúmeros os factores que influenciam o VO₂max, como a idade, o sexo, a altitude e o treino, entre outros.

O VO₂max diminui com a idade e a inactividade. A causa central mais importante para este decréscimo com a idade é a diminuição da FC e do débito cardíaco máximos, enquanto a causa periférica é a diminuição da contractibilidade do musculo e a perda de massa muscular.

Aos 30 anos, em indivíduos saudáveis, os homens possuem valores mais elevados de VO₂max (30-80 ml·kg⁻¹·min⁻¹) que as mulheres (25-65 ml·kg⁻¹·min⁻¹). Em indivíduos activos estes valores permanecem inalteráveis até aos 50 anos, decrescendo a partir daí em média 5% por década. Para indivíduos sedentários o decréscimo é de 9% por década a partir dos 25-30

anos. Os corredores de elite são os atletas que evidenciam os valores mais elevados (75-85 ml·kg⁻¹·min⁻¹).

No que concerne ao treino em altitude e a possibilidade de potenciar o VO₂max não existe consenso entre os investigadores e para além disso os principais estudos publicados não foram efectuados com atletas de elite nem utilizaram grupos de controlo. No entanto alguns estudos evidenciam vantagens claras no treino a baixa altitude (1200-1500m) quando associado a uma vida a altitude elevada (>2500m) que se manifesta numa melhoria dos parâmetros aeróbios, cardiovasculares e musculares, sem produzir fadiga acentuada e generalizada.

Os valores elevados de VO₂max nos atletas de elite são o resultado do potencial genético (40%) e do treino (5-30%).

O aumento do consumo de O₂ é acompanhado com um aumento da intensidade do exercício, i.e., os músculos recrutam uma maior quantidade de miofibrilas para produzirem contrações musculares mais potentes. A melhoria do sistema cardiovascular, particularmente nos factores periféricos potenciam a capacidade do indivíduo no consumo de O₂ que durante a corrida depende directamente da quantidade que pode ser distribuída aos músculos solicitados na actividade e na eficácia da sua distribuição pelo músculo. Quanto mais intenso é o treino maior é o incremento no VO₂max e na *performance*.

Inúmeros estudos demonstram adaptação positiva ao treino como reflexo não só de determinada dinâmica da carga mas também da sua especificidade. Por isso, a optimização do VO₂max implica potenciar a distribuição de O₂, até ao limite, e num corredor devemos utilizar como meio privilegiado a corrida.

A evidente influência do treino no VO₂max permite especular sobre qual a magnitude da resposta a uma carga com determinada intensidade, duração e frequência no nível condicional inicial do sujeito. A intensidade óptima é a correspondente à velocidade a que ocorre o VO₂max, que permite, para atletas de elite, correr entre 10 a 15 minutos ($t_{lim}vVO_2max$).

A vVO_2max explica diferenças interindividuais na *performance* que o VO₂max e a economia de corrida só por si não explicam. Os corredores de elite podem trabalhar durante 10 min a 100% da vVO_2max , 30 min a 95%, 60 min a 85% e mais de duas horas a 80%. Como veremos mais adiante a velocidade

correspondente a uma lactatemia de 4 mmol.l⁻¹ (v₄) corresponde a 90% vVO₂max.

O t_{lim}vVO₂max é outro parâmetro que decorre do VO₂max e corresponde ao tempo máximo que a VO₂max pode ser suportada, um indicador muito útil para a optimização da duração da carga do treino. Este indicador possui uma grande variabilidade entre indivíduos com um baixo coeficiente de variação para a vVO₂max e apresenta uma relação inversa com o VO₂max e a vVO₂max.

Pesquisas recentes reforçam a utilidade destes dois indicadores relativizados ao VO₂max na calibração da carga quanto à intensidade (vVO₂max) e à duração (t_{lim}vVO₂max) das repetições a utilizar no treino pelo método dos intervalos. Estes estudos sugerem como carga óptima para potenciar o VO₂max, um conjunto de 5 repetições efectuadas a uma intensidade correspondente a 100% da vVO₂max e uma duração igual a 50% do t_{lim}vVO₂max, em que a rácio esforço-recuperação deve ser 1:1 e a acção no tempo de recuperação deve ser a corrida a uma intensidade correspondente a 60% do vVO₂max.

5. A aceitação pela comunidade científica deste parâmetro como indicador privilegiado do perfil aeróbio dos atletas e dos indicadores a si relativizados como instrumento fundamental para o controlo e prescrição do treino e para a predição da *performance* em especial nos atletas de meio fundo e fundo, reúne consensos e gera alguns constrangimentos. Quando estudamos grupos de atletas com um nível de *performance* heterogéneo os mais lentos são os que apresentam valores mais baixos de VO₂max e os mais rápidos os valores mais elevados. No entanto, entre atletas com um nível de *performance* homogéneo, o VO₂max apresenta um valor preditivo muito baixo. Entre atletas de elite é vulgar encontrar para um mesmo nível de *performance* valores de VO₂max distintos. Outra questão é saber porque atletas com o mesmo VO₂max possuem níveis de *performance* distintos. Como explicar esta discrepância? Nos próximos capítulos ao estudarmos a economia de corrida e o limiar anaeróbio vamos tentar simplificar esta anomalia, acrescentando mais dados para a sua compreensão, que poderão reforçar o papel diferenciador na *performance* da vVO₂max e do t_{lim}vVO₂max.

2.2. Economia de corrida

2.2.1. Definição

Daniels et al. (1978), Daniels e Gilbert (1979) e Conley e Krahenbuhl (1980) foram os primeiros a definir economia de corrida (EC) como a exigência aeróbia específica da corrida, considerando a relação velocidade-consumo de oxigênio. Assim sendo, a EC de um atleta será tanto melhor quanto mais baixo for o valor de VO_2 correspondente a uma determinada velocidade, isto é, o atleta mais económico pode aumentar a velocidade da corrida para atingir o mesmo consumo de O_2 , ficando em vantagem em relação a um adversário menos económico. Identificada como uma componente muito importante para o sucesso das corridas de longa distância, a EC pode ser definida como um *steady-state* do custo aeróbio para uma determinada velocidade, ou seja, a solicitação aeróbia (VO_2) da corrida a uma intensidade submáxima (Conley e Krahenbuhl, 1980; Morgan et al., 1989a; Morgan e Craib, 1992; Daniels, 1992; Hauswirth et. al., 1997). A EC entendida como o consumo de O_2 necessário para manter uma determinada velocidade de corrida tornou-se um parâmetro importante para prever a *performance* desportiva de atletas de longas distâncias (Conley e Krahenbuhl, 1980; Daniels, 1985; Williams e Cavanagh; 1987, Morgan et al., 1989b; Noakes, 1991).

Costil et al. (1973) e Svedenhag e Sjödín (1985) foram os primeiros a referir que a uma determinada velocidade submáxima o consumo de oxigênio, expresso em $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, apresenta uma grande variabilidade interindividual.

De acordo com Sjödín e Svedenhag (1985) existe uma variabilidade de 20% na EC em maratonistas com o mesmo nível de *performance*

Svedenhag e Sjödín (1985) afirmam que não existem diferenças significativas na EC entre atletas de elite especialistas de diferentes distâncias.

Conley e Krahenbuhl (1980) opinam que entre atletas de elite com um VO_{2max} próximo ou coincidente, a EC correspondente a diferentes velocidades apresenta uma correlação significativa ($r = 0.79-0.83$) com a *performance* nos 10000 m.

Sjödín e Svedenhag (1985) mencionaram a existência de uma baixa correlação ($r = -0.55$) entre o VO_2 submax e a *performance* num grupo de maratonistas com uma grande variação na *performance*.

Noakes (1988) afirma que tanto a EC como o $VO_2\text{max}$ devem ser considerados indicadores preditivos da *performance*.

Nos inúmeros estudos realizados com corredores de meio fundo e fundo foram caracterizadas duas categorias de atletas com base nestes indicadores fisiológicos: (1) os que apresentam uma boa economia de corrida e um baixo $VO_2\text{max}$ e (2) os que têm um elevado $VO_2\text{max}$ e uma reduzida economia de corrida.

Svedenhag e Sjödin (1985) foram os primeiros a afirmar que todas as investigações que possibilitem a evolução do processo de treino devem ser encaminhadas na melhoria destes dois indicadores, com particular relevância para a economia de corrida.

A variabilidade interindividual da economia de corrida pode resultar de inúmeros factores que interagem entre si, entre os quais a mecânica da corrida. O perfil biomecânico dos atletas mais económicos (Figura 3) estudados por Williams e Cavanagh (1987) a uma velocidade padrão ($3.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) apresentava em comum um menor pico de força no ataque do calcanhar ao chão, menor ângulo de flexão plantar máxima após a perda de contacto dos dedos com o chão, uma inclinação do tronco à frente superior e uma menor velocidade mínima de um ponto do joelho durante o contacto do pé com o solo.

Svedenhag (1992) num estudo efectuado com maratonistas bem treinados descreve que em 12 semanas de treino normal complementado com treino de rampas se verificou uma melhoria significativa na economia de corrida, o que indicia que a potenciação das capacidades elásticas do músculo, da força e da flexibilidade poderão explicar a variação da economia da corrida.

As diferenças individuais da economia da corrida podem ser identificadas pela percentagem de $VO_2\text{max}$ correspondente a uma determinada velocidade. São disso prova a elevada correlação encontrada ($r = 0.94$; $n = 35$) entre a $\%VO_2\text{max}$ correspondente a $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ e a *performance* num grupo heterogéneo de maratonistas (Sjödin e Svedenhag, 1985). Ao conceito clássico de economia de corrida, enquanto $VO_2\text{submax}$, inicialmente apresentado por Daniels et al. (1978), Daniels e Gilbert (1979) e Conley e Krahenbuhl (1980) e posteriormente aprofundado por Daniels (1985) veio juntar-se, o de custo energético da corrida (C_r) referido por Margaria (1963), Margaria et al. (1963), Cavagna (1964) e mais tarde desenvolvido por di Prampero et al. (1986).

		VO ₂ baixo	VO ₂ médio	VO ₂ elevado
Ângulo da perna com a vertical (graus)		8.2	8.3	5.5
Ângulo do tronco (graus)		5.9	3.3	2.4
Ângulo de flexão plantar máximo (graus)		73.8	68.3	67.4
Ângulo de flexão máximo do joelho em apoio (graus)		43.1	41.9	39.4
Velocidade resultante mínima do joelho (cm.s ⁻¹)		99.4	106.7	116.3
Trajectória do pulso (cm)		80.7	79.1	86.3
Oscilação vertical do centro de massa (cm)		9.1	9.3	9.6

Figura 3 Diferenças entre algumas medidas biomecânicas caracterizadoras do estilo de corrida de grupos de corredores agrupados a partir dos seus VO₂ submaximos. Adaptado de Williams e Cavanagh (1987).

Estes dois conceitos distinguem-se não só por se expressarem em unidades de medida diferentes, mas também porque o primeiro caracteriza o perfil aeróbio de um sujeito e o segundo o perfil bioenergético.

O conceito de economia de corrida (EC ou $VO_{2submax}$) inicialmente descrito por Conley e Krahenbuhl (1980) e mais tarde adoptado por inúmeros investigadores como Sjödín e Shele (1981), Sjödín e Svedenhag (1985), Daniels (1985), Svedenhag e Sjödín (1985), Scrimgeour et al. (1986), Pate et al. (1989a), Morgan et al (1989a), Joyner, (1991) Bailey e Pate (1991), Morgan e Craib (1992), Daniels e Daniels (1992), Krahenbuhl (1992), Helgerud (1994), Xu e Montgomery (1995), Craib et al. (1996), Pereira et al. (1997), entre outros, representa o consumo de oxigénio de um atleta a uma velocidade submáxima e exprime-se como já referimos em ml de $O_2 \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$.

O custo energético da corrida (Cr) é definido como a energia necessária para transportar o corpo de um sujeito por unidade de distância, expressa-se em ml de $O_2 \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$ e assume importância determinante nas competições com duração superior a 2 horas (maratona, triatlo, etc) (di Prampero et al., 1986; Hauswirth et. al., 1997). Este conceito, adoptado e aprofundado por inúmeros investigadores, como di Prampero (1986), di Prampero et al. (1986), Bunc (1989), Lacour et al. (1990), Brueckner et al. (1991), Brisswalter e Legros (1994a), Billat (1995), Hill e Rowell (1996), Berthoin et al. (1996), Hauswirth et al. (1997), Paavolainen et al. (1999), Capelli (1999), representa outra perspectiva de economia de corrida.

Segundo Peronnet (1991), a quantidade de energia dispendida durante a corrida depende de 4 factores : (1) A distância da corrida. Um maratonista dispende mais energia que um corredor de 10000 metros; (2) A massa corporal. Na presença de dois corredores, um com 75 kg e outro com 40 kg, o primeiro tem um custo energético por km de corrida superior ao segundo; (3) A velocidade da corrida. O custo energético é menor para velocidades de corrida entre 190 e 240 m/min e aumenta com velocidades mais baixas e mais elevadas; (4) A eficácia da passada. Perante uma determinada velocidade e massa corporal, o custo energético variará de acordo com a eficácia da passada.

De acordo com Capelli (1999) a potência metabólica (E) (metabolic power output) necessária para percorrer uma distância (d) num determinado período de tempo (t) é determinado pelo produto do custo energético (C) e o somatório da energia metabólica dispendida por unidade de distância e a velocidade ($v = d.t^{-1} \Rightarrow E = Cv \Rightarrow E = Cdt^{-1}$). Assim, para uma determinada distância d, v é uma função de t e C ou é constante ou aumenta com v, o que necessariamente implica que E é tanto maior quanto maior for o valor de t.

Segundo di Prampero et al. (1986), a uma velocidade constante, a potência metabólica E (metabolic power output) é igual ao produto da velocidade (v) pelo custo energético dispendido (Cr) [equação (14)]

$$E = Cr.v \quad (14)$$

Reorganizando a equação (8) considerando-a sob as condições máximas poderemos observar que a velocidade máxima (v_{max}) é igual à razão de E para Cr ...

$$v_{max} = E_{max} / Cr \quad (15)$$

... independentemente das fontes que abastecem a energia para a contracção muscular serem aeróbias ou anaeróbias [equação (15)].

Em condições aeróbias, desde que E_{max} seja identificado como VO_{2max} , a equação (15) transforma-se em:

$$v_{END} = F. VO_{2max} / Cr \quad (16)$$

onde v_{END} é a máxima velocidade sustentável durante toda a corrida de endurance e F a fracção {percentagem máxima de VO_{2max} (% VO_{2max}) que pode ser mantida através da duração do esforço em questão [equação (16)]}. O custo energético da corrida (Cr) foi calculado a partir do rácio do VO_2 steady-state ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$) dividido pela velocidade em $m.min^{-1}$ [equação (17)].

$$C = VO_2 (ml.kg^{-1}.min^{-1}) / v (m.min^{-1}) \Rightarrow C (ml.kg^{-1}.min^{-1}) \quad (17)$$

Este valor pode ser convertido em $J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$ assumindo que o consumo de 1ml de O_2 no corpo humano corresponde a 20.9 J, um valor estritamente aplicável e correcto apenas se o quociente respiratório for de 0.96 (di Prampero et al., 1986). No entanto, a energia equivalente a 1 ml de O_2 só pode variar entre 19.61 e 21.16 J correspondente à sua amplitude de valores do quociente respiratório entre 0.71 e 1.00 e os efeitos desta variação do QR foram negligenciados (di Prampero et al. 1986).

Para ser determinado o F, isto é, a $\%VO_2max$ que pode ser mantida durante toda a competição, utilizamos a equação de Saltin (1973) onde t é o tempo total em minutos (válido para um tempo compreendido entre 30 e 300 minutos) de duração da competição [equação (18)].

$$F \cdot VO_2max = 0.94 - 0.001t \quad (18)$$

Segundo di Prampero (1986), a velocidade máxima capaz de ser mantida durante uma corrida (vEND) é função: 1) do VO_2max do sujeito; 2) da percentagem máxima da utilização fraccional que pode ser sustentada durante toda a corrida (F); 3) do custo energético da corrida por unidade de distância (Cr) como descreve a equação (16)

$$v \text{ END} = F \cdot VO_2max / Cr \quad (16)$$

Esta equação parece ser um descritor apropriado da energia totalmente dispendida na corrida de endurance, em que o numerador define quantitativamente as características metabólicas do sujeito, enquanto o denominador é uma medida da economia de corrida (na perspectiva mais abrangente que se identifica com o seu custo energético). Um desenvolvimento na velocidade da corrida pode ser o resultado de um aumento de F e/ou do VO_2max e /ou um decréscimo de Cr. Deste modo, uma evolução da forma desportiva resultante do efeito de uma determinada metodologia de treino, quando avaliada no final de uma etapa, só pode ser considerada se (e só se) as mudanças resultantes da velocidade (vEND) poderem ser atribuídas a mudanças correspondentes nos três termos da equação acima (F, VO_2max , Cr).

Hausswirth et. al. (1997) referem que o custo energético da corrida é normalmente calculado utilizando a fórmula de di Prampero et al. (1986) arranjada da seguinte forma (equação 19):

$$Cr \text{ (ml O}_2\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}) = VO_2 \text{ (ml de O}_2\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}) - 0.083.60 / v \text{ (km}\cdot\text{h}^{-1}) \text{ (19)}$$

O valor de 0.083 em $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ($5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) é o valor de VO_2 correspondente à intercepção de Y com a velocidade correspondente a um consumo de oxigénio em repouso, de acordo com Medbo et al. (1988). Cr é expresso em Joules por quilograma por metro ($\text{J}\cdot\text{Kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$).

2.2.1.2. Factores que influenciam a EC

A economia e o custo energético da corrida podem ser alterados por inúmeros factores, alguns em que o atleta pode interferir e outros onde não é possível exercer qualquer tipo de controlo. A importância de cada um deles é relativa, encerra alguma controvérsia, daí a dificuldade na sua hierarquização. No entanto, a sua categorização permite-nos uma visão sistémica do seu universo. Os factores que alteram a economia e o custo energético da corrida a intensidades submáximas podem ser: (1) fisiológicos (temperatura corporal, frequência cardíaca e ventilação, tipos de fibra muscular), (2) antropométricos e efeitos posturais (altura e índice de massa corporal, massa corporal, distribuição da massa corporal, sapatos e cargas adicionais, comprimento do membro inferior, comprimento da bacia, tamanho do pé, flexibilidade e amplitude de movimentos); (3) biomecânicos (amplitude e frequência da passada, oscilação vertical do centro de massa, força de reacção do solo); (4) psicológicos (estado psicológico, estratégias mentais); (5) ambientais (altitude, vento, humidade, temperatura, piso e perfil topográfico); (6) resultantes do treino e da *performance* (treinabilidade, fadiga, sobretreino, destreino e ainda (7) outros (idade, sexo, vestuário, calçado).

2.2.1.2.1. Factores fisiológicos.

2.2.1.2.1.1. Temperatura corporal

Saltin e Stenberg (1964), Rowell et al. (1969), MacDougall et al. (1974) e Sproule (1998) observaram, no exercício de intensidade submaximal e de longa

duração efectuado em condições hipertérmicas, uma associação positiva entre a temperatura corporal e o consumo de oxigénio.

Gaesser e Brooks (1984) referem que a relação entre a temperatura corporal e o aumento no VO_2 está ligada a um aumento da circulação periférica do sangue e da ventilação e a uma diminuição na eficiência da fosforilação oxidativa. Desta forma, o número, tipo e as características geradoras de força da fibra muscular variam de acordo com as alterações da temperatura interna (Rall, 1985).

Bailey e Pate (1991) sugerem que as adaptações no treino, decorrentes do exercício em situações de calor, tais como, um aumento do volume plasmático, podem atenuar a magnitude da resposta termoreguladora e reduzir as necessidades energéticas.

Kyrolainen et al. (2000), num estudo efectuado com 7 triatletas para conhecer a interacção entre a EC e a corrida da maratona, concluíram que o aumento da carga fisiológica se deve, entre outras, a um aumento da necessidade de regulação da temperatura corporal, que se traduziu no aumento em 19% da ventilação e em 7% do VO_2 .

Sproule (1998) num estudo efectuado com 15 estudantes, concluiu que após 60 min de exercício a uma intensidade de 80% do VO_{2max} a magnitude da deterioração da EC aumenta proporcionalmente ao aumento da duração do exercício, ocasionando, entre outras, o aumento da temperatura rectal.

Segundo Noakes et al. (1991) 30 atletas de manutenção, após terminarem a maratona, apresentaram uma temperatura rectal de 38.5°C.

Cade et al. (1992) num estudo efectuado com 21 maratonistas, referem que a temperatura rectal aumentou em todos eles nos primeiros 14 km acima dos 39°C, que nos 14 km seguintes continuou a subir e que no terço final da corrida se verificou uma ligeira descida da temperatura para 38.8°C.

O *stress* térmico, em conjunto com níveis elevados de catecolaminas circulantes aumenta a acção dos músculos respiratórios e a hiperventilação, o que se traduz num aumento do VO_2 e ocorre em atletas muito ou pouco económicos (Kyrolainen et al., 2000).

2.2.1.2.1.2. Frequência cardíaca e ventilação

A variação interindividual da EC está associada a diferenças na FC e na ventilação; dois indicadores fisiológicos que reflectem o fornecimento de O₂ para a musculatura activa.

Pate et al. (1989) observaram, num estudo efectuado com 167 atletas de meio-fundo e fundo, que a FC e a ventilação tinham uma correlação positiva e significativa com o VO₂, indicando que a uma melhor economia de corrida correspondiam valores baixos de FC e ventilação.

Pate et al. (1992) avaliaram a EC através de uma corrida no tapete rolante, efectuada à velocidade de 161 m.min⁻¹ (6 mph) num grupo heterógeno de corredores (N = 188, 119 homens e 69 mulheres) e determinaram que uma melhor economia de corrida estava associada a um mais baixo valor de ventilação e FC.

Bailey e Pate (1991) referem que a diminuição dos valores da FC e da frequência respiratória, assim como, o aumento do volume de ar inspirado decorrentes do treino produziam uma diminuição no VO₂.

Kyrolainen et al. (2000), num estudo efectuado com 7 triatletas que efectuaram a corrida da maratona num tapete rolante, observaram um aumento no VO₂ (43.3±4.1 ml.kg⁻¹.min⁻¹ contra 50.1±5.9 ml.kg⁻¹.min⁻¹), na ventilação (83.4 ± 12.8 l.min⁻¹ contra 103.4 ± 13.0 l.min⁻¹), na FC (145±8 bpm contra 166±9 bpm) e no custo energético (876 ± 84 J.kg⁻¹.min⁻¹ contra 996 ± 122 J.kg⁻¹.min⁻¹) (P < 0.05) e uma diminuição na %O₂ em qualquer volume de ar expirado (5.21 ± 0.48 contra 4.68 ± 0.35) (P < 0.05).

Hauswirth et al. (1997) estudaram o aumento do custo energético da corrida no final de um triatlo e de uma maratona, numa amostra de sete triatletas bem treinados que efectuaram: (1) um triatlo de 2h 15 min (30 min natação, 60 min de ciclismo e 45 min de corrida no tapete rolante); (2) uma maratona de 2h 15 min em que os últimos 45 min foram corridos a uma velocidade idêntica à da corrida do triatlo; (3) uma corrida de 45 min (C45). A ventilação (l.min⁻¹) e a FC (pulsações.min⁻¹) e o custo energético (J. kg⁻¹.min⁻¹) foram alguns dos indicadores fisiológicos avaliados. Os resultados confirmaram um maior custo energético na maratona que no triatlo (+ 3.2%; p < 0.05), e que na corrida (+ 11.7%; p < 0.01). A ventilação foi afectada pelo tipo de exercício (p < 0.05) apresentando na maratona um valor substancialmente mais

elevado ($107.2 \pm 4.41 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) que obtido no triatlo ($101.2 \pm 5.0 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$; $p < 0.05$) e que na C45 ($89.5 \pm 2.4 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$; $p < 0.01$). A FC ($p < 0.05$) foi também mais elevada na maratona ($179 \pm 16.2 \text{ pulsações}\cdot\text{min}^{-1}$) que no triatlo ($171 \pm 14.3 \text{ pulsações}\cdot\text{min}^{-1}$) e que na C45 ($154 \pm 13.5 \text{ pulsações}\cdot\text{min}^{-1}$).

Guezennec et al. (1996), num estudo efectuado com 11 triatletas masculinos (15 km de natação + 40 km de ciclismo + 10 km de corrida), pretendiam conhecer as alterações na economia de corrida, na ventilação e na FC. Uma semana após o triatlo, os atletas efectuaram uma corrida para controlo de 10 km ao mesmo ritmo. A corrida do triatlo proporcionou valores significativamente mais elevados ($P < 0.005$) que esta: economia de corrida (51.2 ± 0.4 contra $47.8 \pm 0.4 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), ventilação (86 ± 4.2 contra $74 \pm 5.3 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) e a FC (162 ± 2 contra $156 \pm 1.9 \text{ pulsações}\cdot\text{min}^{-1}$).

2.2.1.2.1.3. Tipos de fibra muscular

No músculo esquelético encontramos 3 tipos de fibras musculares (IIb, I e IIa), que podem fazer parte do mesmo músculo e que se distinguem pelas suas características bioquímicas.

As fibras tipo IIb são de contracção rápida, uma vez que, segundo Pette (1980) o influxo nervoso percorre a unidade motora a $80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Estas fibras caracterizam-se por possuírem um metabolismo aeróbio fraco, sendo por isso pouco resistentes à fadiga, mas ricas em glicogénio e enzimas glicolíticas, o que lhes confere uma grande capacidade anaeróbia.

As fibras tipo I são de contracção lenta, segundo Pette (1980), o influxo nervoso percorre a unidade motora a $60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, possuem um grande número de mitocóndrias, são mais vascularizadas, envoltas por uma grande rede de capilares, possuem a mioglobina que é uma proteína que fixa o oxigénio permitindo-lhe metabolizar o ATP conferindo-lhe uma grande resistência à fadiga.

As investigações de Brooke e Kaiser (1970a), Brooke e Kaiser (1970b), Edgerton et al. (1975) e Prince et al. (1975) identificaram ainda outro tipo de fibras intermédias, as tipo IIa, que são de contracção rápida, glicolíticas e oxidativas.

Billat (1998) refere que nos corredores de 5000 m, 10000 m e maratona, a percentagem do tipo de fibras I e IIb oscila entre 60-90% e 10-40%,

respectivamente, enquanto que num velocista há uma distribuição de 25-45% de fibras tipo I e 55-75% de fibras tipo IIb. Saltin et al. (1977), num estudo efectuado com corredores de elite (n=10) de 5000 m, 10000 m e maratona, referiu que a distribuição percentual no gastrocnemius de fibras tipo I era de $61.4 \pm 4.6\%$, de fibras tipo IIb de $36.9 \pm 5.6\%$, do tipo IIa $0.5 \pm 0.8\%$ e que $1.2 \pm 1.1\%$ das fibras não foi possível classificar.

Morgan e Craib (1992) e Rome (1992) defendem que a variação interindividual da economia de corrida se deve a diferenças no tipo de fibra muscular.

Farrell et al. (1993) efectuaram testes no terreno e em laboratório a 18 atletas de meio fundo e fundo masculinos. Os dados obtidos resultam de prestações sobre 3.2, 9.7, 15, 19.3 km (n = 18) e a maratona (n = 13). A composição das fibras musculares expressa em percentagem de fibras lentas, o $VO_2\max$, a EC (VO_2 no tapete rolante correspondente a uma velocidade de $269 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$) foram alguns dos parâmetros avaliados. A percentagem de fibras lentas ($R \geq 0.47$), o $VO_2\max$ ($r \geq 0.83$) e a EC ($r \geq 0.49$) estavam relacionadas de forma significativa com a *performance* em todas as distâncias.

Williams e Cavanagh (1987) efectuaram um estudo com uma amostra de 31 atletas masculinos de meio fundo e fundo, que correndo a $3.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ proporcionaram um conjunto de dados biomecânicos e fisiológicos, entre os quais, a composição da fibra muscular, referindo que nenhuma variável demonstrou influenciar individualmente a EC, tendo concluído que isso resultava da soma de muitas variáveis. Também não observaram qualquer diferença no tipo de fibras musculares entre os 31 atletas masculinos, apesar de possuírem níveis heterogéneos de economia de corrida (bom, médio e fraco).

Kram e Taylor (1990) afirmam, considerando dados obtidos a partir do estudo de preparações isoladas do músculo esquelético, que o custo energético requerido como gerador da força nas fibras rápidas é superior devido à percentagem mais elevada da taxa de contracção e relaxamento (ciclo de interdigitação entre a actina e a miosina) e de consumo de adenosina trifosfato.

Bosco et al. (1987) num estudo efectuado com uma amostra de 17 atletas, referem a existência de uma relação significativa ($r = 0.60$; $p < 0.01$) entre a percentagem de fibras rápidas e o custo bruto em oxigénio por unidade

de distância, numa corrida de intensidade submaximal. Como forma de explicar estes resultados, sugerem que as fibras lentas podem reter, por mais tempo, a energia elástica acumulada sem relaxamento, reduzindo a energia gerada pela fosforilação oxidativa.

Franch et al. (1998) comparam o impacto de três tipos de treino de corrida intensiva até à exaustão na EC e estudam as possíveis mudanças que daí resultam na ventilação e/ou na distribuição do tipo de fibras musculares. Uma amostra de 36 corredores masculinos de manutenção foi dividida em 3 grupos que utilizaram como conteúdos de treino respectivamente: (1) a corrida contínua a intensidade elevada (exaustiva) (CC); (2) o treino intervalado longo (TIL) e (3) o treino intervalado curto (TIC). Esta metodologia foi usada três vezes por semana, tendo cada unidade de treino 20 a 30 min de duração, durante um período de seis semanas. O VO_2max e a EC (VO_2) foram medidos antes e depois do treino. A distribuição dos tipos de fibra muscular no vastus lateralis também foi avaliada por biopsia. O VO_2max ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) aumentou 5.9% ($P < 0.0001$), 6.0% ($P < 0.0001$) e 3.6% ($P < 0.01$) na CC, no TIL e no TIC, respectivamente, e a vVO_2max , pela mesma ordem, também aumentou 9% ($P < 0.0001$), 10% ($P < 0.0001$) e 4% ($P < 0.05$) respectivamente. A EC aumentou 3.1% na CC ($P < 0.05$), 3.0% no TIL ($P < 0.01$) e 0.9% (TIC) (ns); a ventilação foi em média 11 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ mais baixa após o treino ($P < 0.0001$). Os decréscimos individuais na ventilação estão correlacionados com o aumento da EC ($r = 0.77$; $P < 0.0001$) e são responsáveis por 25-70% da diminuição do custo aeróbio. Neste estudo, a distribuição dos tipos de fibra muscular não se alterou com o treino e não manifestou qualquer tipo de associação com a EC.

2.2.1.2.2. Dimensões antropométricas e efeitos posturais

Anderson (1996) afirma que a eficácia na deslocação está directamente relacionada com o perfil biomecânico do atleta e é influenciada pelas dimensões antropométricas, a morfologia dos membros e o nível de aprendizagem dos padrões do movimento. Ainda segundo este autor, uma variedade de dimensões antropométricas contribuem para uma melhor EC como: (1) a altura ligeiramente inferior à média para os homens e ligeiramente superior à média para as mulheres; (2) elevado índice de massa corporal e um somatótipo ectomorfo ou ectomesomorfo (3) baixa percentagem de massa

gorda; (4) morfologia do membro inferior com uma distribuição da massa muscular próximo da articulação da coxa; (5) pelvis estreita; (6) pés mais pequenos que a média.

Analisemos de uma forma mais detalhada cada uma destas dimensões antropométricas e qual a sua influência na EC.

2.2.1.2.2.1. Massa corporal

Taylor (1994) nos seus estudos com cães de diferentes tamanhos, concluiu que o custo energético da corrida decresce inversamente ao aumento do tamanho. Estes estudos estão de acordo com outros do mesmo autor (Taylor, 1970; Taylor et al., 1982), que referem que os animais mais corpulentos são os que apresentam um custo energético menor, dando como exemplo o rato que dispende 20 vezes mais energia que um pônei na sua deslocação. Estes exemplos com animais evidenciam que o tamanho afecta a *performance* e consequentemente o seu custo energético.

Será que com os humanos o custo energético da marcha e da corrida tem o mesmo comportamento, apesar da menor amplitude de variação dos valores da sua massa corporal?

Williams et al. (1987) e Williams e Cavanagh (1987) referem relações inversas entre a massa corporal e o custo aeróbio (VO_2 submax) em atletas de elite femininos ($r=-0.52$) e masculinos ($r=-0.39$).

Bergh et al. (1991) avaliaram a economia de corrida de corredores masculinos e femininos de meio fundo e fundo pouco treinados ($n=134$) e num grupo de corredores masculinos ($n=7$) bem treinados e concluíram que uma massa corporal mais elevada estava associada a um menor custo em oxigénio por kg de massa corporal.

Os indivíduos com mais massa corporal são mais económicos por unidade de massa corporal que os menos corpulentos.

2.2.1.2.2.2. Distribuição da massa corporal

Taylor e Heglund (1982) afirmam que o custo energético da deslocação de qualquer espécie animal aumenta com a velocidade da deslocação e diminui com o aumento do tamanho corporal.

Taylor et al. (1982) referem que em diferentes espécies de animais em que a velocidade de deslocação, a massa corporal e o estilo de corrida sejam idênticos os mais económicos são os que possuem membros com menor carga, isto é, com uma musculatura esquelética mais leve. Os animais que possuem membros com pouca massa muscular ou os que possuem toda a sua massa muscular junto dos eixos de rotação são os mais económicos.

A hipótese de que um sujeito será tanto mais económico quanto menor for a proporção da sua massa corporal concentrada nas extremidades resulta de vários estudos, em que as propriedades de inércia dos segmentos pode ser modificada artificialmente com a utilização de cargas adicionais.

Entretanto, não podemos assumir que a massa concentrada numa localização específica de um membro possa efectivamente simular a distribuição da massa corporal normal. A carga artificial oferece a vantagem experimental de permitir uma manipulação calculada e controlada das propriedades de inércia de um segmento. Os resultados destes estudos indicam que a junção de uma carga adicional ao tronco implica um custo energético menor que a sua colocação em qualquer extremidade, principalmente nos membros inferiores. Desta forma é mais económico transportar uma carga na parte proximal que na parte distal do membro. Um exemplo é que a % do custo energético da marcha ou da corrida, por kg de carga adicional, é de 1% se for colocada no tronco, 3.5% se for colocada nas coxas e 7% se for nos pés (Martin, 1985; Myers e Steudel, 1985)

De acordo com Steudel (1990) vários estudos efectuados com cargas externas em humanos demonstraram uma relação entre a distribuição da massa corporal nos seus membros e o custo energético. Não sendo clara uma correlação similar para os quadrúpedes atendendo à variabilidade dos seus tamanhos, este estudo efectua a medida no TR do VO_2 de cães domésticos com uma carga adicional nas costas e nos membros. Foi utilizado um grupo de controlo sem carga adicional. O custo energético com carga adicional nos membros era significativamente maior que a aplicada no centro de massa, tendo sido concluído que a distribuição da massa corporal nos membros afecta a economia de marcha e de corrida nos mamíferos terrestres. Isto sugere que exista uma grande diferença nos factores que determinam o custo energético nos animais grandes e pequenos.

2.2.1.2.2.2.1. Sapatos e cargas adicionais.

O pioneirismo de Soule e Goldman (1969) revelou que o custo energético do transporte de uma carga adicional nos pés ou nas ancas era consideravelmente maior do que se esta fosse transportada nas costas.

Catlin e Dressendorfer (1979) e Jones et al. (1986) demonstraram que o aumento do peso do sapato diminui a EC.

Jones et al. (1984) sugerem que para uma carga adicional correspondente a 1.4% da massa corporal o custo energético da corrida aumenta 8%, isto é, cerca de 6 vezes mais que se transportado nas costas e que a utilização de botas ou sapatos mais ou menos pesados [por cada 100 g adicionais (50 g para cada sapato) haverá um aumento de 1% do consumo de oxigénio durante a corrida a intensidade submaximal] tem uma influência muito significativa na EC.

Clement et al. (1984) mencionam que qualquer tipo de carga adicional reduz a EC.

Também Burkett et al.(1985) estudaram o efeito na EC dos sapatos e dos sapatos com ortópticos. Vinte e um atletas masculinos de meio-fundo e fundo efectuaram 3 corridas submaximais, descalços, com sapatos e com sapatos com ortóptico. A corrida era efectuada a velocidade crescente em porções de 1 min à velocidade de 161 m.min⁻¹, 2 min a 180 m.min⁻¹ e 4 min a 201 m.min⁻¹, com medida do VO₂ nos últimos 3 min. Durante os seis minutos de cada patamar foi efectuada um filme em plano frontal, o que permitiu calcular o deslocamento linear e angular do joelho. Sob o ponto de vista mecânico, não foram registadas diferenças significativas em quaisquer delocamento linear do joelho. O deslocamento angular do joelho durante a corrida descalço era significativamente menor ($p < 0.05$) que a efectuada com sapato e com sapato mais ortótico, não sendo registada qualquer diferença entre estes dois. Verificou-se uma diminuição da economia de corrida, uma vez que o custo aeróbio aumentava proporcionalmente ao aumento de massa adicional no pé com sapato e com sapato mais ortótico.

Frederick (1986) refere que os sapatos para desporto são um instrumento poderoso na manipulação do movimento humano, uma vez que produzem muitos efeitos indirectos, contribuindo de acordo com a

particularidade de cada um, para uma adaptação cinética com consequências na lesão e na *performance*.

2.2.1.2.2.3. Flexibilidade e amplitude de movimentos

Gleim et al. (1990) num estudo efectuado com 38 mulheres e 62 homens com idades compreendidas entre os 20 e os 62 anos, tentaram relacionar 11 medidas da flexibilidade do tronco e dos mi com a economia de marcha e da corrida (VO_2 submax) avaliada no TR, tendo para isso utilizado 6 velocidades distintas compreendidas entre 53.6 e 187.7 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. Os elementos da amostra foram divididos em 3 grupos (normais, com pouca flexibilidade e com muita flexibilidade) e estabeleceram-se relações entre os resultados dos testes de flexibilidade e os consumos de O_2 a partir da velocidade de 107.3 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ (velocidade de transição da marcha para a corrida). O menor consumo de O_2 foi para o grupo dos pouco flexíveis, menos 9% que os mais flexíveis. O pior índice de flexibilidade ocorreu à velocidade mais económica (2.24 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e apresentou uma relação inversa com o custo aeróbio ($r = - 0.43$). Curiosamente estes autores concluíram que nenhuma patologia musculo-esquelética estava associada a uma diminuição da EC (VO_2 submax avaliada no TR), especulando que as contribuições de energia elástica podem ser aumentadas e que a necessidade de neutralização de movimentos parasitas (improdutivos) através da musculatura activa, podem ser reduzidos em indivíduos menos flexíveis o que faz baixar o custo metabólico da produção de movimento.

Craib et al. (1996) efectuaram um estudo em que pretendiam examinar a associação entre a EC e 9 medidas da flexibilidade dos membros e do tronco. Numa amostra de 10 atletas de nível médio (sub-elite), as avaliações da flexibilidade foram efectuadas ao longo de uma semana e sempre após 10 minutos de corrida à velocidade constante de 3.13 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. A EC foi avaliada no TR em patamares com a duração de 10 minutos à velocidade de 4.13 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. As análises de correlação revelaram que a dorsiflexão ($r = 0.65$) e a rotação externa e interna da bacia a partir de pé (standing hip rotation) ($r = 0.53$) estavam significativamente associadas com a média do custo aeróbio da corrida e que os atletas menos flexíveis eram os mais económicos.

2.2.1.2.3. Factores biomecânicos

Se existe uma grande variabilidade interindividual da EC em atletas com *performances* desportivas semelhantes podemos especular que a diferença se deve, entre outros, a factores mecânicos. Partindo deste pressuposto, a diversidade considerável de diferentes mecânicas de corrida identificáveis a olho nu sugerem a existência de padrões de passada mais ou menos eficazes.

Apesar da literatura sugerir que os parâmetros biomecânicos podem contribuir para a melhoria da economia da corrida, ainda não foi possível por parte dos investigadores estabelecerem um perfil-tipo do corredor económico.

As características mecânicas e as dimensões antropométricas de cada indivíduo podem ser adaptadas pelo treino na procura da atitude de corrida mais económica.

Segundo Anderson (1996), os factores relacionados com o padrão de atitude cinemática e a cinética da corrida podem ser relacionados com a EC como: (1) a amplitude de passada que é livremente adoptada por cada um após algum tempo de treino, (2) uma reduzida oscilação vertical do centro de massa; (3) ângulos mais agudos do joelho durante o balanço; (4) menor amplitude de movimentos, mas maior velocidade angular da flexão plantar durante a impulsão; (5) não excessiva oscilação dos membros superiores ; (6) baixa reacção a partir do solo; (7) rotações rápidas dos ombros no plano transverso; (8) maior movimento angular da bacia e dos ombros sobre o eixo polar e plano transverso; (13) exploração efectiva da energia elástica acumulada.

2.2.1.2.3.1. Amplitude e frequência da passada

Segundo Anderson (1996) as passadas com grande amplitude provocam uma excessiva oscilação vertical do centro de massa, o que implica um custo energético superior devido à maior quantidade de trabalho necessária para a propulsão (passagem do apoio para a suspensão). O mesmo autor refere ainda que as passadas com amplitude reduzida proporcionam uma frequência mais elevada, o que faz aumentar a carga interna e conseqüentemente o custo energético.

Alguns autores (Powers et al., 1982; Cavanagh e Williams, 1982; Morgan e Martin, 1986; Heinert et al., 1988) têm evidenciado que o custo aeróbio da marcha e da corrida, a uma velocidade submáxima, aumenta curvilinearmente,

quer a amplitude de passada aumente ou diminua, resultando numa relação em forma de U entre a amplitude de passada e a economia de corrida correspondente.

Martin e Morgan (1992) referem que apenas uma pequena percentagem de indivíduos têm uma combinação desajustada entre a amplitude e a frequência da passada e o custo aeróbio da corrida. Num padrão de passada adequado, um pequeno desvio na amplitude ou na frequência não altera a economia da corrida.

Kyrolainen et al. (2000) reforçam esta ideia num estudo efectuado com 7 triatletas onde foi observado um pequeno aumento da frequência da passada e um decréscimo semelhante na amplitude de passada, que não contribuíram para a alteração da EC.

Bailey e Messier (1991) num estudo efectuado com atletas de iniciação (n=13) que foram sujeitos a um período de treino de 7 semanas concluíram, que a variabilidade da amplitude de passada daí resultante não tem qualquer efeito na EC. No entanto, quando a amplitude ou a frequência de passada variam consideravelmente, o custo aeróbio aumenta substancialmente.

Cavanagh e Williams (1982) estudaram 10 corredores de manutenção com uma média de $VO_2\text{max}$ $64.7 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ que efectuaram durante 5 dias corridas de adaptação no tapete rolante. Durante estas corridas foi escolhido um padrão de passada que foi expresso percentualmente ao comprimento do membro inferior. Nos dois dias seguintes foram efectuados testes em que a amplitude da passada variava para + 20% e -20% o que correspondia a um aumento médio do VO_2 de 2.6 e 3.4 $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, respectivamente. Os corredores, quando utilizavam um padrão de passada não condicionado, tinham um aumento do VO_2 que era de apenas 0.2 $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. Os autores concluíram que o processo de adaptação e adopção de um padrão de passada óptimo corresponde a optimização do custo energético.

Morgan e Martin (1986) observaram o efeito da manipulação da amplitude da passada em 7 marchadores, através de dois testes em que o $VO_2\text{max}$ e o padrão de amplitude de passada eram determinados. Em seguida, cada sujeito efectuava patamares de 6 minutos a 5 amplitudes de passada diferentes (a amplitude de passada padrão e -10%, -5%, +5% e +10%) a uma velocidade constante correspondente à utilizada nos 10 km marcha. Todos os

sujeitos revelaram ser mais económicos à amplitude de passada padrão e os custos energéticos aumentaram progressivamente com as amplitudes de +5%, -5%, +10% e -10%. Os autores concluíram que os atletas normalmente escolhem um padrão de passada óptimo ao nível do custo energético.

Cavanagh e Kram (1989) estudaram corredores de manutenção a quem foi dada a possibilidade de escolherem o seu padrão de passada a uma velocidade que variava entre 3.15 e 4.12 m.s⁻¹. A uma determinada velocidade os coeficientes de correlação entre as variáveis antropométricas (altura, comprimento do mi, massa do mi) e as amplitudes e frequências de passada adoptadas eram relativamente baixas ($r = \leq 0.36$). Com o aumento da velocidade a frequência de passada permanecia quase constante (+4%) e a amplitude aumentava 28%. Entre outras conclusões, os autores sugerem que a amplitude de passada escolhida é a mais económica e que as variáveis antropométricas não devem servir para condicionar/estipular/determinar qualquer padrão de passada.

Segundo William et al. (1987) a amplitude de passada livremente escolhida (adoptada) na marcha ou na corrida é sempre mais económica e mecânicamente mais eficiente que qualquer outra.

Heglund et al. (1982), Taylor (1985), Kram e Taylor (1990) mencionam que as mudanças na amplitude e frequência da passada implicam uma variação no padrão de alongamento e encurtamento do músculo e da quantidade proporcional de força daí resultante, o que conseqüentemente poderá afectar a economia de corrida.

Heglund et al. (1982) estudaram a relação entre o custo energético e a biomecânica da locomoção terrestre. A energia cinética dos membros e do corpo, em relação ao centro de massa, é combinada com o potencial mais a energia cinética do centro de massa, para obter o total de energia mecânica (excluindo a energia elástica) do animal durante uma média constante de velocidade de locomoção. O valor mínimo que resulta da relação massa corporal - trabalho específico requerido dos músculos e tendões para manter as oscilações observadas na energia total, E_{tot}/M_b , podem ser descritas pela equação (14)

$$E_{tot}/M_b = 0.478 \cdot v_g + 1.53 + 0.685 \cdot v_g + 0.072 \quad (20)$$

onde E_{tot}/M_b se expressa em $W \text{ kg}^{-1}$ e v_g em m.s^{-1} . Esta equação é independente do tamanho corporal, quer seja aplicada a um esquilo, a uma codorniz, a um cavalo ou uma avestruz. Em contraste com esta situação, a energia metabólica consumida, por cada grama de um animal na sua deslocação no solo a uma velocidade constante, aumenta linearmente com a velocidade e é proporcional a $M_b^{-0.3}$. Estes investigadores descobriram então que cada grama de tecido de 30g de codorniz ou de esquilo na corrida a 3m.s^{-1} corresponde a um consumo de energia metabólica percentual 15 vezes superior à correspondente a 100kg de uma avestruz, de um cavalo ou de um homem, à mesma velocidade enquanto os seus músculos desenvolvem um trabalho com a mesma amplitude. Estas investigações demonstram a importância do armazenamento e recuperação da energia elástica do músculo nos animais mais corpulentos, mas não pode confirmar ou excluir a possibilidade de armazenamento da energia elástica nos animais mais pequenos. Parece evidente que a quantidade proporcional a que os animais consomem energia, durante a locomoção, não pode ser explicada assumindo uma eficiência constante entre a energia consumida e o trabalho mecânico desenvolvido pelos músculos.

Taylor (1985) estudou na locomoção animal as causas que determinam: (1) a alteração do padrão de passada, (2) qual a velocidade máxima possível de atingir durante a corrida (3) o custo energético. A alternância entre estiramento-encurtamento dos músculos envolvidos na locomoção permite que as unidades musculo-tendão funcionem como molas (elásticos) e que os animais adoptam velocidades e frequências de passada que optimizam essa elasticidade. A fadiga muscular determina a alteração do padrão de passada, a velocidade máxima a que podem correr e quais os limites óptimos de aceleração e desaceleração. Finalmente, este autor refere que a duração do tempo em que é exercida uma força durante a locomoção mais que o trabalho muscular desenvolvido é que determina o custo energético.

Kram e Taylor (1990) sugerem que nos animais corredores, o custo energético utilizado para correr uma milha é aproximadamente o mesmo, quer se corra à velocidade máxima ou a velocidade moderada. Algum do trabalho desenvolvido na corrida é recuperado pela elasticidade do músculo-tendão sem

custo energético, logo a fracção de trabalho desenvolvido não é correspondente ao custo metabólico. As diferenças na economia de corrida que decorrem do tamanho corporal são proporcionais à frequência da passada a velocidades equivalentes, sugerindo que o tempo dispendido para desenvolver a força é muito importante na determinação do custo aeróbio por unidade de distância. Estes autores referenciaram uma relação inversa entre a quantidade percentual de energia utilizada na corrida e o tempo (duração) em que o pé aplica uma força no solo durante cada passada. Estes resultados sustentam a hipótese de que o custo energético, que resulta do suporte do peso do animal e do tempo gasto a produzir essa força, determina o custo energético.

Kaneko et al. (1987) reforçam o acima referido valorizando o papel que o recrutamento das fibras desempenha no desenvolvimento do trabalho muscular e na determinação do custo aeróbio. Estes autores observaram uma relação em U entre a economia de corrida e a amplitude de passada e ainda entre a economia de corrida e o trabalho mecânico produzido por todo o corpo. A pequenas frequências de passada corresponde um trabalho mecânico externo elevado, avaliado a partir das alterações cinéticas do centro de massa. A frequências de passada elevadas, está associado no que se refere ao movimento dos membros, um trabalho mecânico muito activo. Os autores afirmam que estas condições extremas resultam, preferencialmente de um custo energético baixo das fibras rápidas e das combinações entre amplitude e frequência de passada.

Holt et al. (1990) consideram que a possibilidade da optimização da relação frequência/amplitude de passada e a consequente diminuição do custo aeróbio da corrida está directamente associado às características antropométricas e de inércia dos membros inferiores.

2.2.1.2.3.2. Oscilação vertical do centro de massa.

Cavanagh et al. (1977) e Williams e Cavanagh (1987) referem que a correlação entre a oscilação vertical do centro de massa e o $VO_{2submax}$ é baixa, mas que existem excepções, isto é, indivíduos com uma corrida económica e com uma elevada oscilação vertical. Assim sendo, é possível que uma elevada oscilação vertical do centro de massa aumente o custo energético, mas outras variáveis deverão ser consideradas. Por exemplo, se a oscilação

vertical do centro de massa estiver associada a um aumento da amplitude da passada, talvez o elevado tempo necessário para levar a perna que iniciou a impulsão ao apoio seguinte reduza o custo energético associado à fase de suspensão, tornando o padrão de passada mais eficiente.

Cavanagh et al. (1977) descobriu que os fundistas de elite possuem uma oscilação vertical do centro de massa ligeiramente inferior a fundistas de nível bom.

2.2.1.2.3.3. Força de reacção no solo

Numa perspectiva teórica quanto maior for a reacção do solo maior será o custo energético, isto é, quanto maiores forem as componentes de força envolvidas na reacção do solo mais intenso será o contributo muscular necessário para controlar o movimento dos membros e estabilizar a posição do corpo na fase de apoio. Tudo isto implica uma maior solicitação metabólica dos músculos envolvidos. O aumento da força de reacção no solo é directamente proporcional ao aumento de velocidade e do consumo de O_2 (Munro et al. (1987) .

Bhattacharya et al. (1980) avaliaram o VO_2 e o impacto no solo da extremidade dos membros inferiores utilizando um acelerómetro colocado no astrálogo (tornozelo). Com o aumento da velocidade encontraram uma relação linear entre o aumento de aceleração do tornozelo e o aumento do consumo de O_2 .

Williams e Cavanagh (1987) encontraram uma elevada correlação (0.96) entre a componente vertical da força de reacção no solo e o $VO_{2submax}$ a 3.6 m.s⁻¹.

Keller et al. (1996), num trabalho efectuado no tapete rolante com corredores de manutenção (13 homens e 10 mulheres), avaliaram a força de reacção no solo (FRS) resultante da marcha e da corrida lenta efectuada a velocidades compreendidas entre 1.5 e 3 m.s⁻¹ e da corrida rápida entre 3.5 e 6 m.s⁻¹. A componente vertical da FRS foi analisada em patamares com incrementos de 0.2 m.s⁻¹ para determinar o impulso vertical máximo [$F_{(z)}$] e a quantidade percentual de carga utilizada [$G_{(z)}$]. Tanto nos homens como nas mulheres [$F_{(z)}$] aumentou linearmente na marcha e na corrida. No entanto, na corrida lenta observaram-se valores de [$F_{(z)}$] e [$G_{(z)}$] 50% superiores aos

observados na marcha ou na corrida rápida. Estes autores concluíram que a força de reacção no solo era maior na corrida lenta e menor na corrida rápida ou na marcha.

Heise e Martin (2001) efectuaram um trabalho em que questionam se as variações na EC nos humanos estão associadas aos diferentes tipos de forças de reacção no solo. O estudo foi efectuado com corredores de manutenção ($n=16$) que correram a $3.35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ no tapete rolante para avaliação dos indicadores fisiológicos e na pista para as medidas biomecânicas. Os coeficientes de correlação foram calculados entre a EC e o total de impulsão vertical. O total de impulsão vertical e o impulso vertical bruto foram as únicas características de força de reacção do solo que se correlacionaram positivamente com a EC ($r = 0.62$, $r = 0.60$, respectivamente).

2.2.1.2.4. Factores ambientais

2.2.1.2.4.1. Altitude

Morgan e Craib (1992) referem que o consumo de O_2 a intensidades sumaximais de atletas bem treinados apresenta valores mais elevados ao nível do mar que em altitude, uma vez que a menor densidade do ar em altitude faz diminuir o custo energético.

Roi et al. (1999) estudaram o efeito da altitude na EC (quadro 21), comparando o VO_2 de cinco atletas de elite em maratonas que efectuaram ao nível do mar (M0), a 4300 m (M1) e a 5200m (M2) de altitude. O VO_2 foi calculado segundo Cooper (1968) e a % VO_2max de acordo com Costill (1972). O decréscimo de VO_2 em cada uma das maratonas a partir da maratona efectuada ao nível do mar ($\text{M0} = 52.8 \pm 1.0 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) é de 27.5% para M1 ($38.5 \pm 4.5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) e 34.8% para M2 ($35.0 \pm 2.9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$).

Quadro 19 Efeito da altitude na economia de corrida (adaptado de Roi et al. (1999))

Altitude	Velocidade ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	VO_2 ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	% VO_2max	EC ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$)
Nível do mar	17.3 ± 0.6	52.8 ± 1.0	74 ± 6	183.1
4300	12.3 ± 1.3	38.5 ± 4.5	67 ± 1	187.8
5200	11.5 ± 0.8	35.0 ± 2.9	71 ± 3	182.6

Bailey et al. (1998) num trabalho em que pretendiam comparar os efeitos do treino a média altitude e ao nível do mar, efectuaram um estudo (1) com um grupo experimental (E1) de atletas de elite (n=14) que treinaram em altitude (1500-2000 m; New Mexico, Estados Unidos da América) e outro (n=9), de controlo, (C1) que efectuou o mesmo plano de treino ao nível do mar. Outro estudo foi feito (2) com um grupo experimental (E2) de atletas de elite (n=10) que treinaram em altitude (1640 m; Krugersdorp, África do Sul) e outro (n=19), de controlo (C2) que efectuou o mesmo plano de treino ao nível do mar. Indicadores metabólicos e cardiorespiratórios foram avaliados em repouso, 21 dias antes (PRE) do treino em altitude e 10 a 20 dias após (POST) o treino de altitude. Os autores concluíram que para além de outros indicadores fisiológicos os da EC permaneceram inalteráveis.

Levine e Stray-Gundersen (1997) efectuaram um estudo num grupo de 39 atletas (27 homens e 12 mulheres). Fizeram 4 semanas de treino ao nível do mar e posteriormente mais 4 semanas de treino idêntico, mas subdivididos em três subgrupos, cada um de 13 atletas e em três locais distintos. O subgrupo 1 (*high-low*) vivendo a altitude média (2500 m) e treinando a baixa altitude (1250 m) O subgrupo 2 (*high-high*) vivendo e treinando a altitude média (2500 m). O subgrupo 3 vivendo e treinando ao nível do mar (150 m). Após este período de treino, foram avaliados alguns indicadores fisiológicos, entre os quais a EC em cada um dos locais de treino, não havendo diferenças significativas entre si.

2.2.1.2.4.2. Vento, humidade e temperatura

Pugh (1958) foi um dos pioneiros no estudo do efeito do vento na EC. Pugh (1970) afirma que o custo energético dispendido na corrida, com vento frontal, corresponde a cerca de metade da sua velocidade, isto é, um vento que sopra de frente a 60 km.h^{-1} corresponde a um aumento do VO_2 de $30 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. Em estudos posteriores, Pugh (1971) sugere que nas corridas de MFF realizadas à velocidade de 6 m.s^{-1} (67s por cada 400m) cerca de 8% da energia do atleta é gasta a vencer a resistência do vento. O mesmo autor refere que um atleta que beneficie do efeito de dragagem de um outro que o preceda 1 metro, economizará 20% do custo energético global equivalente a 4 s por volta, numa

prova de MFF. Se o atleta correr ao lado de outro apenas beneficia de 1 s por volta.

Kyle (1979) afirma que à velocidade correspondente ao recorde do mundo da milha um corredor que siga outro a 2 m de distância economiza 1.66 s por volta. O mesmo autor refere que no ciclismo o efeito de dragagem é 30% superior e que nas corridas de velocidade um atleta gasta 13 a 16% da energia total dispendida para vencer a resistência do vento.

Davies (1981) menciona que um atleta que efectue uma maratona com o vento pelas costas, à velocidade do recorde do mundo da maratona (19.91 km.h⁻¹), aumenta a velocidade da corrida em 0.82 km.h⁻¹ o que lhe permitirá um ganho de 5 min no tempo final. Este autor refere ainda que um vento frontal a 35 km.h⁻¹ reduz a velocidade da corrida em 2.5 km.h⁻¹ e que a 60 km.h⁻¹ reduz cerca de 8 km.h⁻¹.

Sproule (1998) num estudo efectuado com 15 atletas ($VO_2\text{max} = 55.5 \pm 4.4$ ml.kg⁻¹.min⁻¹) que correram 60 min a 80% do $VO_2\text{max}$ em situação termoneutral (entre 22-23°C e 56-62% de temperatura e humidade relativa, respectivamente) avaliaram a EC a 3 m.s⁻¹, tendo concluído que o seu valor não se altera em condições de calor ou de humidade.

2.2.1.2.4.3. Piso e perfil topográfico

Davies (1980) estudou o custo energético na corrida em rampas ascendentes e descendentes, tendo concluído que o custo energético dispendido na descida é apenas metade do necessário para fazer o mesmo percurso a subir. A corrida em rampa ascendente tem um custo energético de 2.6 ml.kg⁻¹.min⁻¹ por cada 1% de inclinação e equivale a uma redução da velocidade da corrida em 0.65 km.h⁻¹. A corrida em descida permite economizar cerca de 1.5 ml.kg⁻¹.min⁻¹ por cada 1% de inclinação, o que equivale a um aumento de velocidade de 0.35 km.h⁻¹.

Zamparo et al. (1992) avaliaram o $VO_2\text{max}$, a FC e o seu custo energético por unidade de distância num estudo efectuado com 6 homens e 3 mulheres que caminharam a velocidades entre 3 e 7 km.h⁻¹ ou correram a velocidades entre 7 e 14 km.h⁻¹, em superfícies duras e de areia. As mulheres só fizeram os testes de marcha e o seu custo energético por unidade de distância aumentou linearmente com a velocidade quando caminharam na areia de 3.1 J.kg⁻¹.m⁻¹ à

velocidade de 3 km.h⁻¹ para 5.5 J.kg⁻¹.m⁻¹ a 7 km.h⁻¹, enquanto em piso firme o custo energético atingiu um mínimo de 2.3 J.kg⁻¹.m⁻¹ para 4.5 km.h⁻¹, aumentando ou diminuindo com o aumento ou a diminuição das velocidades. Caminhando a velocidades acima dos 3 km.h⁻¹ o custo energético em areia era cerca de 1.8 vezes superior ao custo energético dispendido em terra firme. Quando em corrida na areia o custo energético é independente da velocidade, aumentando cerca de 1.2 vezes em relação ao solo firme.

Jensen et al. (1999) efectuaram um estudo com corredores de orientação (n= 11) e corredores de pista (n=10) com a mesma idade, a mesma massa corporal, o mesmo VO₂max e que utilizaram a mesma metodologia de treino. Apenas os corredores de orientação utilizaram superfícies pesadas (lama, areia, etc) no seu treino. Os corredores da pista apenas usaram superfícies duras na estrada ou na pista. O VO₂max e o VO₂submax foram avaliados por telemetria com um K2 (Cosmed, Italy). A EC durante a corrida em terreno fofo foi de 217±12 e 212±14 ml.kg⁻¹.km⁻¹ nos corredores de orientação e nos de pista respectivamente. A EC diminuiu 41 a 52% em terreno pesado (P < 0.05) e foi menos pronunciada nos corredores de orientação que nos de pista (88±18 vs 109±26 ml.kg⁻¹.km⁻¹; P < 0.05). Estes autores concluíram que os corredores de orientação relativamente aos corredores de pista possuem melhores valores na EC, quando mudam de terrenos lisos para terrenos pesados e irregulares uma vez que efectuam treino específico nesses terrenos.

2.2.1.2.5. Factores do treino e da *performance*

2.2.1.2.5.1. Treinabilidade

O impacto do treino na EC reúne alguma controversia.

Morgan et al. (1995) provaram que atletas treinados possuem melhor EC que sedentários, num estudo efectuado com corredores de elite (C1) (n = 22), corredores de sub-elite (C2) (n = 41) corredores de nível bom (C3) (n = 16) e ainda um grupo de indivíduos sedentários (C4) (n = 10). O seu VO₂max apresentava uma relação de valores decrescente (C1 > C2 > C3 > C4) e os valores de VO₂ a velocidades submáximas demonstraram que C4 era menos económico que C3, C3 menos que C2 e C2 menos que C1.

De igual forma, outros estudos produziram resultados equívocos e contraditórios.

Lake e Cavanagh (1996) num estudo efectuado com um grupo experimental de sujeitos ($n = 15$) do sexo masculino que treinaram durante 6 semanas e posteriormente realizaram uma corrida de 10 min no TR a $3.36 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, foram comparados com um outro grupo que não realizou qualquer tipo de treino. Apesar do grupo experimental ter apresentado um incremento no VO_2max (57.7 ± 6.2 contra $61.3 \pm 6.3 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) e na *performance*, o VO_2 submáximo era significativamente pior no grupo experimental (41.0 ± 4.5 contra $42.4 \pm 4.3 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) comparado com o grupo de controlo ($P < 0.05$).

Importa referir que a causa deste resultado pode estar no facto do estudo ter decorrido num curto espaço de tempo (6 semanas), o que não permitiu uma correcta adaptação à metodologia de treino, e ainda por ter sido efectuado com indivíduos com curta ou nula idade de treino e pouco familiarizados com a corrida. O mesmo aconteceu no trabalho efectuado por Wilcox e Bulbulian (1984) que utilizaram num grupo de atletas ($n=7$) bem treinadas do sexo feminino, um programa de treino, ao longo de 8 semanas, que contemplava corrida contínua de longa duração e treino pelo método dos intervalos, não se registando no final qualquer alteração na EC.

Jones e Carter (2000) referem que as velocidades mais económicas são aquelas a que normalmente os atletas treinam, mas é necessário que decorra algum tempo para a sua adaptação. Alguns estudos referem alterações na EC após um longo período de treino.

Jones (1998) num estudo realizado com uma atleta do sexo feminino de classe mundial comparou, entre outras, as alterações na EC com a *performance* dos 3000m observadas entre 1991 e 1995. A *performance* evoluiu 8% entre 1991 e 1993, o VO_2max caiu entre 1991 e 1993 de 73 para $66 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, mas a EC (VO_2 a $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) evoluiu ao longo dos 5 anos ($53 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ para $48 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)

Pate et al. (1992) avaliaram alguns indicadores fisiológicos, antropométricos e do treino num grupo heterogéneo ($n = 188$, 119 homens, 69 mulheres) de corredores de MFF. A economia de corrida foi avaliada no tapete rolante (VO_2 submáximo correspondente a uma velocidade de $161 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$) e a correlação com o exercício de baixa intensidade foi significativa.

Svedenhag e Sjödín (1985) num estudo realizado com atletas de elite ($n=16$) durante 22 meses, ao efectuarem corrida contínua de longa duração,

treino pelo método dos intervalos e corridas em rampas, revelaram uma melhoria de 1 a 4 % por ano na EC.

Franch et al. (1998) compararam o impacto do treino exaustivo de corrida contínua, com o treino pelo método dos intervalos com distâncias longas e com o treino pelo método dos intervalos com distâncias curtas durante 6 semanas e com um tempo por unidade de treino de 20 a 30 minutos. O VO_2 submáximo foi medido antes e depois das seis semanas de treino. A EC aumentou 3.1% após o treino de corrida exaustivo de corrida contínua ($P < 0.05$), 3.0% com o treino intervalado de distâncias longas ($P < 0.01$) 0.9% com o treino pelo método dos intervalos de distâncias curtas.

Billat et al. (1999) num trabalho efectuado com sujeitos que cumpriram 4 semanas de treino normal a que acrescentaram uma sessão extra por semana (5 repetições a uma intensidade correspondente ao $v\text{VO}_2\text{max}$, uma duração de 50% do $t_{\text{lim}}v\text{VO}_2\text{max}$ e um tempo de recuperação de 60% $v\text{VO}_2\text{max}$), verificaram um aumento da EC para 50.6 ± 3.5 contra 47.5 ± 2.4 $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, $P = 0.02$).

Paavolainen et al. (1999) efectuou um estudo com atletas que treinaram durante 9 semanas, constituindo um grupo experimental (E) ($n=10$) e outro de controlo (C) ($n=8$).

O volume total de treino foi idêntico para ambos, mas 32% do treino de E e 3% de C foi substituído por treino de força explosiva. Para além de outros parâmetros, a EC aumentou em E, mas não foi observada qualquer alteração em C.

A controvérsia persiste quando se compara a EC de maratonistas com atletas de outras distâncias (meio-fundistas e velocistas). Daniels (1985) sugere que os maratonistas apresentam uma melhor EC que atletas de outras distâncias. Pate et al. (1987) referem uma EC idêntica e Daniel e Daniels (1992) mencionam que os maratonistas são os que apresentam a pior.

Existem, no entanto, um conjunto de estudos que demonstram que a EC se desenvolve com o treino.

Bailey e Pate (1991) verificaram que a melhoria da EC depende da acção interdisciplinar de parâmetros antropométricos, fisiológicos, metabólicos, biomecânicos e técnicos.

Sjödin et al.(1982) e Coyle et al. (1992) sumarizam que a melhoria da EC pelo treino resulta da melhoria da eficiência mecânica, da habituação ao TR, de

alterações no padrão de passada e na optimização dos padrões de recrutamento das unidades motoras.

Sjödín et al.(1982) num trabalho efectuado com atletas (n=8) de meio fundo e fundo muito bem treinados, após 14 semanas do treino normal complementado com uma corrida efectuada à velocidade correspondente ao limiar anaeróbio, uma vez por semana, registaram uma melhoria de 3% na EC.

Resultados de estudos longitudinais explorando o impacto de vários conteúdos de treino na EC são expostos no quadro 20.

Quadro 20 Estudos realizados que referem o impacto de alguns conteúdos de treino na EC considerando o custo em oxigénio correspondente a uma intensidade submáxima (Adaptado de Morgan, 1992)

Autor	Amostra	Duração	Conteúdos do treino	Alteração VO ₂
Daniels et al. (1978b)	15 M Tr LZ	8 semanas	CCLD+TI	0%
Wilkox e Bulbulian (1984)	7 F Tr	8 semanas	CCLD+TI	0%
Petray e Krahenbuhl (1985)	50 M crianças	11 semanas	CCLD+ETC	0%
Lake &Cavanagh (1990)	15 M Act LZ	6 semanas	CCLD	+3%
Patton e Vogel (1977)	60 M Tr & NTr	6 meses	CCLD	-10%
Daniels et al. (1978a)	11 M adolesc.	2-5 anos	CCLD+CCMD	-18%
Conley et al. (1981)	1 M elite	18 semanas	CCLD+TI	-13%
Conley et al. (1984)	1 M elite	9 meses	CCLD+TI	-5%
Svedenhag e Sjödín (1985)	16 M elite	22 meses	CCLD+TI+RPS	-1% a -4%.ano ⁻¹
Sjödín et al. (1982)	8 M Tr	14 semanas	TrN+CLan.sem ⁻¹	-3%
Paavolainen et al. (1999)	10 M	9 semanas	CCLD+TFE	- 3.8%

Legenda

M = masculino; F = feminino; Tr = treinados; TrN = treino normal; NTr = não treinados; Act = activos (não sedentários); LZ = lazer; CCLD = corrida continua de longa duração; TI = treino intervalado; ETC = Exercícios técnicos de corrida; CLan = corrida com uma intensidade correspondente ao limiar anaeróbio; RPS = rampas; TFE = treino de força explosiva (sprints 5-10; 20-100+hops+steps+jumps sobre barreiras+ drop jumps).

2.2.1.2.5.2. Sobretreino

Poucos estudos examinaram os efeitos de sobretreino e destreino na EC.

O sobretreino resulta de um desequilíbrio entre o treino e a recuperação, manifesta-se por um conjunto de sintomas físicos e psicológicos e traduz-se numa fadiga severa ou profunda. O síndrome do sobretreino é caracterizado por

um estado de prostração, irritabilidade e insipidez, resultante de uma disfunção do sistema neuroendócrino localizado no hipotálamo. O seu tratamento é longo podendo demorar semanas ou meses.

Billat et al (1999) compararam oito sujeitos que efectuaram durante 4 semanas um treino normal que incluía uma vez por semana uma sessão de treino intervalado, efectuado a uma intensidade correspondente a $vVO_2\max$ e com a duração de 50% do $t_{lim}vVO_2\max$ e um tempo de recuperação de igual duração, (1:1) em que acção consistia em corrida efectuada a uma intensidade de 60% do $vVO_2\max$. Os mesmos oito sujeitos efectuaram 4 semanas de sobre-treino com 3 sessões de treino intervalado por semana, efectuadas a uma intensidade correspondente a $vVO_2\max$. Os resultados demonstraram que com o treino normal a $vVO_2\max$ aumentou (20.5 ± 0.7 contra 21.1 ± 0.8 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, ($p = 0.02$), assim como a EC (50.6 ± 3.5 contra 47.5 ± 2.4 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$, ($p = 0.02$). Não sofreram alterações significativas o $VO_2\max$ (71.6 ± 4.8 contra 72.7 ± 4.8 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$, o $t_{lim} vVO_2\max$ (301 ± 56 contra 283 ± 41 s) e a *performance*, i.e., a distância máxima percorrida à $vVO_2\max$ (2052.2 ± 331 contra 1986.2 ± 252.9 m). Também o limiar anaeróbio permaneceu normal ($84.1 \pm 4.8\%$ $vVO_2\max$). Podemos concluir que o sobre-treino não alterou a *performance*.

2.2.1.2.5.3. Destreino

A investigação, examinando a influência de pequenas reduções da carga na EC, tem produzido descobertas díspares. Um estudo de Houmard et al. (1989) mostrou não haver nenhuma alteração de VO_2 seguida de um período de 10 dias de redução do treino e outro evidenciou uma melhoria na EC (associada com uma utilização elevada de hidratos de carbono) após 3 semanas de treino reduzido (Houmard et al., 1990).

Houmard et al. (1992) num trabalho efectuado com 12 atletas de meio-fundo e fundo que efectuaram destreino durante 14 dias (total inactividade), observaram um decréscimo no $VO_2\max$ aproximadamente de 3 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (61.6 ± 2.0 contra 58.7 ± 1.8 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, $p < 0.05$). O t_{lim} de $VO_2\max$ também diminuiu cerca de 1.2 min (13.0 ± 0.5 contra 11.8 ± 0.5 min, $p < 0.001$). A FC aumentou 9 bpm. A duas velocidades submaximais correspondentes a 75 e 90% $VO_2\max$ não se verificou nenhuma alteração na economia de corrida, apesar de um aumento de 11 bpm em cada uma das velocidades.

Houmard et al. (1994) estudaram o efeito na *performance* do destreino pela redução do volume de treino (*taper*). Três grupos de 8 corredores foram estudados: o grupo (1) manteve o treino intervalado a intensidade elevada e reduziu 85% do volume total de treino, o grupo (2) manteve o treino intervalado com a mesma intensidade do grupo (1), mas fez todo o treino na bicicleta e o grupo (3) de controlo manteve o seu treino normal. Os atletas foram posteriormente avaliados efectuando um teste de 5000 m, tendo o grupo (1) melhorado em 3% (1036.2 ± 30.6 para 1006.8 ± 28.2 s, $P < 0.005$), tendo sido registado também um decréscimo de 6% no consumo de oxigénio a velocidade submáxima ($p < 0.01$). Nos outros dois grupos (2) e (3) não se verificaram alterações, nem na *performance* sobre 5000 m, nem no VO_2 a velocidades submaximas. Os investigadores concluíram que 7 dias de *taper*, em corredores de meio fundo e fundo, melhora a *performance* e a EC.

2.2.1.2.5.4. Performance

Os estudos de Conley et al. (1981), Conley et al. (1984) e de Morgan e Craib (1992) demonstraram que a um aumento da EC correspondia uma melhoria da *performance* desportivo-motora. Brueckner et al. (1991), Xu e Montgomery (1995), Hauswirth et al. (1996), sugerem que o custo energético da corrida aumenta em relação directa com a distância percorrida. Brueckner et al. (1991) verificaram que o custo energético aumenta cerca de 0.08% por km percorrido.

2.2.1.2.5.5. Fadiga

A fadiga resultante de um esforço maximal de longa duração faz aumentar significativamente o custo aeróbio da corrida (Cavanagh et al., 1985; Brueckner et al., 1991; Xu e Montgomery, 1995; Guezenc et al., 1996). Alguns investigadores referem que as corridas de longa duração, efectuadas a uma intensidade entre 74-90% do VO_{2max} , não alteram a EC (Dressendorfer, 1991; Morgan et al., 1990, 1996). Pelo contrário, Sproule (1998) afirma que numa actividade com 60 minutos de duração efectuada a uma intensidade de 80% do VO_{2max} , há uma alteração da EC e a sua deterioração é directamente proporcional à intensidade e duração da actividade. Este estudo é corroborado por outros investigadores (MacDougall et al., 1974; Williams e Cavanagh, 1987;

Kalis et al., 1988; Bailey e Pate, 1991; Morgan e Craib, 1992) para quem a actividade com duração prolongada aumenta o VO_2 , e por consequência a FC, a temperatura central, o catabolismo das gorduras, o nível de catacolaminas no sangue e diminui o conteúdo de glicogénio muscular e hepático, assim como a eficiência biomecânica.

Cavanagh et al. (1985) e Wilcox et. al. (1989) descrevem uma diminuição da EC como consequência de uma competição de longa distância ou treino prolongado de rampas a descer (-10% de inclinação) a uma intensidade relativamente baixa (48% VO_{2max}).

Morgan et al. (1989) sugeriram que a fadiga induzida pelo exercício de longa duração pode influenciar de forma adversa a exigência aeróbica da corrida.

Dressendorfer (1991) observa uma redução significativa de VO_{2max} , após uma meia maratona corrida a uma intensidade equivalente a 74% do VO_{2max} .

Ainda é pouco o conhecimento acerca do efeito agudo do exercício prolongado na EC. As alterações metabólicas resultantes do exercício prolongado também podem alterar o custo de O_2 na corrida (Xu e Montgomery, 1995).

O aumento gradual do VO_2 durante o exercício prolongado pode estar relacionado com a diminuição da força muscular, uma vez que uma diminuição de 25% na força de contracções voluntárias máximas em cada perna tem sido referida após uma corrida de 4 horas para 65-70% do VO_{2max} (Davies e Thompson, 1986).

Uma diminuição da força muscular conduzirá a um aumento no recrutamento de fibras para manutenção da força e desse modo um aumento do VO_2 (Raven e Stevens, 1988)

2.2.1.2.6. Outros factores

2.2.1.2.6.1. Idade

Åstrand (1952), Daniels et al. (1978) e ainda Kraenbhul e Pangrasi (1983) referem que as crianças requerem mais 20 a 30% de O_2 por kg de peso corporal que um adulto correndo à mesma velocidade submáxima.

O crescimento e as mudanças na capacidade aeróbia na criança afectam a *performance*? Numa actividade fixa, como por exemplo, pedalar num cicloergómetro, o VO_2 baixo de uma criança é um factor limitativo da *performance*, mas na corrida em que a deslocação do peso corporal representa o maior obstáculo, as crianças não apresentam uma desvantagem atendendo ao valor de VO_{2max} que é relativizado ao seu peso.

Daniels et al. (1978) num estudo efectuado com 20 jovens corredores de idades compreendidas entre os 10 e os 18 anos, através de testes efectuados de 6 em 6 meses ao longo de 6 anos, após uma comparação longitudinal dos dados, verificaram que o VO_{2max} quando expresso em $ml \cdot min^{-1}$ se altera de forma paralela com o peso corporal, enquanto o VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) não evidencia qualquer mudança com o decorrer da idade.

Mayers e Gutin (1979) num estudo em que compararam oito jovens corredores de elite de corta-mato com oito jovens activos, ambos com idades compreendidas entre os 8 e os 11 anos, em que não havia diferenças entre si na idade, peso, altura e FC max. O VO_{2max} era para o grupo de corredores de $56.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ e para os não corredores de $46.0 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ e os autores concluíram que às mesmas velocidades submáximas de 124, 161 e 187 $m \cdot min^{-1}$ (5, 6 e 7 mph) os jovens corredores de elite apresentam um consumo de O_2 menor que atletas pouco treinados ou sedentários.

Allor et al. (2000) estudaram as diferenças de economia na marcha ($80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$) e na corrida ($147 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$) de raparigas adolescentes ($n = 13$; idade = 13.3 ± 0.9 anos) e mulheres jovens ($n = 23$; idade = 21.0 ± 1.5 anos). Os valores antropométricos eram semelhantes nos dois grupos da amostra (altura = $158.7 \pm 2.9 \text{ cm}$; peso = $52.1 \pm 3.0 \text{ kg}$). Também os valores de VO_{2max} eram semelhantes, $47.7 \pm 5.2 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ para as adolescentes e $47.5 \pm 5.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ para as mulheres. O $VO_{2submax}$ era significativamente maior nas adolescentes ($P < 0.0002$) que nas mulheres, tanto na marcha (16.4 ± 1.7 vs. $14.4 \pm 1.1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) como na corrida (38.1 ± 3.7 contra $33.9 \pm 2.4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

Cureton et al. (1997), num estudo efectuado com 92 rapazes e 53 raparigas com idades compreendidas entre os 7 e os 17 anos, avaliaram os indicadores metabólicos (VO_{2peak} , a economia de corrida a $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ e a $\%VO_{2peak}$) responsáveis pela melhoria da *performance* na corrida e na marcha

sobre a distância de uma milha. O tempo gasto decrescia $0.52 \text{ min.ano}^{-1}$, a economia de corrida diminuía $1.0 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, $\%VO_2\text{peak}$ aumentava $1.5\%.\text{ano}^{-1}$ e não ocorria uma alteração significativa no $VO_2\text{peak}$.

Concluíram que nos jovens a relação idade-melhoria da *performance* na corrida e na marcha sobre uma milha é explicada pelo aumento da $\%VO_2\text{peak}$ e pela melhoria da economia de corrida, o que não implica qualquer mudança no $VO_2\text{peak}$.

Unnithan et al. (1996) devido ao aumento da tendência generalizada de crianças e jovens para a prática da corrida, quer pelo treino, quer pela competição, estudaram o seu impacto fisiológico em 33 rapazes que foram divididos em dois grupos: (1) os treinados ($n=15$; idade 11.7 ± 1.06 anos) e como grupo de controlo, (2) os não treinados ($n=18$; 11.3 ± 0.90 anos). Ambos efectuaram dois protocolos submáximos de $4 \times 3 \text{ min}$ e a todos foi determinado o $VO_2\text{max}$ sendo de $60.5 \pm 3.3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ para os treinados e de $51.1 \pm 4.3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, ($p < 0.001$) para o grupo de controlo. Não foram registadas, nos dois grupos, diferenças significativas ($p > 0.05$) nos indicadores cinemáticos determinados a intensidades submáximas nas duas velocidades utilizadas. O mesmo já não aconteceu ao nível dos indicadores fisiológicos, o que pode ser atribuído ao treino, a questões genéticas ou a diferente nível de maturação.

Unnithan et al. (1995) referem que em adultos os indicadores que melhor se associam ao sucesso na corrida de MFF são a economia de corrida (VO_2 a intensidade submáxima), $VO_2\text{peak}$, limiar ventilatório e $\%VO_2\text{peak}$. O primeiro objectivo foi determinar a correlação existente entre a marca aos 3000m e cada um destes parâmetros. 13 jovens atletas masculinos (11.7 ± 1.1 anos) efectuaram a distância em tapete rolante a 4 velocidades submaximais (8, 9.6, 11.2 and 12.8 km.h^{-1}), assim como um teste para determinar o $VO_2\text{peak}$. Apesar da heterogeneidade dos valores de $VO_2\text{peak}$ alcançados, foi encontrada uma elevada correlação ($p < 0.05$; $r = -0.83$) com as marcas nos 3000m. A $\%VO_2\text{peak}$ também apresentou uma elevada correlação com a marca nos 3000m, mas apenas em duas das velocidades submáximas (11.2 e 12.8 km.h^{-1}) ($r = 0.61$ e 0.67 , respectivamente; ($p < 0.05$).

Evans et al. (1995) partindo do princípio que a *performance* diminui com a idade, estudaram a hipótese desse decréscimo nas mulheres estar associado a uma redução do $VO_2\text{max}$, do limiar anaeróbio e da economia de corrida.

Assim sendo, avaliaram numa amostra de 31 corredoras muito bem treinadas, com idades compreendidas entre os 23 e os 56 anos e níveis de *performance* semelhantes (ajustados em relação à idade) a marca aos 10000m, o $VO_2\max$, o limiar anaeróbio e a economia de corrida. A *performance* sobre 10000m diminui com a idade ($r = -0.83$). A *performance* sobre 10000m e a idade estão correlacionadas com o $VO_2\max$ ($P < 0.05$) e com a velocidade de corrida e o consumo de O_2 correspondentes ao limiar anaeróbio, mas não com a economia de corrida. As corredoras foram divididas em três grupos: grupo I (23-35 anos), grupo II (37-47 anos) e grupo III (49-56 anos), constatando-se que a maioria da variabilidade na *performance* (60%) era explicada para os grupos I e II (23-47 anos) pela velocidade a que ocorria o limiar anaeróbio, enquanto o $VO_2\max$ (74%) explicava a maioria da variabilidade para corredoras do grupo III (37-56 anos). Concluíram que a diminuição do $VO_2\max$ e da velocidade correspondente ao limiar anaeróbio são os dois indicadores fisiológicos responsáveis pela degradação da *performance* nos 10000m, quando associados ao decréscimo da idade.

Pate et al. (1992) estudaram os potenciais efeitos fisiológicos, antropométricos e decorrentes do treino, determinantes da economia de corrida, num grupo heterogéneo de corredores de MFF ($n = 188$, 119 masculinos, 69 femininos). A economia de corrida foi medida como VO_2 ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$) a uma intensidade submáxima [$161 m.min^{-1}$ (6 mph)], tendo sido examinados como seus potenciais determinantes a FC, a ventilação correspondente a $161 m.min^{-1}$, $VO_2\max$ ($ml.kg^{-1}.min^{-1}$), a % gordura, a idade, o sexo, a altura, o peso, a massa das pernas estimada, o ritmo de treino típico, o volume de treino e o sit-and-reach test *performance*. O $VO_2\max$, a FC correspondente a $161 m.min^{-1}$, a ventilação correspondente a $161 m.min^{-1}$ apresentaram uma elevada correlação com VO_2 correspondente a $161 m.min^{-1}$ ($P < 0.001$). Por sua vez, o VO_2 correspondente a $161 m.min^{-1}$ também foi correlacionado positivamente com o $VO_2\max$, a FC correspondente a à mesma velocidade e a idade ($P < 0.05$), mas negativamente correlacionado com o peso ($P < 0.01$). As conclusões revelam que a economia de corrida correspondente a $161 m.min^{-1}$ pode ser associada a um valor baixo de $VO_2\max$, FC e ventilação decorrentes de um exercício de intensidade submaximal baixa, idade baixa, e grande peso corporal.

Krahenbuhl e Williams (1992) sugerem que as crianças são menos económicos que os adultos, uma vez que (a) em repouso apresentam níveis metabólicos mais elevados, (b) equivalentes ventilatórios mais elevados para o oxigénio, (c) amplitudes e frequências de passada desequilibradas. Os mesmos autores referem ainda que a prática sistemática da corrida potencia a sua economia e que esta evolui naturalmente em crianças e adolescentes mesmo na ausência do treino formal. Referem ainda que num grupo heterogéneo de sujeitos da mesma idade, a economia de corrida não apresenta uma elevada correlação com a *performance*.

Krahenbuhl et al. (1989) mencionam que estudos longitudinais anteriormente efectuados com adolescentes treinados, do sexo masculino, mostraram que o $VO_2\text{max}$, quando expresso em termos absolutos, e a *performance* nas corridas de meio-fundo e fundo, melhoram com a idade, enquanto o $VO_2\text{max}$, quando expresso em termos relativos, permanece estável. Nas amostras, que continham sujeitos treinados, não era possível discriminar a importância relativa do treino ou da idade na evolução da *performance*. Neste estudo propuseram-se quantificar as alterações no $VO_2\text{max}$, na EC e na *performance* em seis adolescentes não treinados que foram avaliados aos 9.9 anos (T1) e aos 16.8 anos (T2). Nos 7 anos que decorreram o $VO_2\text{max}$ permaneceu inalterável (T1, 48.9 ml.kg⁻¹.min⁻¹; T2, 47.8 ml.kg⁻¹.min⁻¹), a EC aumentou (T1, 234.2; T2, 202.8 ml.kg⁻¹.min⁻¹) a *performance* (distância percorrida em 9 min) também aumentou (T1, 1637 m; T2, 2115 m), e a % $VO_2\text{max}$ a que cada grupo correu foi 85.8% (T1) e 99.5% (T2). Estes investigadores concluíram que a melhoria da *performance* não dependia do treino e como o $VO_2\text{max}$ permaneceu estável a causa da sua evolução foi atribuída à melhoria da EC.

McCormack et al. (1991) estudaram a importância relativa de alguns indicadores metabólicos ($VO_2\text{max}$, EC (VO_2 ml.kg⁻¹.min⁻¹ at 8.05 km.h⁻¹ e % $VO_2\text{max}$) utilizados numa milha efectuada em corrida e marcha. 59 crianças (33 rapazes e 26 raparigas) com idades compreendida entre os 6 e os 14 anos foram divididas em 3 grupos: grupo 1 (n=27; 6-8 anos), grupo 2 (n=17; 9-11 anos) e grupo 3 (n=15; 12-14 anos). As correlações entre a *performance* obtida nas milhas em corrida e marcha e o $VO_2\text{max}$, EC e a % $VO_2\text{max}$, foram os seguintes: grupo 1: -0.26, 0.03 e -0.82; grupo 2; -0.43, 0.09 e -0.88; grupo 3,

-0.60, 0.45 e -0.80. A análise por regressão múltipla indica que a combinação das 3 medidas metabólicas eram responsáveis respectivamente por 90%, 97% e 90% da variação da *performance* nas milhas em corrida e marcha, nos 3 grupos de idades respectivamente. Os coeficientes de regressão standardizados para o $VO_2\text{max}$, a EC e a $\%VO_2\text{max}$ indicam para o grupo 1 (-0.66, 0.19 e -0.83), grupo 2 (-0.45, 0.33 e -0.92) e o grupo 3 (-0.76, 0.27 e -0.50) indicam que a $\%VO_2\text{max}$ utilizada pela média da velocidade na corrida e marcha de uma milha era o indicador mais importante na variação da *performance*, nas crianças dos grupos 1 e 2 (6-11 anos) e que o $VO_2\text{max}$ era o mais importante para as crianças do grupo 3 (12-14 anos). Concluíram que os indicadores metabólicos na corrida e na marcha de uma milha se alteram com a idade.

Rowland et al. (1987) investigaram as diferenças decorrentes da idade em indicadores fisiológicos avaliados em testes máximos e submáximos no TR, comparando 20 rapazes de idades compreendidas entre 9-13 anos com adultos masculinos sedentários de idades compreendidas entre 23 e 33 anos. O $VO_2\text{max}$ era de $57.9 \pm 6.9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ nos rapazes e de $48.3 \pm 4.9 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ nos adultos. A EC foi avaliada no tapete rolante a uma velocidade de $9.6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ e era menor nos rapazes quando o VO_2 era expresso em $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$.

Rowland e Green (1988) efectuaram um estudo semelhante com sujeitos do sexo feminino 18 raparigas prémenarcais e 18 mulheres adultas com uma idade média de 28.7 anos em que as raparigas apresentaram um consumo de oxigénio ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) mais elevado que as mulheres adultas, a todas as velocidades submaximais utilizadas no tapete rolante. Estas diferenças desapareciam quando era considerada a área da superfície corporal (body surface area). Concluíram que as respostas fisiológicas à corrida de intensidade submaximal são as mesmas que as observadas com crianças e adultos do sexo masculino.

De acordo com Thorstensson (1986) o custo aeróbio da corrida a intensidades submáximas de 8, 10 e $11 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (2.2 , 2.8 e $3.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) no tapete rolante, entre adultos masculinos de idades compreendidas entre 29 e 37 anos e rapazes de 10 anos. O $VO_2\text{net}$ ($VO_2\text{ gross} - VO_2\text{ rest}$) diminuía com o aumento da carga, sendo esta diminuição maior para os rapazes. O autor colocou como causa hipotética a diferença na utilização na energia elástica do músculo que juntamente com a idade e a carga, eram responsáveis pelas diferenças na EC.

Allen et al. (1985) comparam oito atletas veteranos (56 ± 5 anos), que quando novos eram de elite, com jovens atletas (25 ± 3 anos) não de elite. Os atletas veteranos que possuíam actualmente *performances* idênticas aos 10000m possuíam um $VO_2\max$ 9% inferior ao dos jovens atletas ($p < 0.05$). A EC era idêntica nos dois grupos, mas os veteranos a uma intensidade correspondente a 2.5 mmol.l^{-1} de lactato, atingiam uma percentagem mais elevada do $VO_2\max$ ($p < 0.05$). Ambos os grupos atingiram, à mesma velocidade, lactatemias e VO_2 idênticos. Os veteranos apesar de possuírem $VO_2\max$ inferiores eram capazes de *performances* idênticas às dos atletas mais novos.

Rowland (1990) considera os seguintes factores como responsáveis pela baixa economia de corrida das crianças, que se alteram com o crescimento: (1) frequência da passada; (2) atitude mecânica (gait mechanics); (3) reserva da energia elástica musculotendinosa (musculotendinous elastic energy storage); (4) rácio entre a massa corporal e a área corporal; (5) mudanças na composição corporal; (6) respostas térmicas ao exercício; (7) utilização dos substractos; (8) capacidade anaeróbia; (9) eficiência ventilatória.

Wilmore e Costill (1994) consideram que de todos estes factores, apenas a frequência da passada tem sido considerada importante com base nos estudos científicos realizados.

Bourdin et al. (1993) estudam a influência da idade, sexo, massa corporal e treino pela corrida no custo energético da corrida (Cr) em jovens basquetebolistas [(38 rapazes (BM) e 14 raparigas (BF), com uma idade de $14.2 (\pm 0.3)$ e $12.2 (\pm 1.9)$ anos, respectivamente] comparando-os com corredores de meio-fundo e fundo [27 homens (CM) e 14 mulheres (CF) com $23.7 (\pm 3.4)$ e $23.9 (\pm 4.1)$ anos, respectivamente]. O Cr foi medido num teste efectuado no tapete rolante, existindo uma correlação negativa e significativa entre Cr, massa corporal e altura. Uma regressão mostrou que, entre as dimensões corporais, era a massa corporal que determinava maiores variações no custo energético. No conjunto de todos os elementos da amostra ($n = 93$) o coeficiente de correlação era de 0.72 ($P < 0.0001$). Para uma determinada massa corporal não existia diferença significativa no Cr entre BM, BF e CM, o que suporta a hipótese de as diferenças no Cr normalmente atribuídas à idade, nível de treino e sexo devem ser preferencialmente atribuídas à massa corporal.

Um estudo efectuado por Bunc e Heller (1994), tem como objectivo determinar no tapete rolante, o Cr e o $VO_2\text{max}$ em grupos de jovens e adultos com diferentes níveis de treino. O $VO_2\text{max}$ era nos adultos mais elevado que nos jovens atletas. Estas diferenças eram significativas ($p < 0.05$) nos corredores de fundo ($n = 12$, idade = 24.2 ± 2.2 contra 17.3 ± 0.9 anos, $VO_2\text{max} = 66.9 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1} \pm 4.2$ contra $58.2 \pm 4.3 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) e de meio-fundo ($n = 10$, idade = 22.9 ± 2.8 contra $n = 16$, idade = 16.6 ± 0.8 , $VO_2 \text{ max} = 62.3 \pm 3.7$ contra $56.1 \pm 2.8 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$); em canoístas esta diferença não era significativa ($n = 7$, idade = 21.1 ± 2.1 contra 16.0 ± 2.3 contra $n = 8$, $VO_2 \text{ max} = 48.2 \pm 2.6$). Os valores do custo energético da corrida, que indicavam qual a energia requerida para transferir 1kg de massa corporal por metro, era menor em adultos. Estas diferenças eram significativas ($p < 0.05$) apenas em corredores de fundo (3.69 ± 0.15 vs $3.84 \pm 0.14 \text{ J.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$). Nos meio-fundistas (3.67 ± 0.19 vs 3.76 ± 0.18), e nos canoístas (3.84 ± 0.14 contra 3.86 ± 0.18) estas diferenças não eram significativas. Conclui-se que as diferenças no custo energético da corrida entre mulheres adultas treinadas e jovens atletas do sexo feminino estão provavelmente associadas a diferenças de adaptação à corrida e à técnica do movimento. As diferenças na *performance* desportiva entre as mulheres adultas e as mais novas estão assim associadas a diferenças no $VO_2\text{max}$ e no Cr.

Walker et al. (1999) desenvolveram e validaram equações capazes de prever o VO_2 ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) e o custo calórico ($\text{kcal.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) observado em adolescentes na marcha e na corrida em tapete rolante. Numa amostra de 47 rapazes e 35 raparigas com idades compreendidas entre os 12 e os 18 anos, cada sujeito efectuou uma corrida a intensidade submaximal para determinar o VO_2 correspondente às velocidades de 67 e 215 $\text{m}.\text{min}^{-1}$, para a marcha e a corrida respectivamente. Foi observada uma relação linear entre a velocidade da corrida e o custo energético.

DeJaeger et al. (2001) estudam os efeitos da idade e da velocidade no custo energético da marcha durante período de crescimento partindo da probabilidade que as alterações do tamanho corporal, da morfologia e da aptidão motora assim os determinam. O VO_2 e o CO_2 produzido foram avaliados em crianças no período que decorreu entre os 3 e os 12 anos e também em adultos a velocidades que iam dos 0.5 m.s^{-1} até à velocidade aeróbia máxima

na marcha. O custo energético diminuía entre os 3 e os 4 anos de $5.9 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ para $3.6 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ 10 anos mais tarde.

2.2.1.2.6.2. Sexo

Glance et al. (1998) examinaram entre outras as mudanças na EC após 2 h de corrida em 8 homens e 8 mulheres. Foi determinado o VO_2peak e o consumo de O_2 correspondente ao limiar ventilatório. Os sujeitos correram durante duas horas a uma intensidade que elegia o limiar ventilatório (68.7% contra 66.6% do VO_2peak para homens e mulheres, $p = 0.5$). O consumo de O_2 foi avaliado ao fim de uma hora e de duas horas de corrida. A EC decresceu nos homens ($p < 0.001$) e não nas mulheres ($p = 0.084$). Concluíram que 2 horas de corrida produzem mudanças na EC, mas só nos homens.

Sparling e Cureton (1983) estudaram as diferenças entre homens e mulheres em diferentes parâmetros entre os quais a EC (VO_2 em $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg BW}^{-1}$ a $188 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$) numa corrida de 12 minutos numa amostra de homens ($n=34$) e mulheres ($n=34$) atletas de manutenção com idades compreendidas entre 19 e 35 anos. Os homens diferiam significativamente ($p < 0.05$) das mulheres quanto ao VO_2max (68.6 contra $65.1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), percentagem de massa gorda (10.8 contra 19.8%), e na *performance* dos 12 min (3294 contra 2747 m), mas não na EC (39.0 contra $39.1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$).

Davies e Dalsky (1997) compararam a economia da mobilidade entre homens e mulheres idosos e sedentários. A amostra era constituída por 47 homens (idade = 71 ± 4 anos; peso = 83 ± 8 kg; altura = 175 ± 7 cm) e 51 mulheres (idade = 70 ± 3 anos; peso = 65 ± 8 kg; altura = 161 ± 5 cm). O VO_2max foi determinado no TR num teste até à exaustão, apresentando os homens valores relativos e absolutos maiores. Também a velocidade a que caminharam foi maior nos homens (92 ± 8 contra $86 \pm 7 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$). A economia da mobilidade (custo energético) registada foi a mesma para homens e mulheres ($0.17 \pm 0.02 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$).

Ariens et al. (1997) analisaram o desenvolvimento longitudinal da EC (VO_2 submaximo), no TR (velocidade constante de $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ durante 6 min em três patamares com as inclinações de 0%, 2.5% e 5%) em 84 rapazes e 98 raparigas nas idades de 13, 14, 15, 16, 21 e 27 anos, tendo observado uma diferença que aumentava com a idade entre rapazes e raparigas.

Billat et al. (1996) numa amostra de atletas de elite de meio-fundo, 14 mulheres e 15 homens (25.2 ± 3.6 e 25.1 ± 4.2 anos; $VO_2\text{max} = 63.2 \pm 4.2$ e 77.7 ± 6.4 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente) de níveis de *performance* semelhantes considerando as tabelas de pontuação da Federação Internacional de Atletismo Amador (IAAF), efectuaram vários testes no TR entre os quais um para determinação da EC (VO_2 a $14 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), tendo verificado não existir qualquer diferença entre sexos (53.4 ± 2.6 contra 52.7 ± 4.1 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$; $p = 0.64$).

Speechly et al. (1996) investigaram a *performance* e o comportamento de alguns indicadores fisiológicos ($VO_2\text{max}$, EC, acumulação de lactato), sobre várias distâncias (10 km, 21.1 km, 42.2 km e 90 km), numa amostra de maratonistas femininos ($N = 10$) e masculinos ($N = 10$). Apesar da *performance* na maratona ser idêntica para homens e mulheres (194.8 ± 12.9 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ contra 192.6 ± 16.3 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$) era melhor nos 90 km para as mulheres (171.0 ± 11.7 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ contra 155.2 ± 14.7 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$). As mulheres sustentavam uma $\%VO_2\text{max}$ (F) mais elevada ($P < 0.01$) ($73.4 \pm 5.5\%$ contra $66.3 \pm 3.7\%$ para os 42.2 km e $59.8 \pm 6.2\%$ contra $50.2 \pm 3.1\%$ para os 90 km). Nas mulheres a diminuição da $\%VO_2\text{max}$, sustentada durante a competição era significativamente menor ($P < 0.05$) à medida que a distância da competição aumentava. A melhor *performance* nas mulheres nos 90 km não estava relacionada com uma maior capacidade máxima aeróbia, EC, nível de treino ou metabolismo dos ácidos gordos.

Helgerud (1994) estudou as diferenças entre homens e mulheres quanto à EC (Cr), e outros indicadores fisiológicos, numa amostra constituída por maratonistas femininos ($n=6$) e masculinos ($n=6$) de idades compreendidas entre os 20 e os 30 anos com *performances* idênticas (2h 40 min). Para isso, no TR cada atleta efectuou um teste de 11 minutos de duração com 3 tipos de inclinação. O $VO_2\text{max}$ era cerca de 10% superior nos homens ($23 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-0.75}\cdot\text{min}^{-1}$), mas as mulheres apresentaram uma melhor economia de corrida, uma vez que o seu custo energético quando avaliado à mesma velocidade era inferior ao dos homens em média $10\text{-}12 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-0.75}\cdot\text{min}^{-1}$.

Daniels e Daniels (1992) estudaram a economia de corrida numa amostra de 20 mulheres e 45 homens, todos atletas de meio fundo e fundo, que se preparavam para as provas de selecção para os jogos olímpicos, dos

quais 8 mulheres e 12 homens foram apurados para representar os Estados Unidos da América e destes, cinco foram medalhados. Cada sujeito efectuou várias corridas no TR para determinação do $VO_2\text{max}$ e do VO_2 a intensidades submáximas. Apesar dos homens possuírem um melhor $VO_2\text{max}$, quando comparados com as mulheres quanto à EC ($VO_2\text{submax}$ expresso em $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ determinada à mesma velocidade), os homens consumiam menos O_2 ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) mas se o VO_2 fosse expresso em $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ e determinado à mesma $\%VO_2\text{max}$, não existia qualquer diferença entre ambos.

Helgerud et al. (1990) estudaram em maratonistas a possível diferença entre sexos da EC numa amostra de mulheres ($n=6$; $42195\text{m}=201.8\pm 1.8$ min) e homens ($n=6$; $42195\text{m}=199.4\pm 2.3$ min) com idades compreendidas entre os 20 e os 30 anos e um $VO_2\text{max}$ próximo (cerca de $60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), tendo concluído que a EC nas mulheres era mais baixa, uma vez que à mesma velocidade o consumo das mulheres era mais elevado, apesar das mulheres treinarem mais nos dois meses que antecederam a maratona, cerca do dobro por semana que os homens (60 e 33 km respectivamente)

Sparling e Cureton (1983) estudaram numa amostra de corredores de manutenção, mulheres ($n=34$) e homens ($n=34$) com idades compreendidas entre 19 e 35 anos, alguns indicadores fisiológicos entre os quais a EC (VO_2 em $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ determinados a $188 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$). Os homens diferiam das mulheres quanto ao $VO_2\text{max}$ (68.6 contra $65.1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), mas não quanto à EC (39.0 contra $39.1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$).

2.2.1.2.6.3. Calçado

Frederick (1986) refere que as características particulares do sapato de corrida permitem uma adaptação cinemática com consequências secundárias na cinética do movimento, assim como, na possibilidade do desenvolvimento de lesões de sobrecarga e na *performance*. O design do sistema de amortecimento altera os padrões electromiográficos, a flexão do joelho na passada e indirectamente a economia de corrida.

Burkett et al. (1985) efectuaram um estudo com 21 atletas masculinos de meio-fundo e fundo que correram no tapete rolante descalços, calçados e calçados com carga adicional nos sapatos, durante 1 minuto a $161 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, 2

minutos a $180 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ e 4 min a $201 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. O custo em O_2 diminuiu de forma significativa entre os atletas descalços e os calçados sem carga adicional.

Frederick et al. (1983) num trabalho efectuado no Nike Sport Research Laboratory mostrou que a utilização da sola Nike Air, que contempla uma camada intermédia de ar na sola do sapato reduzia, a uma velocidade de $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, o custo em O_2 de 1.6 a 2.8%.

Em síntese é possível referir o seguinte:

1. Existem dois conceitos de economia de corrida (EC). O primeiro define-a como uma exigência aeróbia específica da corrida, a partir da relação velocidade-consumo de oxigénio. Um atleta será tanto mais económico quanto mais baixo for o valor de VO_2 correspondente a uma determinada velocidade de corrida, ficando em vantagem em relação a um adversário que para correr em equilíbrio terá que adoptar uma velocidade inferior para uma idêntica utilização fraccional do VO_2max . Por exemplo, se à mesma velocidade, o atleta A possui um $\text{VO}_2\text{submaximo}$ de $50 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ e um atleta B $55 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ podemos dizer que A é mais económico que B. No entanto, sabemos que a uma determinada velocidade submáxima o consumo de oxigénio, expresso em $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, apresenta uma grande variabilidade interindividual, principalmente entre indivíduos com um nível de *performance* homogéneo. Existe uma variabilidade de 20% na EC em maratonistas com o mesmo nível de *performance*, mas por outro lado, não existem diferenças significativas na EC entre atletas de elite especialistas de diferentes distâncias, ou com um nível de *performance* heterogéneo. Assim, existem duas categorias de atletas com base nestes indicadores fisiológicos: (1) os que apresentam uma boa economia de corrida e um baixo VO_2max e (2) os que têm um elevado VO_2max e uma reduzida economia de corrida. Voltando ao exemplo dos nossos atletas A e B que possuem respectivamente a $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ um $\text{VO}_2\text{submaximo}$ de 50 e $55 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ e de VO_2max de 70 e $82 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, respectivamente. Se com o treino o atleta A, reduzir o seu $\text{VO}_2\text{submaximo}$ para $48 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ podemos afirmar que melhorou a sua economia de corrida. No entanto, considerando os valores de VO_2max de ambos, observamos que A corre ainda a $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, a uma intensidade correspondente a $68.6\%\text{VO}_2\text{max}$ e o atleta B a $67.1\%\text{VO}_2\text{max}$. Partindo do princípio que ambos possuem um nível de *performance* idêntico, podemos afirmar que o corredor mais económico é aquele que consegue correr

a uma percentagem mais elevada do seu VO_2max . Assim, as diferenças individuais da economia da corrida podem ser identificadas pela percentagem de VO_2max correspondente a uma determinada velocidade submáxima o que é comprovado pela elevada correlação normalmente encontrada entre a $\% \text{VO}_2\text{max}$ correspondente a $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ e a *performance* num grupo heterogéneo de maratonistas.

Na parte experimental do nosso estudo testamos um grupo heterogéneo de maratonistas ($n=78$) a quem foi avaliada, no tapete rolante o VO_2max e a EC (VO_2) a quatro velocidades submáximas, de acordo com o nível condicional de cada um. Para os atletas de elite utilizamos as seguintes velocidades: 290, 310, 330 e 350 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ e para os atletas de menor nível 228, 248, 268 e 290 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. Desta forma, podemos verificar que o patamar que contém a velocidade de 290 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ está presente em todos os grupos o que permite determinar e comparar o VO_2 submáximo a esta velocidade entre todos os elementos da amostra.

Ao segundo conceito de economia de corrida podemos chamar custo energético da corrida (C_r), designação distinta da primeira não só por ambos se expressarem em unidades de medida diferentes, mas também porque o primeiro caracteriza o perfil aeróbio de um sujeito e o segundo o perfil bioenergético. O custo energético da corrida é definido como a energia necessária para transportar o corpo de um sujeito por unidade de distância, expressa-se em $\text{ml de O}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ e assume importância determinante nas competições com duração superior a 2 horas (maratona, triatlo, etc).

A quantidade de energia dispendida durante a corrida depende da distância a percorrer, da massa corporal do sujeito, da velocidade da corrida e da eficácia da passada. De facto, um maratonista dispende mais energia que um corredor de 5000 metros. Também um atleta com 75 kg de peso tem um custo energético por km de corrida superior que outro com 40 kg. Por outro lado o dispêndio energético é menor para velocidades de corrida entre 190 e 240 m/min e aumenta com velocidades mais baixas e mais elevadas. Finalmente a determinada velocidade e massa corporal, o gasto energético variará de acordo com a eficácia da passada. Por exemplo, num maratonista quanto maior for a oscilação vertical do centro de massa, maior será o dispêndio energético.

Para o cálculo do custo energético da corrida, a uma velocidade constante, como é por exemplo uma corrida da maratona, podemos utilizar a fórmula (equação 16) de di Prampero et al. (1986),

$$v_{END} = F \cdot VO_{2max} / Cr \quad (16)$$

onde v_{END} é a máxima velocidade sustentável durante toda a corrida, no nosso estudo será a velocidade da maratona ($v_{maratona}$) e F a fracção de VO_{2max} ($\%VO_{2max}$) que pode ser mantida através da duração do esforço em questão. O custo energético da corrida (Cr) foi calculado a partir do rácio do VO_2 *steady-state* ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) dividido pela velocidade em $m \cdot min^{-1}$ [$Cr = \%VO_2 (ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}) / v_{maratona} (m \cdot min^{-1})$]. Mas passemos a um exemplo prático. A economia de corrida pode ser determinada da seguinte forma, tomando como exemplo um maratonista de elite. Conhecendo os quatro valores de VO_2 determinados no tapete rolante para as 4 velocidades submáximas utilizadas, (290, 310, 330 e 350 $m \cdot min^{-1}$) vamos encontrar uma equação de regressão como a seguinte, em que os valores de VO_2 estão no eixo dos y e os valores das velocidades no eixo dos x [$y = 0.353x - 41.491$]. Uma vez que conhecemos a velocidade utilizada na maratona ($v_{maratona}$) que será o valor de x , podemos determinar o VO_2 correspondente (valor de y) e a partir daí estimar o seu custo energético ($y = 0.353 \cdot 295.42 - 41.491 = 62.792$). O valor de VO_2 encontrado coorespondente à velocidade da maratona é de $62.792 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Para estimarmos o Cr vamos dividir o valor de VO_2 ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) pela velocidade da maratona ($m \cdot min^{-1}$) [$Cr = VO_2 (ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}) / v (m \cdot min^{-1})$], i.e., $62.792 (ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}) / 295.42 (m \cdot min^{-1}) = 0.2126 (ml \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}) = 212.6 (ml \cdot kg^{-1} \cdot km^{-1})$. Podemos assim calcular o dispêndio energético do atleta ao longo dos 42.195 metros, sabendo que cada ml de O_2 corresponde a um gasto de 5 kcal o equivalente a 20.9 Joules. Se o nosso maratonista possuir um consumo máximo de oxigénio de $75 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ também podemos concluir que correu a maratona $83.7\%VO_{2max}$. Apesar de possuirmos o valor da v_4 (velocidade correspondente a uma lactatemia de $4 \text{ mmol} \cdot l^{-1}$) de todos os elementos da amostra optamos por conhecer o custo energético correspondente à velocidade da maratona, uma vez que esta é o objecto central do nosso estudo. Também o podemos calcular em relação à velocidade de $290 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, para a qual já

de VO_2 determinado directamente, uma vez que, como já refferimos, foi uma das velocidades utilizadas de forma comum entre todos os atletas constituintes da amostra nos patamares para determinação directa do VO_{2max} .

2. Os factores que interferem na EC podem ser, entre outros, fisiológicos, antropométricos, biomecânicos, ambientais e resultantes do treino. A importância de cada um é relativa, encerra alguma controvérsia e em muito poucos é possível exercer algum tipo de controlo. Entre estes, os psicológicos, os biomecânicos e os do treino são responsáveis pela grande variabilidade interindividual entre atletas com *performances* desportivas semelhantes. Entre os biomecânicos, a amplitude e frequência da passada provocam uma maior ou menor oscilação vertical do centro de massa o que implica um dispêndio energético maior. Normalmente a correlação entre a oscilação vertical do centro de massa e o VO_2 submáximo é baixa, apesar de existirem excepções, indivíduos com uma corrida económica apesar de uma elevada oscilação vertical do centro de massa. No entanto podemos afirmar que entre os corredores de MFF os que possuem menor oscilação vertical do centro de massa são os que possuem uma melhor *performance*. Quanto à sua treinabilidade, i.e., o impacto do treino na EC, ainda encerra alguma controvérsia entre a comunidade científica. No entanto o treino de força explosiva, quer utilizando meios naturais de treino (multisaltos, escadas, exercícios técnicos de corrida, etc.) ou uma carga externa podem provocar uma melhoria substancial quando associados à corrida pelo método dos intervalos a uma intensidade que oscila entre a v_4 e a vVO_{2max} . No entanto, a escassez de estudos efectuados com atletas de elite, quando superada poderá contribuir para o esclarecimento da importância do treino na EC.

2.3. O limiar anaeróbio

2.3.1. Definição

Como referido anteriormente, o VO_{2max} pode ser utilizado como medida critério na calibração da carga do treino (Saltin e Åstrand, 1967; Shepard et al., 1968; Åstrand e Rodahl, 1977; Conley e Krahebuhl, 1980; Daniels, 1985; Williams e Cavanagh, 1987; Morgan et al., 1989b; Noakes, 1991), sendo a intensidade prescrita sob a forma de $\%VO_{2max}$, o que lhe conferia um valor preditivo elevado para as corridas de longa duração.

No entanto, investigações mais recentes (Heck et al., 1985; Mader, 1991; Morgan e Craib, 1992; Daniels, 1992; Billat, 1996; Hauswirth et. al., 1997; Bodner e Rhodes, 2000) consideram os parâmetros avaliados a uma intensidade submáxima, como a economia de corrida e as concentrações de lactato sanguíneo, como indicadores com um nível preditivo superior, sugerindo a sua utilização privilegiada na prescrição da carga no treino e na predição da *performance* (Billat, 1991; Davis, 1995; Brooks et al., 1996).

Fletcher e Hopkins (1907) foram pioneiros a demonstrar a formação de lactato no músculo, mas o primeiro investigador a descrever uma relação entre o lactato e a potência no exercício foi Jervell (1929), enquanto Owles (1930) foi o primeiro a registar um ponto crítico de rotura metabólica, entre a produção de lactato e a intensidade do exercício. No entanto, foi Hollmann (1961) o primeiro a introduzir o conceito de ponto de rotura ventilatório, quando num teste incremental no cicloergómetro, constatou que existia um ponto (*point of optimal ventilatory efficiency*) em que a ventilação pulmonar aumentava e o consumo de oxigénio estabilizava. A este ponto de rotura ventilatório de Holmann, foi associado um limiar metabólico de acumulação de lactato, designado, inicialmente, por Wassermann e McIlroy (1964) como limiar anaeróbio e definido como sendo o valor mais elevado do VO_2 , a partir do qual ocorre um aumento sistemático na acumulação sanguínea deste catabolito.

Jacobs (1986) afirma que, num exercício incremental, a acumulação do lactato sanguíneo é função linear da potência desenvolvida e do consumo de oxigénio, podendo acontecer que uma carga promova um aumento não linear deste metabolito, provocando um aumento abrupto da sua concentração muscular e sanguínea. Este ponto de rotura, a partir do qual a lactatemia deixa de estar estável, pode designar-se de limiar anaeróbio.

Bishop et al. (1992) referem que existe um incremento progressivo na produção de lactato que é paralelo, até determinado nível, ao aumento de intensidade do exercício em que o processo de remoção garante uma lactatemia estabilizada. Ultrapassando determinada intensidade crítica, os mecanismos de eliminação são insuficientes, ocorrendo um aumento progressivo das concentrações musculares e plasmáticas deste metabolito.

Billat (1996) define limiar anaeróbio como a intensidade do exercício, velocidade ou fracção do VO_{2max} , correspondente a um nível de lactato

sanguíneo determinado ou a um equilíbrio máximo de lactato (*maximal lactate steady-state* ou MaxLass).

A determinação do limiar anaeróbio, a partir das concentrações sanguíneas de lactato, envolvem uma grande variedade de métodos de determinação, designações e conceitos como o limiar láctico (Ivy et al., 1980; Hagberg et Coyle, 1983; Aunola e Rusko, 1984; Beaver et al., 1985), limiar anaeróbio (MacDougall et al., 1977; Kindermann et al., 1979), limiar aeróbio-anaeróbio (Mader et al., 1976; Mader e Heck, 1986), limiar aeróbio (Keul et al., 1978; Kinderman, 1978), limiar anaeróbio individual (Keul et al., 1979; Stegmann e Kinderman, 1981; Simon et al., 1981; Bunc et al., 1982), estágio de equilíbrio máximo de lactato (Heck et al., 1985; Chassain, 1986; Billat et al., 1994c), início da acumulação de lactato no sangue (Sjodin e Jacobs, 1981), ponto de rotura de lactato (Pessenhofer et al., 1981; Davis et al., 1983), início da acumulação plasmática de lactato (Farrel et al., 1979).

Yoshida (1984) Mader (1991) e Billat et al. (1994) referem que o tipo de incremento da carga por patamar e a sua duração são determinantes no resultado final, o que vem pôr em causa a resposta láctica ao exercício de uma grande parte dos protocolos supra-citados para determinação do limiar anaeróbio. Para solucionar este problema, um conjunto de investigadores alemães (Heck et al., 1985) efectuaram um trabalho de pesquisa, com o objectivo de determinar a carga constante de longa duração mais elevada, que proporcionava uma lactatemia estabilizada, tendo encontrado o valor médio de 4 mmol.l⁻¹, como correspondente ao equilíbrio máximo de lactato (MaxLass).

Resumindo, o lactato acumula-se quando a taxa de aparecimento é superior à taxa de remoção e, neste estudo, vamos adoptar o termo limiar anaeróbio para designar este ponto de ruptura, ponto este que correspondende à velocidade da corrida que induz uma concentração de lactato de 4 mmol.l⁻¹ (Heck et al., 1985; Mader 1991).

2.3.2. Métodos de determinação

Na última metade do século passado, um grande número de fisiologistas, debruçaram-se sobre o conceito de limiar anaeróbio, tendo surgido uma enorme variedade de designações decorrentes dos métodos de avaliação directa (invasivos), com recurso à análise sanguínea do lactato, ou

indirecta (não invasiva), através da análise das alterações nas trocas gasosas e na frequência cardíaca.

2.3.2.1. Métodos indirectos (não invasivos)

O elevado nível preditivo do VO_2 max relativamente à *performance* (Saltin e Åstrand, 1967; Shepard et al., 1968; Åstrand e Rodahl, 1977) induziu a curiosidade em conhecer a que intensidade submáxima estaria associada o sucesso nas corridas de longa duração. Assim, surgiu o conceito de limiar anaeróbio, definido como o VO_2 , acima do qual a acumulação de lactato causa acidose metabólica e/ou uma rápida depleção do glicogénio muscular, com uma consequente redução da *performance* (Davis et al., 1979). Vários métodos (ventilatórios e cardíacos) foram utilizados ao longo dos tempos para a sua detecção não invasiva, contribuindo para a sua afirmação como um dos principais factores limitativos da *performance* em esforços de média e longa duração.

Wasserman e McIlroy (1964) partiram do pressuposto que a acidose metabólica podia ser detectada, a partir das trocas gasosas pulmonares. Hoje em dia, com o desenvolvimento dos oxímetros e a ajuda dos computadores, para o cálculo imediato, podemos detectar de forma precisa e imediata o limiar anaeróbio ventilatório, isto é, o valor do VO_2 a que ocorre o Lan, num teste com incrementos progressivos de carga.

De acordo com Yoshida (1984) a detecção do limiar anaeróbio, pelos métodos de troca gasosa, depende da escolha do protocolo, salientando que a duração dos patamares tem um papel relevante no resultado final.

McLellan (1987) evidencia que, na utilização dos métodos ventilatórios, o protocolo utilizado determina o resultado final, uma vez que num exercício com incrementos rápidos de intensidade (20 a 30 W.min⁻¹) as modificações na troca de gases, para determinação do limiar ventilatório, são diferentes das que se podem observar quando se utilizam patamares mais longos (20 a 30 W cada 3 ou 4 min).

Um estudo apresentado por Santos (1991) sugere que um protocolo, em que o incremento da carga funcional seja efectuado muito lentamente (incrementos inferiores a 0.4 m.s⁻¹), resulta num aumento demasiado pequeno das lactatemias, não produzindo um aumento detectável no CO_2 resultante dos

mecanismos de tamponamento do ácido láctico, relativamente ao CO_2 , produzido aeróbiamente.

Existem vários métodos de determinação do limiar anaeróbio ventilatório como: (1) o *V-slope* (Beaver et al., 1986; Sue 1988), (2) o método dos equivalentes ventilatórios (Wasserman et al., 1990), (3) o método do aumento não linear da V_e (Wasserman et al., 1990) e (4) o método do aumento não linear do QR (Davis et al., 1976; Caiozzo et al., 1982; Reybrouck et al., 1982)

Beaver et al. (1986) conceberam o método *V-slope* para a detecção não invasiva do limiar anaeróbio ventilatório que foi aperfeiçoado e simplificado por Sue (1988) e consiste no registo do VCO_2 no eixo do Y e do VO_2 no eixo do X. As escalas têm de ser idênticas em ambos os eixos e o diagrama de dispersão quadrado. Uma linha com 45° , passando pela origem do diagrama, de modo a definir o ponto de inflexão que corresponde ao limiar anaeróbio

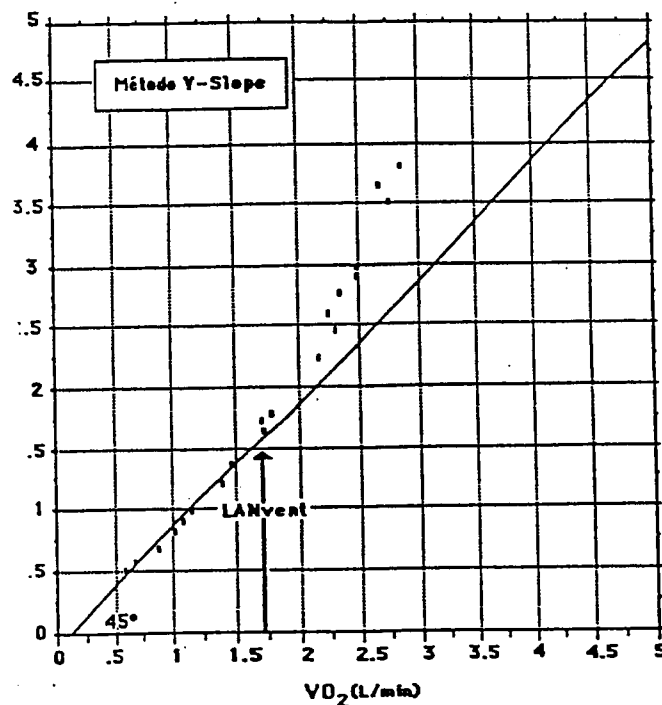


Figura 4 - Diagrama de dispersão com representação do Lan vent de acordo com o método v-Slope

ventilatório. Esta inclinação corresponde a um quociente respiratório igual a 1 ($QR = VCO_2 / VO_2 = 1$). O limiar anaeróbio ventilatório pode ser determinado (fig 4), deslocando um esquadro sobre o eixo do X e traçando uma linha paralela à anterior, ajustada aos pontos de dispersão que apresentam um declive inferior a 1. No momento em que os pontos de diagrama se afastam desta linha, é traçada uma linha perpendicular ao eixo do VO_2 , correspondendo o valor encontrado ao limiar anaeróbio ventilatório (Santos, 1991).

Hartmann (1991) sumariza que existem no mercado oxímetros que, utilizando o algoritmo concebido por Dickstein et al. (1990), permitem a detecção imediata do limiar anaeróbio ventilatório pelo método *V-slope*.

Wasserman et al. (1990) sugerem que, pelo método dos equivalentes ventilatórios, a detecção do limiar anaeróbio ventilatório está dependente da resposta ventilatória ao aumento de produção de CO_2 , resultante do tamponamento do ácido láctico durante o exercício progressivo. Caiozzo et al. (1982) e Davis et al. (1983) afirmam que o aumento do VO_2 é aproximadamente linear, enquanto a VCO_2 e a Ve aumentam brusca e paralelamente como consequência do efeito da $PaCO_2$ sobre controle ventilatório. Os mesmos autores afirmam ainda que, deste modo, quando o Lan é ultrapassado, o equivalente ventilatório do CO_2 (Ve/CO_2) diminui ou permanece inalterável, enquanto o equivalente ventilatório de O_2 (Ve/VO_2) aumenta. Assim, sob controle respiratório normal, a Ve acompanha as alterações no VCO_2 , impedindo o aumento do equivalente respiratório do CO_2 , mas provocando o aumento do equivalente respiratório de O_2 . Os dois equivalentes respiratórios são registados no eixo do Y, como função do tempo no eixo dos X, tornando-se relativamente simples determinar visualmente o limiar anaeróbio ventilatório, como o momento a partir do qual ocorre um aumento no equivalente ventilatório de O_2 , sem alteração significativa no equivalente ventilatório do CO_2 .

Wasserman et al. (1990) verificam que o maior incremento da Ve , durante um protocolo de rápido incremento progressivo de carga funcional utilizando intervalos de um min, ocorre acima do Lan e é fortemente influenciada pela compensação respiratória, em resposta à acidose metabólica. Santos (1991) observa que, quanto ao método do aumento não linear da Ve , os critérios em que esta é registada no eixo do Y, como função do VO_2 , ou do tempo no eixo do X, tendem a encontrar um ponto de inflexão no declive que corresponde a um

valor do $\dot{V}_{E/V_{O_2}}$ demasiado elevado porque o aumento da resposta ventilatória, resultante da compensação respiratória da acidose metabólica tende a ser maior, do que o aumento da resposta ventilatória que acompanha o período de isocapnia, em que ocorre uma estabilização da P_{aCO_2} . Hagberg et al. (1990) demonstraram uma completa dissociação entre as alterações da lactacidemia e a \dot{V}_E , o que indicia uma relação de coincidência e não de causa e efeito entre o limiar anaeróbio ventilatório e o limiar anaeróbio láctico. Assim, o critério que utiliza as alterações da \dot{V}_E , para determinação do limiar anaeróbio, deve ser revisto. Este método tem vindo a diminuir gradualmente de utilização.

Outro método, que tem vindo a ser abandonado por demonstrar pouca fiabilidade, é o do aumento não linear do quociente respiratório (VCO_2/VO_2), quer o critério utilizado seja o do aumento abrupto do quociente respiratório, quer a utilização do valor fixo de 1 (Reybrouck 1983; Dickstein et al. 1990).

A utilização de métodos indirectos na determinação do limiar anaeróbio é controversa. Sabendo que o limiar anaeróbio ventilatório e o limiar anaeróbio láctico são determinados numa situação de acidose, levanta-se a questão se existe entre si uma relação causal ou aleatória, isto é, se possuem dinâmica própria não interagindo entre si.

Por um lado, Koike et al. (1990) são de opinião que o momento, em que o VO_2 não dá resposta às exigências metabólicas do músculo em exercício ocorre, uma acidose metabólica que determina o limiar anaeróbio. Também Wasserman et al. (1990) refere que o facto dos atletas não alterarem o VO_2 com o treino, mas diminuírem as lactacidemias, não justifica que estas variações sejam independentes do transporte do O_2 .

Com opinião diferente, Yeh et al. (1983), Green et al (1983), Reybruck e Ghesquiere (1984) concluíram que o limiar ventilatório e o limiar estabelecido pela acumulação de lactato não são coincidentes. Gaesser e Poole (1986) sugerem que, após 3 semanas de treino, apesar da não alteração do limiar ventilatório, o limiar metabólico se altera, o que reforça a ideia que são fenómenos distintos, sem qualquer relação de causa e efeito, apesar de bem correlacionados ($r=0.86$) e que indiciam uma relação de coincidência.

Systrom et al. (1990) verificam que a relação entre o limiar ventilatório (que despoleta a hiperventilação) e o limiar láctico (ponto de partida da acumulação de lactato), numa situação de acidose intramuscular, não

pressupõe qualquer tipo de significância entre acidose intra-muscular e sanguínea, hiperventilação e acumulação de lactato.

Podemos assim questionar a fiabilidade da detecção do limiar anaeróbio pelos métodos não invasivos, como a análise das trocas gasosas, e a sua correspondência com o início da acumulação de lactato, uma vez que a concentração sanguínea de lactato e a hiperventilação não possuem uma relação de causa e efeito e podem ser explicados por outros factores [acção de processos humorais, neurais, aumento da concentração plasmática de catecolaminas e da temperatura (Powers e Beadle, 1985)] que não a hipóxia.

Hagberg et al. (1990) observam que os indivíduos com o síndrome de McArdle (ausência genética de fosforilase muscular), em que a glicogenólise muscular está bloqueada, apresentam uma resposta ventilatória normal numa situação de exercício físico exaustivo (intensidade superior a 85% VO_2max), hiperventilando apesar de não produzirem lactato, o que indicia outros processos de regulação diferentes da acidose e do fluxo pulmonar de CO_2 . A incapacidade de utilização do glicogénio muscular, principal substrato oxidativo a intensidades maximais, reduz a capacidade para formar NADH em quantidade suficiente, de modo a suportar um VO_2max normal (diminui para 30 a 50%), sendo a produção energética fundamentalmente assegurada pelo catabolismo lipídico (Lewis e Haller, 1986), o que implica um maior VO_2 para a mesma produção de ATP.

Brooke et al. (1968) foram os primeiros a observar que a resposta da FC a um teste por incrementos não apresentava sempre uma relação linear, mas sim três fases distintas: (1) uma fase incaracterística anterior à relação linear; (2) uma fase linear em que o declive FC era consistente; (3) uma fase curvilínea em que o declive FC/carga diminui e se desvia da linearidade. O ponto de deflexão da frequência cardíaca (PDFC) aparece na literatura sobre diversas designações como *deflection velocity* (Conconi et al., 1982; Cellini et al., 1986), *heart rate break-point* (Ribeiro et al., 1985), *slope variation point* (Maffuli et al., 1987) *heart rate threshold* (Bunc et al., 1995; Hofman et al., 1994) ou *heart rate turnpoint* (Bodner et al., 1999; Pokan et al., 1999). Wasserman et al., (1973) foram os primeiros a referenciar a intrigante coincidência entre o PDFC e o Lan. Segundo Hofman (1984) e Bunc e Heller (1992), o comportamento diferenciado

da relação linear entre a FC e a *performance*, que se manifesta por resposta curvilínea, acontece normalmente entre 88% e 94% da FC máxima.

Conconi et al. (1982) identificaram a velocidade coincidente com o ponto de deflexão da curva de evolução da frequência cardíaca, isto é, o momento em que a velocidade da corrida e a frequência cardíaca deixavam de ter uma relação linear, como o correspondente ao limiar anaeróbio. O protocolo deste teste de terreno (teste A) efectuado numa pista ao ar livre com corredores de MFF (n=210) contemplou velocidades de corrida entre os 9 e os 12 km.h⁻¹, com incrementos de 0.5 km.h⁻¹ em cada 200 metros, sendo considerada a FC registada nos últimos 50 m de cada patamar. Para a sua validação, era determinado o limiar anaeróbio láctico, através de outro protocolo complementar (teste B) que continha seis patamares sendo 3 efectuados a velocidades inferiores e os restantes 3 a velocidades superiores à correspondente ao Lan determinado pelo método cardíaco. Colocando num gráfico os valores da FC e da velocidade, do teste A, e de lactatemia correspondente a cada uma das velocidades, do teste B, o ponto de intersecção das rectas formadas pelas lactatemias correspondentes às intensidade inferiores e superiores ao Lan cardíaco, correspondem ao Lan láctico. As velocidades correspondentes ao PDFC e ao Lan láctico apresentavam uma elevada correlação (r=0.99; n=10).

O grupo de investigadores associados a Francesco Conconi, todos da Universidade de Ferrara em Itália (Centro Studi Biomedici Applicati allo Sport, Università degli Studi di Ferrara) continuam a publicar estudos em que demonstram a validade prática do limiar anaeróbio determinado a partir da velocidade correspondente ao PDFC (Droghetti et al., 1985; Cellini et al., 1986; Ballarin et al., 1989; Borsetto et al., 1989).

Droghetti et al. (1985) estudam a relação entre a velocidade e a FC em 4 canoistas, 42 esquiadores de fundo, 73 ciclistas, 9 patinadores de velocidade, 10 hoquistas, 32 remadores e 20 marchadores. A FC foi determinada por ECG e o limiar anaeróbio láctico por análise sanguínea. A velocidade correspondente ao PDFC e o Lan eram coincidentes em 19 atletas (6 esquiadores de fundo, 3 ciclistas, 2 hoquistas, 3 remadores e 5 marchadores) e estava correlacionada com a média das velocidades mantida na marcha (20 km, n = 13, r = 0.88), no esqui de fundo (15 km, n = 20, r = 0.80; 30 km, n = 8, r = 0.82; 12 km, n = 7, r =

0.86; 11 km, n = 7, r = 0.86) e no ciclismo (1 000 m com partida lançada, n = 68, r = 0.83)

Cellini et al. (1986) estudaram a relação entre a velocidade correspondente ao ponto de deflexão e a FC, que correlacionaram com o limiar anaeróbio, determinado por análise sanguínea do lactato em nadadores (n=60). A velocidade correspondente ao ponto de deflexão da FC e o limiar anaeróbio estava correlacionado em 6 nadadores (r = 0.84).

Maffuli et al. (1987), num estudo efectuado com atletas bem treinados (n=11), utilizaram protocolos com patamares de 1, 2 e 4 min para identificar a velocidade correspondente ao PDFC e os 3 valores obtidos apresentavam reprodutibilidade e uma elevada correlação com o Lan. Os testes efectuados em 4 destes atletas, para determinar o PDFC e o Lan, antes e depois da maratona, evidenciaram que a velocidade da maratona era muito próxima da velocidade correspondente ao PDFC e ao Lan. Os autores concluíram que, pelo método de Conconi et al. (1982), podemos de forma rápida e não invasiva determinar o Lan, assim como prever a velocidade a utilizar na maratona.

O limiar anaeróbio determinado pelo método de Conconi et al. (1982), apesar do grande sucesso que obteve junto dos treinadores, foi considerado pouco válido por diversos investigadores, que nos seus estudos não encontraram senão uma relação linear entre o PDFC e a potência do exercício (Ribeiro et al., 1985; Hofman et al., 1994; Jones e Doust, 1997; de Wit et al., 1997; Pokan et al., 1999) ou ausência de replicabilidade (Coen et al., 1991; Francis et al. 1989; Kuipers et al., 1988; Melton et al., 1988; Sunsson et al., 1989; Tiberi et al., 1988; Van Handel et al., 1988; Ribeiro et al., 1985; Lacour et al., 1987; Jakob et al., 1987; Léger e Tokmakidis, 1987; Krüger et al., 1988; Heck et al., 1989; Pessenhofer, 1991; Tokmakidis e Leger, 1992).

Ribeiro et al. (1985) foram alguns dos autores que encontraram discordância entre o PDFC e o Lan. Num estudo que efectuaram, com 11 sujeitos de condição física heterógena, avaliaram no cicloergómetro os limiares aeróbio e anaeróbio assim como o PDFC tendo concluído que entre si não existia diferença significativa (240.0 ± 67.1 W e 234.5 ± 69.5 W). Noutro grupo de 16 sujeitos, efectuaram dois testes para avaliar a reprodutibilidade do ponto de deflexão da frequência cardíaca no limiar anaeróbio, o que apenas foi verificado em 8 elementos da amostra. Os autores concluíram que o PDFC

pode coincidir com o limiar anaeróbio, mas não com o limiar aeróbio e que não existe uma relação causal entre o limiar anaeróbio ventilatório e o PDFC.

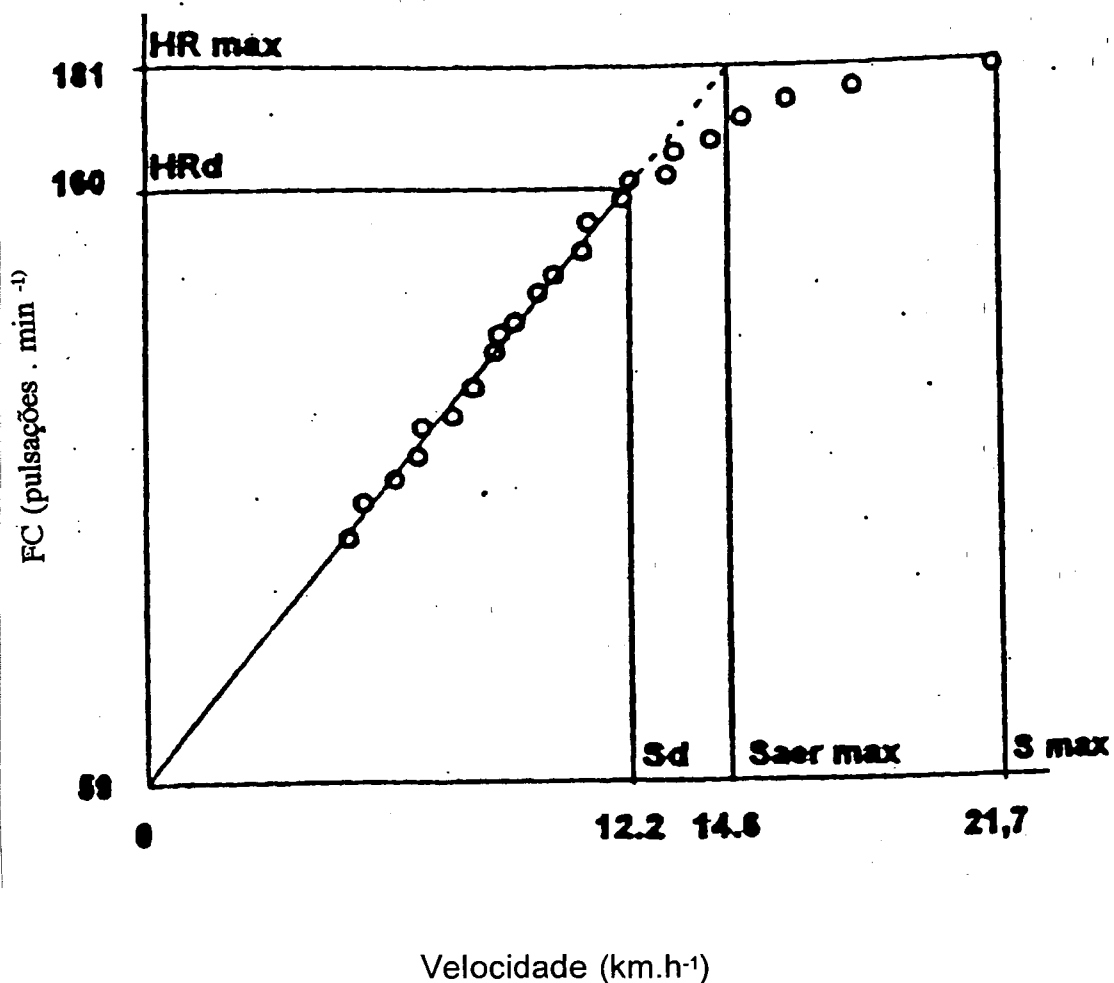


Figura 5 - Informação que resulta da relação velocidade da corrida/frequência cardíaca. Sd - velocidade de deflexão; Saer max - velocidade máxima aeróbia; S max - velocidade máxima; HRd - FC correspondente à deflexão; HRmax - FC máxima. Cada fracção corresponde a 100 metros. Adaptado de Conconi et al. 1996.

Lacour et al. (1987) num estudo efectuado com 23 sujeitos (23.6 ± 3.75 anos) que foram divididos em 3 grupos, (1) sedentários ($n=8$) que foram testados antes e depois de terem seguido durante 20 semanas um programa de treino, (2) ciclistas amadores ($n=6$) e (3) ciclistas profissionais ($n=9$), referem que a deflexão da curva frequência cardíaca-potencia não determina de forma válida o limiar anaeróbio. Observam ainda que o PDFC é de difícil validação prática, uma vez que neste estudo a imprecisão do valor do limiar anaeróbio corresponde a $5\%VO_{2max}$ o que no treino de alto rendimento de atletas de meio-fundo e fundo representa uma diferença superior a $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, na velocidade a adoptar no treino. Estes autores contestam ainda os estudos efectuados por Conconi et al. (1980), Conconi et al. (1982) e Droghetti et al. (1985) por não terem efectuado o tratamento estatístico dos dados, apesar de apresentarem um índice de correlação elevado entre as velocidades correspondentes ao PDFC e ao limiar anaeróbio ($r=0.99$). Para além disso, o protocolo utilizado para a determinação do limiar anaeróbio contemplava patamares de 1200 m, sendo 3 efectuados a velocidades inferiores e as outras 3 a velocidades superiores á correspondente ao PDFC, mas com intervalos de 15 minutos a trote entre cada patamar. O limiar anaeróbio era, então, determinado pelo cruzamento das linhas resultantes das lactatemias inferiores e superiores ao PDFC (figura 5).

Lacour et al. (1987) sugerem que o perfil exponencial, correspondente às lactatemias habitualmente descrito na literatura, não coincide com as linhas rectas apresentadas por Conconi et al. (1982), o que justifica as elevadas correlações encontradas por estes investigadores entre o PDFC e o Lan.

Léger e Tokmakidis (1987) num estudo efectuado com 22 atletas de elite, determinaram o limiar anaeróbio da forma tradicional, utilizando patamares com 4 min de duração, incrementos progressivos e intervalos não superiores a 45 s, através da recolha de lactato sanguíneo efectuado no dedo da mão. As velocidades correspondentes ao limiar anaeróbio determinadas pelo método láctico e pelo método de Conconi et al. (1982) $16.2 \pm 8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ contra $18.5 \pm 1.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ respectivamente, representam uma discordância de 13% entre estes valores o que contribui para a não validação da segunda. Por outro lado, se Conconi et al. (1982), no seu teste de terreno, contempla intervalos entre cada patamar de 15 minutos, permite uma recuperação capaz de produzir no patamar

seguinte uma velocidade mais elevada em que as acumulações de lactato e de fadiga são menores que se utilizarmos o protocolo tradicional. Estes autores concluíram que a velocidade correspondente ao PDFC e a correspondente ao limiar anaeróbio evidenciam uma fraca correlação.

Tokmakidis e Leger (1992) num estudo efectuado com 17 corredores de elite (27.5 ± 6.5 anos; 1.73 ± 0.05 m; 63.8 ± 7.3 kg; 67.8 ± 3.7 ml.kg⁻¹.min⁻¹), pretendiam investigar a relação entre o PDFC e o Lan láctico. Efectuaram dois testes de terreno utilizando o método de Conconi et al. (1982), com uma velocidade inicial de 9 km.h⁻¹ (2.5 m.s⁻¹), que aumentava 0.5 km.h⁻¹ (0.14 m.s⁻¹) por volta (183.9m em pista coberta) para a determinação do limiar anaeróbio a partir da FC e de 1 km.h⁻¹ (0.28 m.s⁻¹), cada 4 min, para a determinação do limiar anaeróbio láctico. Os autores concluíram que, com os modelos matemáticos que utilizaram (*mono-segmental exponential* de Hughson et al., 1981 e o log-log de Beaver et al., 1985), pelas intercorrelações entre estes limiares anaeróbios e as correlações com a *performance* o PDFC sugerido por Conconi et al. (1982), é um indicador pouco significativo do Lan e da *performance*.

Jones e Doust (1997) validaram o teste original de Conconi et al. (1982) numa amostra de atletas de MFF (n=14; idade: 22.6 ± 3.4 anos; peso 67.6 ± 4.8 kg; VO_2peak 66.3 ± 4.7 ml.kg⁻¹.min⁻¹), tendo sido detectado o PDFC em nove sujeitos. Diferenças significativas foram encontradas entre a velocidade correspondente ao limiar anaeróbio (4.39 ± 0.20 m s⁻¹) e o PDFC (5.08 ± 0.25 m s⁻¹) (P < 0.01) e entre a FC correspondente ao Lan (172 ± 10 beats min⁻¹) e a correspondente ao início da relação curvilínea (186 ± 9 beats min⁻¹) (P < 0.01). As velocidades correspondentes ao PDFC e ao limiar anaeróbio não apresentavam valores elevados de correlação (r=0.688).

Apesar destas e outras manifestações de discrepância entre o PDFC e o Lan, o grupo de investigadores da Universidade de Ferrara em Itália, mais uma vez liderados por Francesco Conconi (Conconi et al., 1996; Ballarin et al., 1996; Grazi et al., 1999), voltaram a publicar trabalhos sobre a mesma temática em que reformulam a metodologia utilizada e insistem em demonstrar a validade prática do limiar anaeróbio, determinado a partir da velocidade correspondente ao PDFC. Para além destes, outros estudos científicos publicados referiram replicação com sucesso do teste de Conconi et al. (1982) como os efectuados no tapete rolante com atletas de meio-fundo e fundo bem treinados (Aro et al.,

1989; Maffulli et al., 1987; Zacharogiannis et al., 1993) ou com ciclistas profissionais (Argentieri et al., 1988; Ennis, 1985; Probst et al., 1989), com nadadores [Cameron et al., 1989; Chwilkowski et al., 1988; Monod et al., 1987), com estudantes de desporto e educação física (Herren et al., 1987; Hofman et al., 1994; Howald et al., 1986; Jakob et al., 1987; Pokan et al., 1995) e até com crianças (Baraldi et al., 1989; Gaisl e Wiesspeiner, 1987).

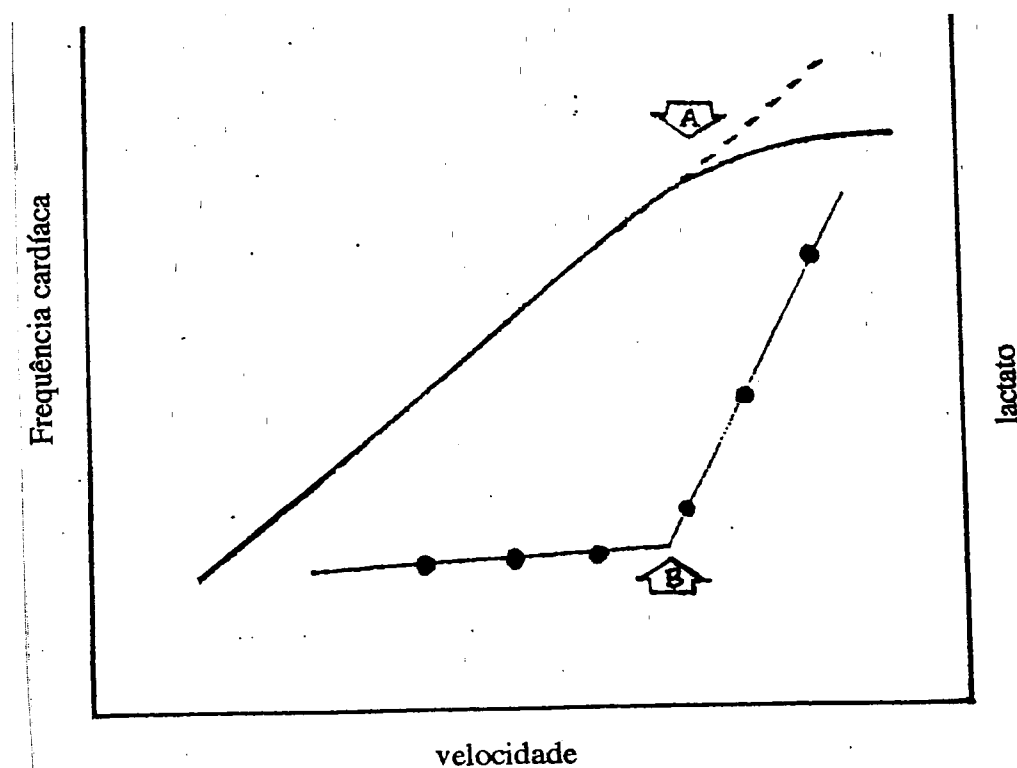


Figura 6 - Correspondência entre o ponto de deflexão da frequência cardíaca (A) e o limiar anaeróbio láctico (B) (ponto de intercepção das duas rectas resultantes das lactatemias dos 3 patamares inferiores e dos 3 patamares superiores ao referido ponto de deflexão da frequência cardíaca. Adaptado de Conconi et al. (1982).

Conconi et al. (1996) após 12 anos de aplicação do teste de Conconi et al. (1982), reformularam a sua metodologia para determinação não invasiva do limiar anaeróbio a partir do PDFC. Sabendo que a relação entre a velocidade e a

FC é linear a intensidades baixas ou moderadas e curvilínea a intensidades submáximas ou máximas, os autores, a partir de uma base de dados de cerca de 5000 testes, escolheram 300 que proporcionaram conhecer que a velocidade a que o ponto de deflexão ocorre é significativamente mais baixo ($p < 0.001$) que aquele a que começa a fase de aceleração final o que prova que não ocorre como consequência da aceleração final. Os estudos de Grazzi et al. (1999) reforçam esta ideia, quando em 500 testes efectuados durante dois anos com 290 ciclistas do sexo masculino, em 484 dos testes o ponto de deflexão era independente da aceleração final (potência do exercício no início da deflexão: 318.4 ± 42.4 W; potência do exercício no final da aceleração 351.6 ± 43.2 W, $P < 0.001$), em apenas 16 testes o ponto de deflexão e o início da aceleração final coincidem.

O novo protocolo era efectuado na pista com um ciclista acompanhante que contabilizava a distância percorrida em cada 30s, pelo número de pedaladas efectuado, ou utilizando um velocímetro, os incrementos não podiam exceder as 8 pulsações.min⁻¹ e os dados eram recolhidos de 100 em 100 metros (50 em 50 metros para as crianças) por monitorização (Polar Sport Tester PE-3000 ou Polar Sport Tester PE-4000, Finlândia). Quanto se atinge o ponto de transição entre a velocidade submáxima e máxima a intensidade deve ser aumentada até à exaustão. A velocidade correspondente a cada fracção de 100m era colocada no eixo dos X e a FC correspondente no eixo dos Y, o que permite identificar para além do limiar anaeróbio a partir do PDFC os seguintes índices de aptidão funcional (1) a FC Max; (2) o número de pulsações do zero até ao ponto de deflexão; (3) o número de pulsações que vão do ponto de deflexão até FCmax; (4) a velocidade aeróbia máxima que se obtém pela extrapolação da parte linear da FCmax (figura 6) e a velocidade anaeróbia que se obtém subtraindo a velocidade aeróbia máxima à velocidade máxima e que é um índice da potência anaeróbia láctica.

Jeukendrup et al. (1997), Hofmann et al. (1997), Petit et al. (1997), Bourgois e Vrijens (1998), Bodner e Rhodes (2000) foram alguns investigadores que replicaram e criticaram o novo teste de Conconi et al. (1996), continuando a não validar este método de determinação do limiar anaeróbio.

Jeukendrup et al. (1997) mencionam que o PDFC determinado por Conconi et al. (1996) é um artefacto e não um reflexo do limiar anaeróbio

definido por uma concentração de lactato de 4 mmol.l^{-1} . Estes autores argumentam que fisiologicamente a presença de um ponto de deflexão tem sentido por um lado mas destroi a sua base científica pelo outro, porque quando a duração de cada patamar é muito curta ($< 1 \text{ min}$) a adaptação do sistema circulatório a determinada velocidade ou carga será incompleta e a FC começará a atrasar-se progressivamente. A representação gráfica da FC, como função da velocidade ou da carga, permite definir automaticamente um ponto de deflexão. No entanto, se a duração de cada patamar for maior, ocorrerão alguns ajustes do sistema cardiovascular e será mais difícil, senão impossível, a sua determinação. Os mesmos autores afirmam que não surpreende a existência de uma elevada correlação entre o PDFC e o limiar anaeróbio das 4 mmol.l^{-1} , uma vez que ambos ocorrem a uma intensidade entre 80 e 95% da velocidade máxima. Para além de Conconi et al. (1988), outros investigadores (Coen et al., 1988; Kuipers et al., 1988; Leger e Tokmakidis, 1988) concordam que não existe uma relação de causa e efeito entre o PDFC e o Lan.

Thorland et al. (1994) provaram a não existência de uma relação causal entre o PDFC e o limiar anaeróbio das 4 mmol.l^{-1} quando observaram que esta relação se alterava, de acordo com o estado nutricional do sujeito. Num estudo efectuado com 8 sujeitos do sexo masculino (22.6 ± 1.6 anos de idade) testados, no cicloergómetro em condições normais e num estado de deplecção do glicogénio, a FC foi medida através de ECG no último minuto de cada patamar e a concentração de lactato determinada por análise sanguínea. Nos indivíduos em condições nutricionais normais o PDFC e o Lan ocorreram a 200.4 ± 33.3 e $211.4 \pm 46.5 \text{ w}$ respectivamente, enquanto, numa situação de hipoglicemia, os mesmos ocorreram a $182.9 \pm 43.3 \text{ w}$ e $227.0 \pm 41.1 \text{ w}$, respectivamente. Os autores concluíram que apenas 4% das alterações do limiar anaeróbio se deviam a alteração do PDFC.

Hofmann et al. (1997) criticam o método de Conconi et al. (1982) referindo que inúmeros investigadores, que nos seus estudos replicaram este teste de terreno, não encontraram um ponto de deflexão da FC. Os mesmos autores, num estudo anterior (Hofmann et al. 1996), observam que em mais de 300 jovens atletas não encontraram qualquer PDFC. Na opinião do mesmo grupo de investigadores (Pokan et al., 1993; Hofmann et al., 1997) o PDFC não pode ser encontrado em todos os indivíduos, devido à grande amplitude de

variação fisiológica da curva de *performance* da FC que depende da percentagem de ejeção do ventrículo esquerdo.

Vachon et al. (1999) num estudo com corredores treinados (n=8) para a validação prática do PDFC como preditor do limiar anaeróbio, efectuaram 4 testes cada: (1) um teste no TR para determinação do consumo de oxigénio; (2) o teste de Conconi na pista de 400m com incrementos de 0.5 km.h⁻¹ em cada 200m; (3) um teste contínuo no TR com incrementos de 0.5 km.h⁻¹ por minuto e (4) um teste contínuo para determinação do limiar anaeróbio com patamares com a duração de 3 min. Todos os sujeitos evidenciaram um PDFC no teste efectuado na pista ao ar livre mas apenas metade o conseguiu no TR. Os mesmos autores também referem que a velocidade correspondente ao PDFC é mais elevada que a correspondente ao limiar anaeróbio (17.99±1.51 contra 14.92±1.43 km.h⁻¹).

Petit et al. (1997) num estudo efectuado em atletas bem treinados (n=17) utilizaram um modelo matemático para, a partir do teste de Conconi, predizerem a *performance* sobre 10000m. A velocidade correspondente ao PDFC (16.3±2.1 km.h⁻¹) e a velocidade correspondente ao limiar anaeróbio (16.4±2.3 km.h⁻¹) apresentavam uma elevada correlação (n=11; r=0.95) Resultados semelhantes foram obtidos quando comparadas os valores da FC correspondentes ao PDFC e ao Lan (178±7.7 pulsações.min⁻¹ contra 180±9.9 pulsações.min⁻¹ respectivamente; r=0.79; n=11).

Bourgois e Vrijens (1998) num trabalho efectuado com remadores jovens (n=10) (idade 17.5±1.7 anos; altura 182.5±5.9cm; peso 77.0±10.6 kg), encontraram discrepâncias entre os valores da potência correspondente ao PDFC (251±21W), valor bastante mais elevado que o correspondente a uma concentração de lactato de 4 mmol.l⁻¹ (234±31W).

Hofmann et al. (1997) concluíram que a partir de uma amostra de 227 jovens (idade: 23±4 anos), sem diferenças antropométricas assinaláveis, após a aplicação do método de Conconi, 85.9% apresentaram uma deflexão normal, 6.2% não evidenciaram qualquer deflexão e 7.9% mostraram uma deflexão inversa do PDFC. Os valores obtidos entre a potência correspondente ao PDFC e ao Lan apresentaram correlações significativas (r=0.905; p<0.001), assim como as FC correspondentes ao PDFC e ao Lan (r=0.889; p<0.001).

Zacharogiannis e Farrally (1993) num trabalho efectuado com 12 atletas bem treinados (2 femininos e 10 masculinos), referem que a velocidade, o VO_2 e a %FC correspondentes ao PDFC são significativamente maiores que os correspondentes ao Lanv (8.26, 7.2 e 9.5% respectivamente).

Resumindo, alguns autores encontraram concordância entre o limiar ventilatório, o limiar de lactato e o PDFC e outros não.

Thompson et al. (1989) verificaram não existir correlação entre a evolução dos factores ventilatórios ("ventilatory break points") e da concentração de lactato.

Farrell e Ivy (1987) não encontraram relação entre o aumento da acidose sanguínea induzida pelo aumento da concentração de lactato e o aumento do equivalente de O_2 (VE/VO_2) verificado durante exercício incremental.

Wasserman e McIlroy (1964), Davis et al. (1976), Caiozzo et al. (1982), Sue et al. (1988) referem que os métodos de troca gasosa são pouco práticos, atendendo à sua complexidade técnica, para além do embaraço que implicam para o atleta. O aparecimento de oxímetros portáteis, a possibilidade da recolha dos dados por telemetria e a sua computação imediata veio atenuar esta dificuldade, permitindo efectuar no terreno testes até então só possíveis no laboratório, mas mesmo assim, hoje em dia, a utilização do limiar anaeróbio ventilatório no controlo do treino foi abandonada.

A determinação do limiar anaeróbio, utilizando o teste de terreno de Conconi et al. (1982) ou a sua versão mais recente (Conconi et al. 1996), atendendo à controvérsia que existe em torno da sua validação prática, também deve ser encarado com certas reservas. A profusão no mercado de analisadores de lactato portáteis e de grande fiabilidade, veio simplificar e vulgarizar a análise das concentrações de lactato sanguíneo e permitiu a determinação directa do limiar anaeróbio, sem necessidade de recorrer a métodos indirectos de validade discutível.

2.3.2.2. Métodos directos (invasivos)

Yoshida (1984) Mader (1991) e Billat (1994) são de opinião que nos métodos directos de detecção do limiar anaeróbio o protocolo utilizado, no que se refere ao tipo de incremento da carga e à sua duração, é relevante no resultado final podendo mesmo, segundo Stegman e Kindermann (1982), pôr

em causa a eficácia da extrapolação dos valores a utilizar na calibração do treino.

A avaliação da concentração sanguínea de lactato é a forma de detecção directa (invasiva) do limiar anaeróbio que, como referimos acima, foi utilizada por inúmeros investigadores, entre os quais, MacDougall (1977), Keul et al. (1979), Farrel et al (1979), Ivy et al. (1980), McLellan e Skinner (1981), Stegmann e Kindermann (1981), Bunc et al. (1982), Davis et al. (1983), Heck et al. (1985) e Mader (1991). Nesta revisão vamos apenas considerar os conceitos de limiar anaeróbio baseados numa lactatemia em torno de 4 mmol.l^{-1} , uma vez que foi um destes métodos que utilizamos na parte experimental do nosso trabalho.

2.3.2.2.1. O equilíbrio máximo de lactato (MaxLass) de Heck et al.

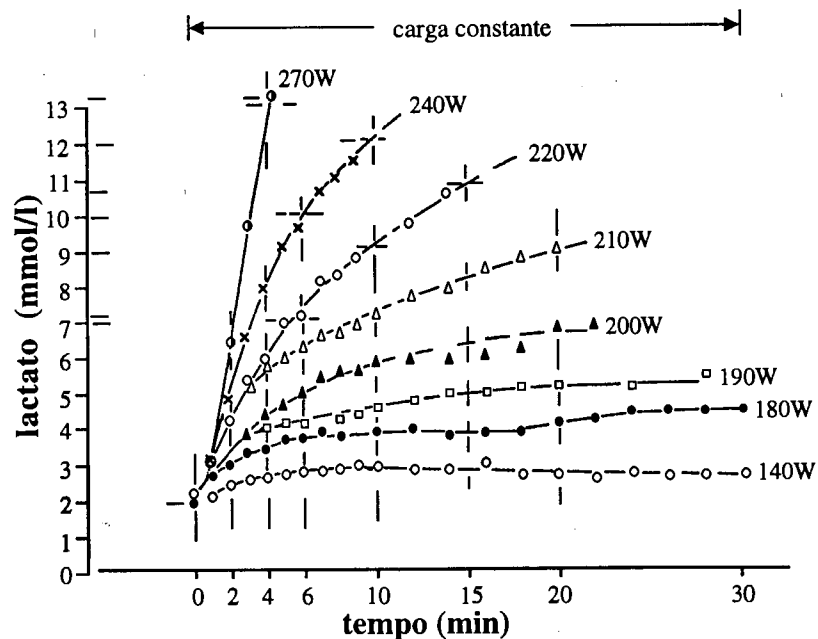


Figura 7 - Comportamento da curva lactato-tempo, a diferentes níveis de carga constante (Watt) de longa duração, desde uma situação de equilíbrio até à acumulação progressiva de lactato em função do tempo. O estado de MaxLass (entre 190-200 Watts) indica a transição de *steady-state* para um aumento linear da lactatemia. As curvas foram obtidas a partir de investigações realizadas em ciclo-ergómetro às cargas constantes assinaladas na figura. Adaptado de Mader (1991).

Heck et al. (1985) e Mader (1991) concluíram que a carga constante de longa duração mais elevada que poderia suportar uma lactatemia estabilizada

se situava no valor médio de 4 mmol.l⁻¹. Os mesmos autores referem que a intensidade da carga, responsável pela transição do exercício aeróbio para o parcialmente anaeróbio, corresponde à carga mais elevada e, simultaneamente, à maior e mais estável concentração de lactato que pode ser suportada pelo metabolismo oxidativo, expressa numa relação de equilíbrio entre a produção e a remoção do referido metabolito. A este estágio de equilíbrio deram o nome de MaxLass (maximal lactate steady state) (fig. 7).

Segundo Mader (1991), o limiar anaeróbio pode ser determinado através do aumento não linear da lactatemia em função da carga, como indicador do fornecimento adicional de energia glicolítica, utilizando protocolos de incremento de carga progressiva (figura 4), ou de carga constante e longa duração com um intervalo entre patamares que permita a recuperação total.

Na figura 4, observamos dados relativos a 5 patamares de carga constante com incrementos de 0.1 m.s⁻¹, podendo considerar-se 4.2 m.s⁻¹ como a velocidade correspondente ao MaxLass.

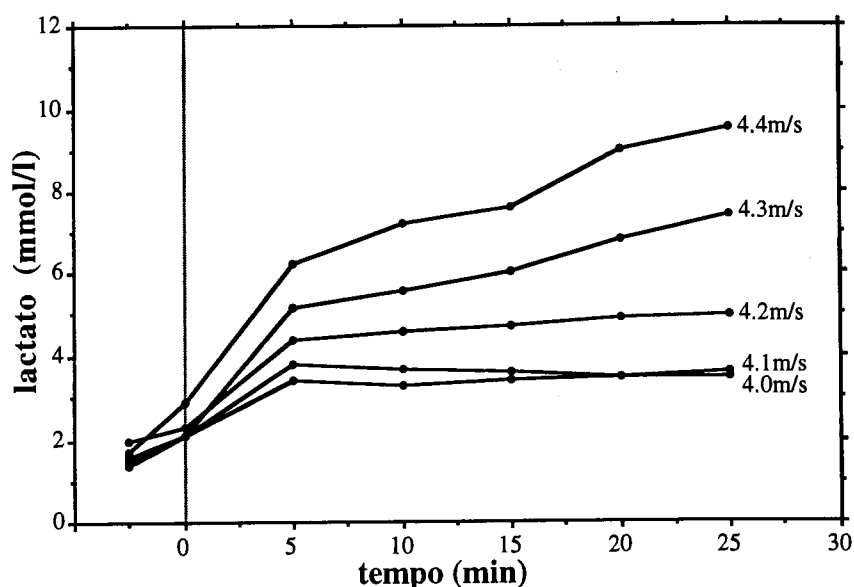


Figura 8 - Determinação do MaxLass em tapete rolante utilizando um protocolo com incrementos de carga constante. Adaptado de Heck (1990).

Heck et al.(1985) e Snyder et al. (1994) consideram que o MaxLass é atingido quando a concentração sanguínea de lactato não aumenta mais que 1

mmol.l⁻¹ nos últimos 20 min de um exercício com duração mínima de 25 a 30 min.

Heck et al.(1985), após um grande número de investigações realizadas em laboratório (tapete rolante e cicloergómetro), encontrou o valor médio de 4 mmol.l⁻¹ como o correspondendo ao MaxLass.

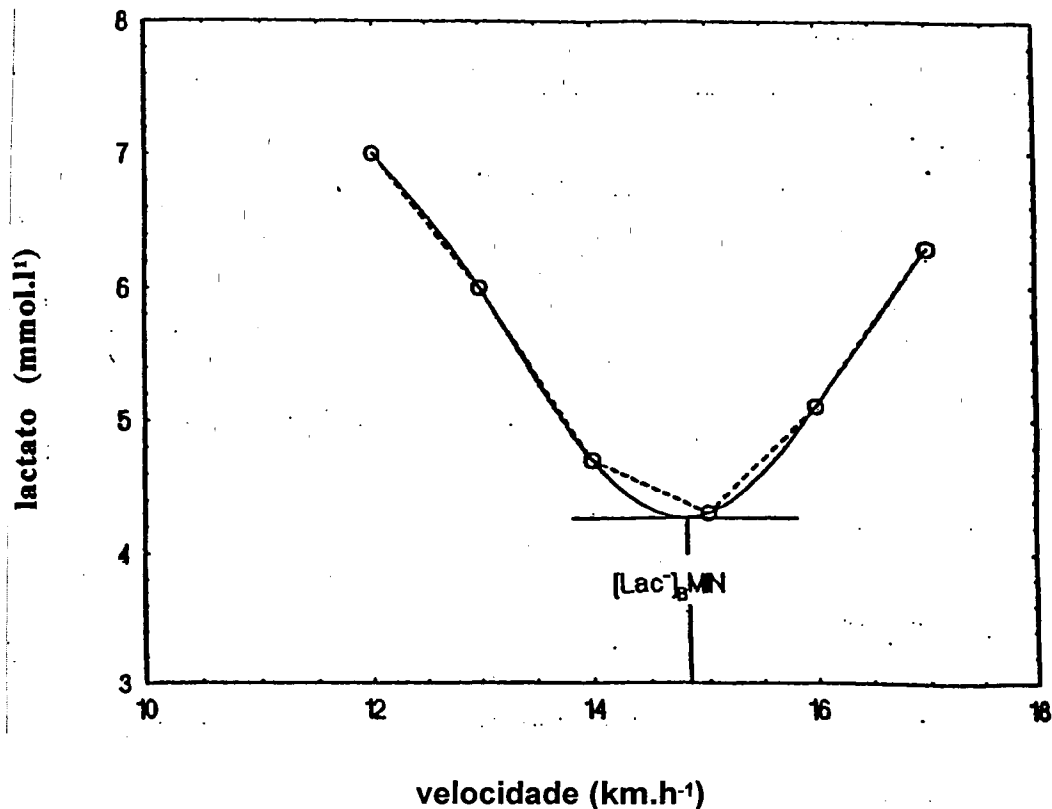


Figura 9 - Determinação da velocidade de lactato mínimo segundo Tegtbur et al. (1993). Adaptado de Jones e Doust (1998).

O MaxLass é influenciado pelo estatuto maturacional do indivíduo (Pfitzinger e Freedson 1998), pela sua capacidade aeróbia (Heck et al., 1985) pela especificidade da modalidade desportiva (Beneke et al., 1993) e pelo protocolo utilizado (Yoshida, 1984; Mader, 1991; Billat, 1994). Foxdal et al. (1996) afirmam que o MaxLass é o indicador mais fiável para a determinação do limiar aeróbio-anaeróbio e a avaliação da capacidade aeróbia. Jones e Carter (2000) referem que a velocidade correspondente ao MaxLass é a intensidade mais

elevada equivalente a um equilíbrio entre a produção de lactato no sangue e a sua remoção, sendo considerada a medida da capacidade aeróbia de maior fiabilidade.

Tegtbur et al. (1993) desenvolveram o teste de lactato mínimo para determinar e validar a velocidade correspondente ao MaxLass ($v_{MaxLass}$). O lactato mínimo (L_{anMIN}) foi definido como a velocidade correspondente ao nadir da curva em U ajustada a partir da projecção das concentrações de lactato, resultantes de um teste incremental. Este ponto mínimo de lactato representa o ponto de equilíbrio entre a produção de lactato e a sua remoção (fig. 9) O protocolo deste teste consistia inicialmente em duas corridas de 300 e 200 m efectuadas no tapete rolante, com uma inclinação de 5% e 1 min de intervalo, a uma intensidade supramaximal para induzir uma hiperlactatemia.

Após caminharem durante 8 min para maximizar a concentração de lactato, os sujeitos correm 5-6 patamares com 3 min de duração, começando com uma velocidade $2\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ inferior à prevista para realizar uma corrida de 16 km e com incrementos de $1\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ por patamar. Análises sanguíneas são efectuadas para determinar a lactatemia no final de cada patamar. A velocidade correspondente ao nadir, ponto mais baixo da lactatemia representado por uma tangente de grau zero sobre a curva em U que une cada um dos pontos da lactatemia correspondente a cada um dos patamares identifica a $v_{MaxLass}$.

Ascensão e Santos (2000) determinaram o estado de equilíbrio máximo de lactato sanguíneo, num estudo com 14 jovens atletas do sexo masculino (16 ± 1.35 anos; $62.2\pm 7.78\text{ kg}$ e idade de treino 3.07 ± 1.49), que efectuaram um teste incremental inicial para determinar a v_4 (velocidade de corrida correspondente a uma lactatemia de $4\text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) que foi usada como medida critério. Os sujeitos realizaram 3 a 4 testes de carga constante com a duração de 30 min, utilizando velocidades próximas da v_4 , até que a detecção do MaxLass fosse possível. O valor médio para o MaxLass foi de $5.07\pm 1.13\text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ correspondente a uma velocidade de $3.94\pm 0.30\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ enquanto a v_4 foi de $3.62\pm 0.26\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Os autores concluíram que a validação prática do valor fixo de $4\text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, para jovens atletas, não era o melhor indicador para a avaliação da capacidade aeróbia.

O conceito de MaxLass serviu para elaborar através do método incremental distintas formas de determinação de um limiar láctico,

considerando o valor médio de 4 mmol.l^{-1} como a lactatemia que correspondia ao ponto de ruptura metabólica que caracterizava uma intensidade crítica.

2.3.2.2.2. Conceitos baseados em torno das 4 mmol.l^{-1}

2.3.2.2.2.1. O limiar aeróbio-anaeróbio de Mader et al.

Mader et al. (1991) referem que a transição do puramente aeróbio para o parcialmente anaeróbio, em resultado do contributo láctico para as necessidades energéticas musculares foi designado por limiar aeróbio-anaeróbio e é ultrapassado como em todos os processos biológicos de forma gradual e não abrupta. Por isso, foram concebidos protocolos que incluem patamares com incrementos progressivos de carga de 0.4 m.s^{-1} e que, segundo este autor, devem ter uma duração entre 5 a 10 min.

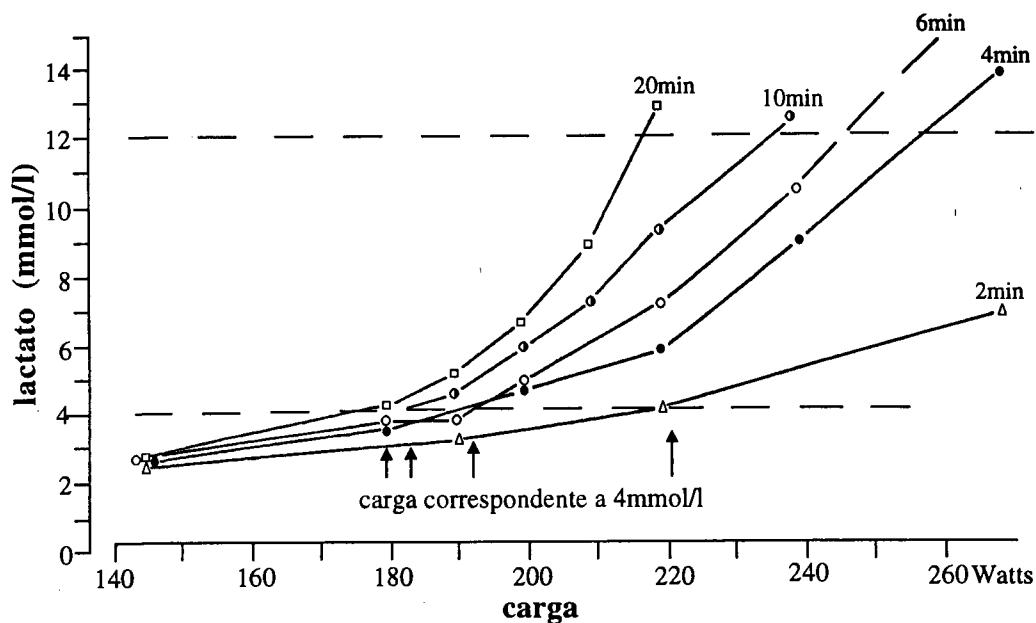


Figura 10 - Transformação da curva tempo-lactato num diagrama lactato-performance onde cada linha representa a relação lactato-performance referente a cada tempo de exercício. Adaptado de Mader (1991).

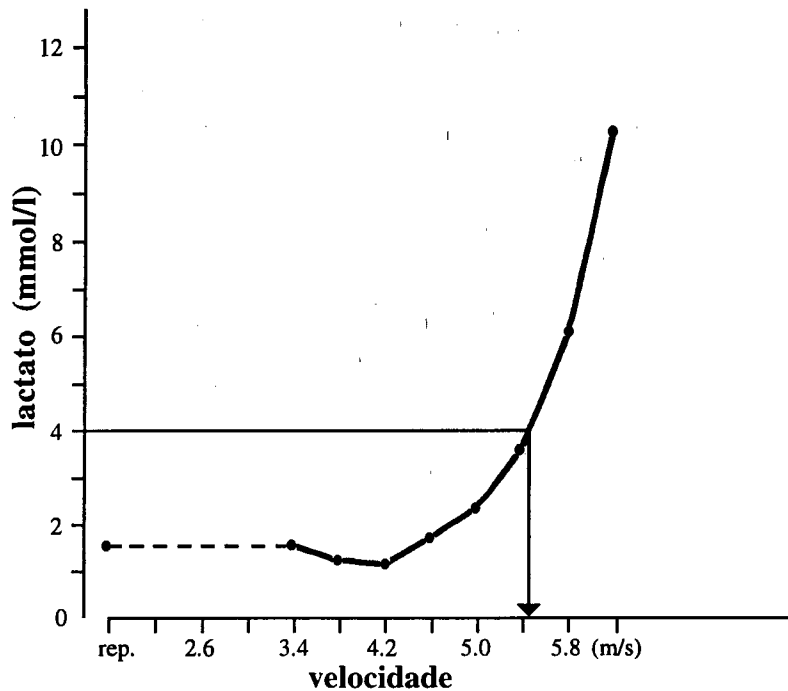


Figura 11 - Método de determinação do limiar aeróbio-anaeróbio de Mader et al. (1976). Adaptado de Heck et al. (1985).

As curvas correspondentes à figura 7 podem ser convertidas num diagrama carga-lactato (ver fig. 10), onde as linhas representam a relação lactato-performance, determinada duração de exercício (Mader et al. 1991). Podemos então observar, como resultado das diferenças de tempo necessário para a acumulação do lactato, que, quanto menor for a duração da carga (2min), mais para a direita se desloca a curva, verificando-se o oposto à medida que a duração dos patamares aumenta (20min). Assim, a determinação correcta do limiar anaeróbio, a partir deste tipo de curvas, está dependente da optimização do tempo de exercitação que terá que ser suficientemente longo, uma vez que patamares com uma duração demasiado curta (< 5min) tendem a sobrevalorizar a intensidade correspondente ao limiar.

O limiar aeróbio-anaeróbio de Mader et al. (1991) é vulgarmente designado por limiar das 4 mmol.l⁻¹ e pode ser determinado por interpolação linear da curva de acumulação de lactato no sangue (fig. 8). Heck (1985) refere que o valor das 4 mmol.l⁻¹ resultou da capacidade de atletas bem treinados de meio-fundo e fundo em tolerarem cargas correspondentes a esta lactatemia

durante longos períodos de tempo e que cargas superiores provocavam um aumento contínuo da lactatemia. Heck et al. (1985) referem que o limiar anaeróbico individual se situa abaixo das concentrações de 4 mmol.l^{-1} para atletas treinados em resistência e acima deste valor para sedentários.

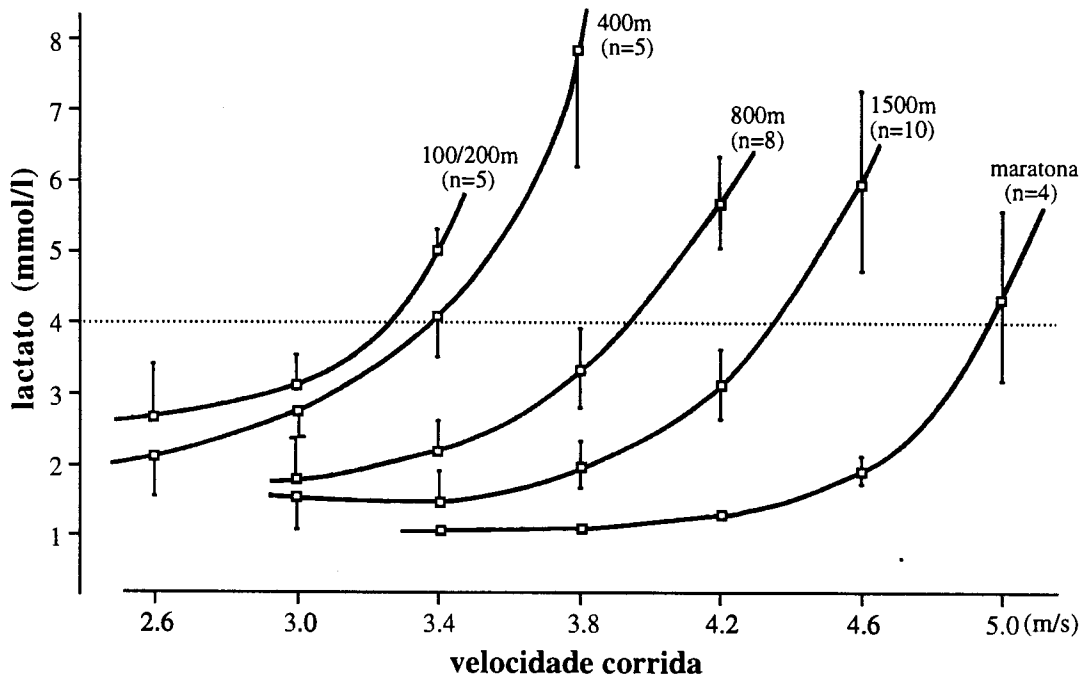


Figura 12 - Cinética do lactato correspondente ao aumento da velocidade de corrida durante testes de incrementos de carga progressivos realizados em tapete rolante com corredoras. A curva das velocistas (100-200m) evidencia uma elevação a uma velocidade baixa (a partir de 3.0 m.s^{-1} - curva da esquerda), enquanto a curva das corredoras de meio-fundo curto (800m) mostra um aumento apenas à velocidade de 3.8 m.s^{-1} (curva do meio) e nas maratonistas, esse aumento ocorre apenas a uma velocidade de 4.8 m.s^{-1} (curva da direita). Adaptado de Mader (1991).

Este método é o mais vantajoso de todos os expostos, uma vez que é o que permite uma determinação mais simples e ainda o que apresenta valores de correlação mais elevados com o MaxLass (Heck et al., 1985).

Mader (1991), num teste efectuado no tapete rolante com corredoras de 100-200m (n=5), 400m (n=5) 800m (n=8), 1500 m (n=10) e maratona (n=4) e utilizando um protocolo com incrementos de carga de 0.4 m.s^{-1} (entre 2.6 m.s^{-1} e 5.0 m.s^{-1}), determinou a velocidade correspondente a uma lactatemia de 4 mmol.l^{-1} . Este investigador conclui que as velocistas apresentavam uma curva

velocidade-lactatemia elevada a baixa velocidade, correspondente a uma v_4 (velocidade correspondente a uma lactatemia de 4 mmol.l^{-1}) de 3.3 m.s^{-1} , enquanto as maratonistas exibiam uma curva mais deslocada para a direita, sinónimo de uma melhor capacidade aeróbia e correspondente a uma v_4 ligeiramente superior a 5 m.s^{-1} (figura 12).

2.3.2.2.2. O limiar anaeróbico individual de Keul et al.

O conceito de MaxLass serviu para elaborar, através do método incremental, distintas formas de determinação de um limiar láctico que considerava o valor médio de 4 mmol.l^{-1} , como a lactatemia correspondente ao ponto de ruptura metabólica que caracterizava uma intensidade crítica.

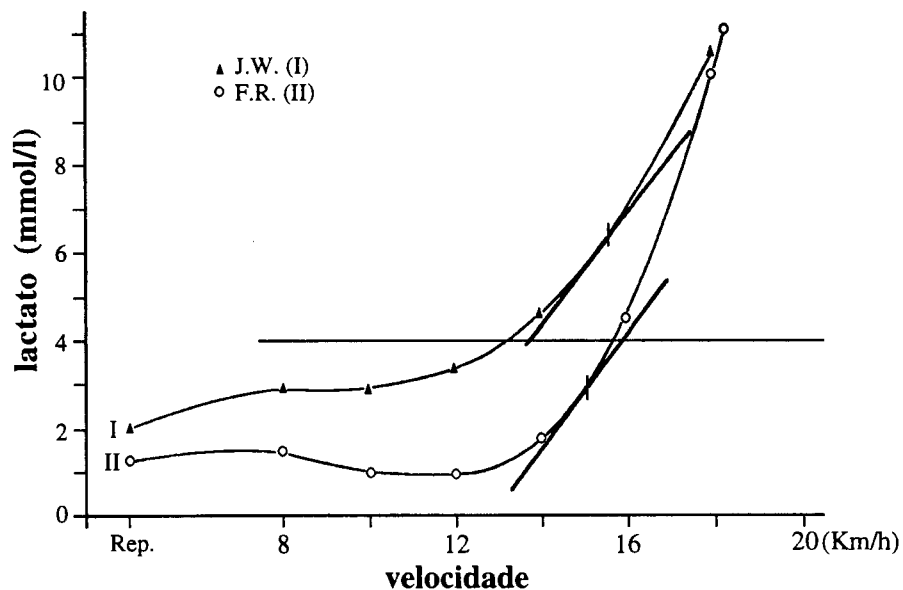


Figura 13 - Método de determinação do limiar anaeróbico individual segundo Keul et al. (1979). Adaptado de Heck (1990).

Keul et al. (1979) analisaram 60 curvas de lactatemia como resultado de testes realizados no tapete rolante cujo protocolo considerava patamares de carga contínua com a duração de 3 min e incrementos de 0.56 m.s^{-1} , procurando determinar o ângulo da tangente correspondente a essa concentração, tendo definido o limiar anaeróbico individual como a carga em que o aumento da curva de lactato é superior a $51^\circ 34'$ (figura 13).

Simon et al. (1985), numa amostra mais vasta ($n=101$) e heterogénia, rectificaram o valor do ângulo da tangente para 45° .

Este método implica cálculos complexos e morosos como a avaliação de num angulo de tangente de $51^\circ 34'$ ou 45° , a determinação de um polinómio de 3° grau e a transformação de $m.s^{-1}$ para $km.h^{-1}$.

2.3.2.2.3. O limiar anaeróbio individual de Stegmann e Kindermann

Stegmann e Kindermann (1981) referem que a individualidade da cinética da curva de concentração de lactato sanguíneo nos atletas treinados corresponde a um equilíbrio máximo inferior às 4 mmol.l^{-1} . Desta forma, desenvolveram um método para a determinação do limiar anaeróbio individual, a partir das alterações de lactatemia durante e após um teste de incremento progressivo de carga funcional em que se procurava determinar qual a carga máxima em que a produção e eliminação do lactato estão em equilíbrio. A determinação resultava da tangente à curva de concentração de lactato sanguíneo, a partir do ponto em que a lactatemia pós-exercício é coincidente com o valor máximo obtido no final do teste. A necessidade de inúmeros doseamentos

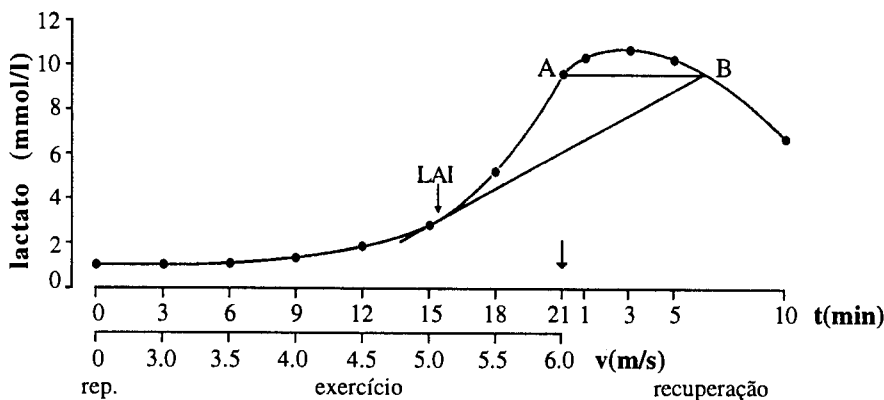


Figura 14 - Cinética do lactato durante exercício incremental em tapete rolante. A seta acima da abcissa e o ponto (A) assinalam o final do exercício, enquanto (B) assinala o momento em que a concentração de lactato pós-exercício iguala o valor em (A). A seta situada acima da curva marca o limiar anaeróbio individual (LAI). Adaptado de Urhausen et al. (1993).

durante o período de recuperação, até ao 10º min pós-exercício, acarreta incómodos múltiplos em termos de custo e de tempo.

Observando a figura 14, a seta acima da abcissa e o ponto (A) assinalam o final do exercício, enquanto (B) assinala o momento em que a concentração de lactato pós-exercício iguala o valor em (A). A seta situada acima da curva marca o limiar anaeróbio individual (LAI). A determinação é feita, traçando uma tangente à curva de concentração do lactato sanguíneo a partir do ponto (B).

2.3.2.2.4. O limiar anaeróbio individual de Bunc et al.

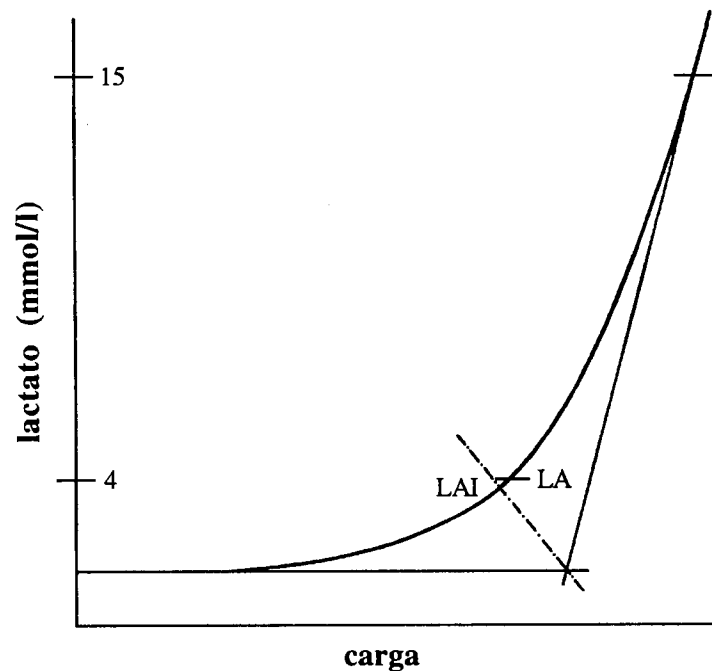


Figura 15 - Método de determinação do limiar anaeróbio individual (LAI) segundo Bunc et al. (1982). Adaptado de Heck (1990a).

Bunc et al. (1982) consideram como o limiar anaeróbio individual o ponto de inclinação maximal da curva na função lactato-carga em que o ponto de maior alteração da curva pode ser determinado por duas tangentes que passam pelo ponto de concentração mais baixa e pelo ponto e concentração correspondente a uma lactatemia de 15 mmol.l⁻¹. O limiar anaeróbio individual corresponde ao ponto que corta as duas tangentes, a partir da sua bicetriz de

intercepção. Este método é inadequado atendendo à elevada concentração de lactato (15 mmol.l^{-1}), o que implica um grau de fadiga muito elevado, tocando a exaustão, impróprio para crianças e jovens pouco treinados (figura 15).

2.3.3. Relação entre o limiar anaeróbio e o treino.

2.3.3.1. Tipos de resposta metabólica à corrida de longa duração.

Billat (1996) refere que o suporte metabólico e todos os requisitos energéticos que contribuem para a optimização da *performance* são função da duração e intensidade da carga a suportar na competição. Apesar da complexidade do metabolismo láctico, o interesse prático do limiar anaeróbio, através do estudo da cinética do lactato, é permitir uma correcta interpretação do impacto do treino, formular múltiplas hipóteses de calibração da carga e prever a *performance*.

Existem três tipos de resposta metabólica na corrida de longa duração, de acordo com a intensidade do exercício:

(1) a correspondendo a um $\text{VO}_2 \leq 40\%v\text{VO}_2\text{max}$ que ocorre durante uma corrida lenta, em que a FC não ultrapassa os 150 bpm e a quantidade de lactato formada é muito baixa devido à sua reoxidação nas fibras de contração lenta (tipo I) e/ou no miocárdio, não ultrapassando as 3 mmol.l^{-1} . O quociente respiratório oscila entre 0.7 e 0.8, testemunhando a utilização maioritária dos lípidos em relação aos glúcidos, o que equivale a dizer que estamos perante uma solicitação exclusiva do metabolismo aeróbio (Billat 1998);

(2) aumentando a velocidade da corrida para 40 a $60\%v\text{VO}_2\text{max}$, observam-se aumentos do VO_2 e da FC, mas sempre linearmente, embora a participação das fibras tipo IIa e IIb aumente, o que conduz a um aumento da produção de lactato (entre 2 e 4 mmol.l^{-1}) e a um aumento do débito ventilatório (Tesh et al., 1986);

(3) aumentando a velocidade para 65 a $90\%v\text{VO}_2\text{max}$ a evolução do VO_2 e da FC continua até atingirem um valor máximo, que estabiliza formando um *plateau* correspondente à $v\text{VO}_2\text{max}$. Esta fase corresponde a uma lactatemia mínima de 4 mmol.l^{-1} com tendência a subir de acordo com a duração do exercício, aumentando de forma exponencial até que o corredor atinja a $v\text{VO}_2\text{max}$. A partir desta intensidade, o aumento da lactatemia deve-se à solicitação da glicólise anaeróbia que suporta o encargo excedente de energia

necessária para o aumento de velocidade dita supramaximal. Se a intensidade oscilar entre 65 e 90% $v\dot{V}O_2\text{max}$, a acumulação de lactato atinge valores de $4\pm 2\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, ocorrendo uma ruptura no equilíbrio metabólico, uma vez que a produção é superior à remoção de lactato, o que produz uma hiperventilação (Poole e Gaesser 1985).

Perante o exposto, podemos verificar que os tipos (1) e (3) de resposta metabólica à corrida de longa duração correspondem, no primeiro caso a um *steady-state* em que a baixa concentração de lactato resulta de um equilíbrio entre a sua produção e remoção, enquanto que, no segundo caso, se chega rapidamente à fadiga, uma vez que se induz uma elevada acidose metabólica.

Entre estes dois estádios metabólicos existe outro (2), de transição, em que o metabolismo oxidativo perde exclusividade e ocorre um fornecimento adicional de energia glicolítica a que Mader et al. (1976) chamaram de limiar anaeróbio.

2.3.3.2. Factores limitativos da análise da concentração de lactato

A análise das concentrações de lactato no sangue, na sua fase inicial, era efectuada em laboratório, com a inserção de um catéter na artéria ou na veia cubital, sendo a sua permeabilidade assegurada pela infusão contínua de um soro salino isotónico. As amostras recolhidas por este método eram de 1 ou 2 mL, posteriormente analisadas num aparelho com pouca mobilidade, o que tornava difícil a sua utilização no terreno. Com o aparecimento no mercado de analisadores de lactato portáteis, de grande fiabilidade e comodidade, quer para o testado quer para o investigador, não só pela facilidade de recolha após punção efectuada com uma lanceta esterilizada, no lóbulo da orelha ou no dedo, mas também pelo tamanho (micro) da amostra (20 a 50 μL), a sua utilização permitiu grandes avanços na calibração da carga do treino e na predição da *performance*.

Jones e Ehrsour (1982) e Heck et al. (1985), a propósito da utilização do limiar anaeróbio correspondente a uma concentração de lactato de $4\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, averiguaram que, só após uma prévia definição e uma cuidadosa validação prática dos testes de laboratório, é possível transferir os dados para o terreno. Os mesmos autores acrescentam que a concentração de lactato não pode ser considerada um parâmetro integral, uma vez que não é apenas dependente da

capacidade de resistência do sujeito e da intensidade da carga, mas também da duração do exercício, o que conduz a diferentes curvas de lactatemia e consequentemente a diferentes valores de limiar anaeróbio.

Será que o limiar anaeróbio se altera em consequência de modificações no padrão de testagem no que se refere: (1) ao tipo de amostra recolhida; (2) à duração da carga; (3) à duração do tempo de recuperação entre patamares; (4) à heterogeneidade do equipamento utilizado?

No universo dos métodos de doseamento da concentração de lactato sanguíneo importa saber se o tipo de amostra recolhida interfere no resultado, considerando a quantidade e o tipo de sangue recolhido, assim como, o local de onde é extraído e a técnica de análise utilizada. Será que a manipulação da amostra através da adição de agentes anti-glicolíticos, estabilizadores para a sua preservação e armazenamento, assim como, a sua diluição ou centrifugação, podem influenciar o resultado final?

Decker e Rosenbaum (1942), Johnson et al. (1944), Sahla et al. (1964), Yoshida et al. (1982), Buono e Yeager (1986), Harris e Dudley (1989), Foxdal et al. (1990) concluíram que diferentes tamanhos da amostra conduzem a diferentes valores nas concentrações de lactato. Foxdal et al. (1991) comprovam que o volume de sangue recolhido para análise da lactatemia deve ser standardizado sob pena de se obterem valores pouco fiáveis. Estudos efectuados com amostras de tamanhos heterógeneos, entre 20 e 50 μL , apresentaram diferentes valores, apesar de oriundos da mesma colheita. Os mesmos autores aconselham os 25 μL como volume ideal.

Yoshida et al. (1982), Foxdal et al. (1990), Foxdal et al. (1991), Welsman (1992) reconhecem que o tipo de sangue recolhido apresenta resultados diferentes na relação entre a intensidade do exercício e a concentração sanguínea de lactato. As análises efectuadas em sangue arterial, venoso, capilar, venoso-arterializado apresentam, segundo estes autores valores distintos e, consequentemente, diferentes do limiar anaeróbio, não podendo ser comparados entre si a não ser que se apliquem factores de correção. Yoshida et al. (1982) efectuaram um teste por incrementos até à exaustão no ergómetro manual, numa amostra de 8 indivíduos do sexo masculino, tendo recolhido min a min as concentrações de lactato no sangue arterial e venoso. Os resultados evidenciam uma diferença substancial no início da acumulação de lactato

acima dos níveis de repouso, que ocorre no sangue arterial a $37.0 \pm 1.5\%$ $VO_2\text{max}$ e no sangue venoso a $55.0 \pm 3.8\%$ $VO_2\text{max}$.

Yeh et al. (1983) efectuam um estudo com 8 indivíduos que efectuaram dois testes no cicloergómetro, cujo protocolo consistia em 3 min de carga zero e 3 min a $20 \text{ W} \cdot \text{min}^{-1}$ de carga, em rampa, até à exaustão. Foram recolhidas amostras em simultâneo de sangue arterial e venoso no segundo teste. O limiar anaeróbio não foi determinado, no entanto, as mesmas alterações no sangue venoso ocorriam 1.5 min depois de terem ocorrido no sangue arterial, sendo assim, este preferível para análises mais fidedignas.

Foxdal et al. (1991) realizam um estudo com bombeiros ($n=10$), cujo objectivo era determinar as diferenças nas concentrações de lactato em diferentes tipos de amostra sanguínea. Os elementos da amostra efectuaram um teste por incrementos de intensidade submáxima no cicloergómetro com a duração total de 25 min, tendo sido recolhidas amostras de sangue venoso e capilar de 5 em 5 min, para determinação das concentrações de lactato no sangue arterial, capilar e no plasma sanguíneo. Uma concentração de lactato sanguíneo de $4 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ foi utilizada como referência para comparar o consumo de oxigénio e a intensidade do exercício, que era 17% inferior quando o lactato plasmático era comparado com o lactato do sangue venoso e 12% mais baixo para o sangue capilar. Estes autores concluem que o valor de OPLA (*onset of plasma lactate accumulation*) utilizado por Farrel et al. (1979) e de OBLA (*onset of blood lactate accumulation*) recolhido por Sjödín e Jacobs (1981), apesar de apresentarem uma correlação elevada com a *performance* na maratona ($r = 0.98$ e $r = 0.96$, respectivamente), são distintos, sendo necessária a utilização de amostras sanguíneas standardizadas para se encontrarem valores fiáveis.

Williams et al. (1992) efectuam dois estudos, aplicando um teste por incrementos no tapete rolante, em nove sujeitos (21.1 ± 1.3 anos). No estudo 1, foram analisadas as concentrações de lactato recolhidas na artéria braquial (A), veia antecubital (V) e no capilar do dedo (C). No estudo 2, foram investigadas as diferenças nas concentrações de lactato no sangue total (WB), no sangue lisado (LB) e no plasma (P), através de um analisador de lactato YSI 23 AM. No estudo 1, não foram encontradas diferenças significativas entre as concentrações de lactato recolhidas em 3 locais distintos. No estudo 2, as concentrações médias de lactato foram de sangue WB, $4.7 \pm 2.7 \text{ mM}$; LB, 5.0

+/- 3.0 mM; P, 7.0 +/- 3.8 mM. Os valores do plasma foram significativamente mais elevados que os do sangue total e do sangue lisado. Estes autores concluem que: (1) não existem diferenças significativas entre as concentrações de lactato recolhidas no sangue arterial ou no sangue venoso; (2) são recomendadas as concentrações de lactato recolhidas a partir dos capilares que reflectem os valores do sangue arterial; (3) as concentrações de lactato observadas no sangue total, no sangue lisado e no plasma influenciam de forma heterogénea a predição da *performance*.

Yoshida et al. (1982), Foxdal et al. (1990), Foxdal et al. (1991), Welsman (1992) são de opinião que a utilização de sangue venoso para cálculo do limiar anaeróbio induz em erros, uma vez que o músculo do antebraço consome lactato antes do sangue chegar à veia antecubital, onde é realizada a recolha.

Telford (1984) e Welsman (1992) atestam que as concentrações de lactato em sangue total são 10 a 30% mais baixas, que as obtidas no plasma sanguíneo.

Stainsby e Welch (1966), Jorfeldt (1970), Issekutz et al. (1976), Poortmans et al. (1978) comprovam, nos seus estudos, que o lactato produzido também era utilizado nos músculos inactivos, o que comprova que as amostras recolhidas em diferentes locais do corpo humano produzem concentrações heterogéneas e conseqüentemente limiares anaeróbios distintos.

No entanto, Yoshida et al. (1982), Foxdal et al. (1990), Foxdal et al. (1991), Welsman (1992) afirmam que o limiar anaeróbio de sangue recolhido no lóbulo da orelha ou no dedo da mão apresenta valores idênticos.

Yoshida et al. (1982), Buono e Yeager (1986), Harris e Dudley (1989), Foxdal et al. (1990) concluíram nos seus estudos que a heterogeneidade no tratamento da amostra, para análise das concentrações de lactato conduz, a resultados díspares.

Sangue total, plasma, serum, sangue desproteinizado, apresentam concentrações de lactato 10 a 30% mais baixas que os valores do plasma (Telford, 1984; Welsman 1992).

Bishop et al. (1992) efectuaram um estudo em 26 sujeitos (18 homens e 8 mulheres), tendo recolhido amostras de sangue para análise da concentração de lactato, em três momentos: em repouso, após uma corrida efectuada no TR a uma intensidade correspondente a 80% da FC máxima e 5

minutos após uma corrida até à exaustão, também no TR. O objectivo deste estudo era conhecer: (1) a relação entre a concentração plasmática e sanguínea de lactato; (2) a fiabilidade de vários analisadores de lactato; (3) o nível de estabilidade da amostra, quando armazenada mais que uma semana. Estes autores concluíram que os níveis de concentração de lactato, encontrados nas 3 situações descritas, podem ser preditos a partir da análise do plasma com um $r^2 > 0.95$.

Existem vários modelos de analisadores de lactato como os Yellow Springs Instruments 1500, Yellow Springs Instruments 2300, Accusport, Dr. Lange, Lactate Pro, Analox GM7, Analox LM3, Kodak Ektachem, ABL 700, entre outros, e o resultado das concentrações da mesma amostra apresentam resultados diferentes. São conhecidas as diferenças entre os valores obtidos no Yellow Springs Instruments 1500 e no Accusport (Bourdon, 2000). Clough et al. (1997) sugerem que 95% dos valores obtidos com o Accusport são 2.6 mmol.l⁻¹ abaixo ou 2.1 mmol.l⁻¹ acima dos obtidos no Yellow Springs Instruments 2300. No entanto, Pinnington e Dawson (1997) referem uma boa associação entre os resultados nas concentrações de lactato efectuadas pelo Accusport e o Analox LM3. Fell et al. (1998) comprovam que existe uma boa correlação ($r = 0.98$) entre as análises das concentrações de lactato efectuadas pelo Accusport e o Kodak Ektachem, sobre valores que atingem os 20mmol.l⁻¹ e que apresentam uma variação que não excede os 1.1 mmol.l⁻¹. Pyne et al. (2000), num trabalho efectuado com atletas de elite, analisaram as concentrações sanguíneas de lactato em vários analisadores: (1) ABL 700 ($n = 172$ amostras), (2) Accusport ($n = 118$ amostras) e Yellow Springs Instruments 2300 ($n = 22$ amostras), tendo concluído que as correlações entre o Lactate Pro e os ABL 700, Yellow Springs Instruments 2300 e Accusport eram $r = 0.98$, $r = 0.99$ e $r = 0.97$, respectivamente. McNeely (2001) num estudo comparativo entre as concentrações de lactato analisadas no Lactate Pro e no Yellow Springs Instruments 1500 apresentaram um coeficiente de correlação de 0.9964.

Foxdal et al. (1996), Bourdon (2000) atestam que podemos avaliar os protocolos para determinação do limiar anaeróbio segundo dois critérios, para que sejam considerados um índice fiável: (1) os incrementos devem ser suficiente pequenos para que o limiar láctico possa facilmente ser identificado, assim como, a relação curvilínea entre o lactato e o trabalho produzido, para

permitir determinar não só o limiar anaeróbio, mas também, o maxLass e as intensidades correspondentes a concentrações de 2, 2.5, 3 e 4 mmol.l⁻¹; (2) cada patamar deve ser suficientemente longo para que permita determinar com rigor a concentração de lactato, correspondente a cada intensidade.

Yoshida et al. (1984), Heck et al. (1985), Rusko et al. (1986), McLellan (1987), Freud et al. (1989), Foxdal et al. (1996) afirmam que a concentração sanguínea de lactato é afectada pela duração da carga e demonstram que, quanto mais longa for a sua duração, mais baixo é o valor do limiar anaeróbio.

Wasserman et al. (1973) encontram valores idênticos para o limiar anaeróbio, quando utilizou patamares com a duração de 1 ou 4 minutos.

Yoshida (1984), numa réplica do trabalho efectuado por Wasserman et al. (1973), utilizando também patamares com a duração de 1 e 4 minutos, chegou à mesma conclusão.

Hagberg (1984) sugere a utilização de patamares com a duração de 10 minutos.

Hurley et al. (1984) apuram que as concentrações sanguíneas de lactato, observadas em testes por incrementos, apresentam elevadas correlações com diferentes tipos de *performance*.

Weltman (1990) reconhece que a determinação do limiar anaeróbio e dos diferentes níveis de lactato apresentam os mesmos resultados nos testes incrementais, quer utilizemos patamares com 3 minutos ou 10 minutos de duração.

Bourdon (2000) verifica que patamares com uma duração de 3 e 5 min não são os mais adequados para determinar a intensidade máxima de exercício, correspondente ao limiar anaeróbio.

Foxdal et al. (1994) mencionam que o design experimental óptimo para determinar o limiar anaeróbio deve incluir patamares com a duração de 8 min, em vez de 4 ou 6 min e incrementos de 0.25 m.s⁻¹ em vez de 0.5 m.s⁻¹.

Hughson et al. (1982) sumarizam que o limiar anaeróbio, determinado num teste no tapete rolante com a potência de 8 W.min⁻¹ é menor que quando se utiliza uma potência de 65 W.min⁻¹.

Estudos recentes de Foxdal et al. (1996) sugerem patamares com a duração de 5 a 8 minutos, como os ideais para uma correcta determinação do limiar anaeróbio.

Heck et al. (1985) comparam a duração dos patamares (3 ou 5 min), num estudo com 16 indivíduos do sexo masculino num teste por incrementos de carga progressivos de 0.4 m.s⁻¹, a partir das velocidades iniciais de 2.6, 3.0 ou 3.4 m.s⁻¹ de acordo com a capacidade de cada um. Os resultados evidenciaram uma amplitude de concentrações entre 3 e 5.5 mmol.l⁻¹, nos testes de 3 min a média do limiar anaeróbio foi de 3.5 ± 0.6 mmol.l⁻¹, enquanto nos testes, com patamares de 5 min, o valor médio obtido foi de 4.05±0.86 mmol.l⁻¹. Estes valores indicam que, nos testes com patamares de 3 min, a velocidade correspondente ao limiar anaeróbio apresentou-se deslocada em 0.16 m.s⁻¹ para velocidades mais elevadas, o que implica uma sobrestimativa da carga funcional.

Heck et al. (1985) realizam um estudo com 15 estudantes de desporto saudáveis em que compararam a influência no limiar anaeróbio da utilização de patamares com durações variáveis (3.5, 5.5 e 7.5 min) e de tempos de recuperação heterogéneos (0.5, 1.0 e 1.5 min), tendo encontrado uma diferença de 0.16 m.s⁻¹ na velocidade de corrida correspondente ao limiar das 4 mmol.l⁻¹ no teste com patamares com durações variáveis (3.5, 5.5 e 7.5 min - 2 minutos entre cada um).

A duração do tempo de recuperação entre os patamares nos testes por incrementos também afecta o valor do limiar anaeróbio, que será tão mais elevado quanto maior for o intervalo (Foster et al., 1995).

Heck et al. (1985) realizam um estudo com 15 estudantes de desporto saudáveis em que compararam a influência no limiar anaeróbio da utilização de patamares com tempos de recuperação heterogéneos (0.5, 1.0 e 1.5 min), tendo encontrado uma diferença pouco significativa (P = 0.362).

Fink et al. (1975) e MacDougall et al. (1974) demonstram que temperaturas elevadas proporcionam aumentos nos valores das concentrações de lactato, quer em repouso, quer em exercício.

Therminarias (1989) e Flore et al. (1992) sugerem que quanto menor for a temperatura, maior é a intensidade a que ocorre o limiar anaeróbio.

Weltman (1995) nota que o limiar anaeróbio determinado a intensidades submáximas é mais elevado em altitude que ao nível do mar.

2.3.3.3. Efeito do treino na concentração sanguínea de lactato.

Os estudos efectuados por inúmeros investigadores referem o limiar anaeróbio como o parâmetro de nível preditivo mais elevado para a *performance* de longa duração (Farrel et al. 1979, Sjödin e Jacobs 1981, Hagberg e Coyle 1983, Skinner 1987, Fay et al. 1989, Yoshida et al. 1990, Coyle et al. 1991, Harrison et al 1992, Farrell et al. 1993). Farrel et al. (1979, 1993) em estudos efectuados com atletas masculinos bem treinados comparou o nível preditivo do limiar anaeróbio, neste estudo designado por OPLA (*onset of plasma lactate accumulation*), do $VO_2\text{max}$, da economia de corrida (VO_2 correspondente a $268 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$) em distâncias de 3.2, 9.7, 15, 19.3 km ($n = 18$) e na maratona ($n = 13$). Os autores concluíram que a correlação mais elevada com a *performance* em todas as distâncias pertencia ao limiar anaeróbio e que a velocidade a que ocorria era muito próxima da velocidade da maratona, tendo os autores concluído que a melhoria de uma implicaria a melhoria da outra.

Sjödin e Jacobs (1981) num estudo efectuado com maratonistas masculinos ($n=18$), que correram a Maratona de Estocolmo 1979, pretendiam conhecer o nível preditivo do OBLA (*onset of blood lactate accumulation*), concluindo que a velocidade da maratona correspondia a 87% da v_{OBLA} (velocidade correspondente a uma acumulação de lactato de $4 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) e que esta era responsável por 92% da sua variância.

Stegmann e Kindermann (1982) num estudo efectuado com remadores ($n=19$) verificaram que 15 deles possuíam um limiar anaeróbio inferior a 4 mmol/l .

Tanaka e Matsuura (1984) comparam a velocidade correspondente ao limiar anaeróbio (v_{LAN}) com a v_{OBLA} para saber qual seria a mais próxima da velocidade da maratona. Os resultados demonstraram que a v_{LAN} ($4.57 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) era a mais próxima da velocidade da maratona ($4.49 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) e substancialmente diferente de v_{OBLA} ($5.30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Os autores concluíram que o limiar anaeróbio, considerado neste estudo como o ponto de ruptura metabólica, ajudava a determinar com muito rigor (diferia em 2%) a velocidade da maratona.

O limiar anaeróbio tornou-se assim no parâmetro individual com melhor poder preditivo relativamente à corrida de média e longa duração, o que está de acordo com a dependência que evidencia de factores como o $VO_2\text{max}$, a economia de corrida e a $\%VO_2\text{max}$ utilizada (Farrel et al., 1979; Sjödin e Jacobs,

1981; Yoshida et al., 1990; Coyle et al., 1991). É actualmente encarado como um critério paradigmático na avaliação da capacidade aeróbia e, simultaneamente, um instrumento essencial no controlo e aconselhamento do treino de atletas de meio-fundo e fundo (Santos, 1995b), podendo definir perfis competitivos nos mais variados desportos (Janeira, 1994).

Muitos outros estudos envolvendo outros tipos de exercício que não a corrida, como os efectuados com marchadores, ciclistas, nadadores, remadores, esquiadores de fundo, entre outros (Hagberg e Coyle, 1983; Droghetti et al., 1985; Coyle et al., 1988; Coyle et al., 1991; Harrison et al., 1992; Madsen e Lohberg, 1987; Skiner, 1987; Underwood, 1987) e até com sedentários (Duggan e Tebbutt, 1990) confirmaram o limiar anaeróbio como o indicador com maior valor preditivo.

Allen et al. (1985) verificaram que a velocidade, correspondente ao limiar anaeróbio, encerra um nível preditivo elevado da *performance* nos 10000m e na maratona.

Sjödín e Svedenhag (1985) referem que enquanto o $VO_2\text{max}$ explica 61% da variância de *performance* na maratona, o limiar anaeróbio explica cerca de 92 %.

Apesar do consenso entre os investigadores quanto ao elevado valor preditivo do limiar anaeróbio, a sua variação interindividual questiona a validade do patamar das 4 mmol.l⁻¹. Para além de todas as interrogações que subsistem em torno do valor fixo das 4 mmol.l⁻¹ (Kindermann et al., 1979; Stegman et al., 1981; Sjödín et al., 1982; Davis, 1985; Gonin, 1985; Chassain, 1986; Billat et al., 1994), vamos considerá-lo na validação prática do limiar anaeróbio, partindo do princípio que o erro que daí decorre na prescrição do treino e na predição da *performance* é pouco significativo.

Apesar dos atletas de meio fundo e fundo bem treinados apresentarem um limiar anaeróbio abaixo das 4 mmol.l⁻¹, enquanto sedentários e atletas de outros desportos apresentam o limiar anaeróbio perto das 4 mmol.l⁻¹, não podemos rejeitar o valor fixo das 4 mmol.l⁻¹ como parâmetro de treino apesar da sua grande variação interindividual.

2.3.3.3.1. Intensidade do treino para melhorar o limiar anaeróbio.

Williams et al. (1964) foram pioneiros a avaliar o efeito do treino no limiar anaeróbio, enquanto Hollmann (1981) e Jacobs (1986) foram os primeiros a reconhecer maior racionalidade na determinação de níveis para a intensidade do treino, a partir das concentrações sanguíneas de lactato.

Costill (1986) e Weltmann et al. (1990) são de opinião que a precisão na aplicação da carga de treino só pode ser desenvolvida pela sua individualização, a partir do limiar anaeróbio e que este representa a intensidade óptima para potenciar a capacidade aeróbia.

MacDougall (1977) e Weltmann (1989) afirmam que o treino, efectuado a uma intensidade correspondente ao limiar anaeróbio, é garantia da sua elevada qualidade e eficácia na medida em que o seu estímulo aeróbio é o mais elevado possível, mercê da não acumulação de ácido láctico e por isso não compromete a sua longa duração.

Hirvonen (1992) afirma que é necessário por isso desmistificar junto de treinadores e atletas alguns constrangimentos e manifestações de rejeição em relação ao treino efectuado a uma intensidade correspondente ao limiar anaeróbio, quer este seja pelo método dos intervalos ou pelo método contínuo.

Wells e Pate (1988), Weltman et al (1992) e Carter e Jones (1999) efectuaram estudos em que reforçam a importância da utilização do limiar láctico e do limiar ventilatório na calibração da carga do treino. Estes autores referem que a adaptação sistemática ao treino passa pela capacidade crescente de sustentar uma intensidade (velocidade de corrida), cada vez mais elevada, sem acumulação sanguínea de lactato, associada à possibilidade de efectuar qualquer exercício, seja qual for a sua intensidade relativa ou absoluta, a uma lactatemia cada vez mais baixa. Para estes investigadores, a intensidade de corrida, correspondente a uma concentração de lactato sanguíneo de 4 mmol.l⁻¹ (v_4), deve aumentar, após determinado período de treino, para atestar da sua eficácia e conseqüentemente da melhoria da capacidade aeróbia.

Knuttgen (1972) e Jorfeld (1978) demonstraram que em exercícios contínuos efectuados a uma intensidade correspondente a 50 a 60 % VO_2 max, o lactato muscular não aumenta.

Tanaka et al. (1984) Wenger e Bell (1986) Priest e Hagan 1987), Walsh e Banister (1988) verificaram que a intensidade correspondente a uma lactatemia

de 4 mmol.l⁻¹ é idêntica a 80-90% do VO₂max ou ao ritmo de competição sobre distâncias de 10 a 16 km, representa a intensidade óptima para a melhoria da capacidade aeróbia.

Weltman (1990) sugere que o limiar anaeróbio de 4 mmol.l⁻¹ corresponde em atletas de elite a 95% da FC máxima, 95% da FC reserva e 95% do VO₂max.

Casaburi et al. (1995) num estudo efectuado com sedentários (n=27) que efectuaram 5 sessões de treino de 30 min por semana, durante 5 semanas a intensidades correspondentes a 80% do limiar anaeróbio e $\Delta 25\%$, $\Delta 50\%$ e $\Delta 75\%$ (Δ é a diferença entre a velocidade correspondente ao limiar anaeróbio e aquela a que ocorre o VO₂max), concluíram que não existiam diferenças significativas entre os grupos que treinaram a uma intensidade idêntica ou inferior ao limiar anaeróbio.

Acevedo e Goldfarb (1989) num estudo efectuado com atletas masculinos bem treinados (n = 7), pretendiam saber qual o efeito do aumento da intensidade do treino em vários indicadores metabólicos e respiratórios, entre os quais os limiares anaeróbio e ventilatório. Através de um *fartlek* efectuado 3 dias.semana⁻¹, durante 8 semanas, em que era aumentada a intensidade do treino para 85 a 90% da FCmax, verificaram que não se registaram alterações no VO₂max, mas ocorreram melhorias significativas no rendimento. Diminuíram significativamente as lactatemias para intensidades entre 85-90% do VO₂max mas não se observaram diferenças nessas concentrações entre 65-80% do VO₂max. Lactatemias de 2.5 mmol.l⁻¹ e de 4 mmol.l⁻¹ ocorreram a uma percentagem significativamente superior do VO₂max. As alterações nas lactatemias foram dissociadas das alterações observadas no limiar anaeróbio ventilatório. Os resultados obtidos confirmam que os fundistas podem melhorar a *performance* nas provas de longa duração, através da diminuição da lactatemia à intensidade habitual do treino, apesar da ausência de alterações no VO₂max e no limiar anaeróbio ventilatório.

Sjödín et al. (1982) numa amostra de corredores bem treinados, (n=8) acrescentaram ao seu treino normal uma sessão de 20 min de corrida no tapete rolante a uma intensidade correspondente à v₄, durante 14 semanas, tendo concluído que o limiar anaeróbio melhorou significativamente.

Carter et al. (1999) averiguaram em alunos de ciências do desporto que efectuavam diariamente uma actividade motora multidisciplinar, o efeito da

intensidade do treino no limiar anaeróbio, utilizando um grupo experimental (n=16) e um grupo de controlo (n=8) que não efectuou qualquer tipo de treino. Todos os elementos da amostra efectuaram um teste no tapete rolante para determinação do VO_2max e da v_4 e v_3 (velocidades correspondentes a lactatemias de 4 e 3 mmol.l^{-1} , respectivamente). Durante 6 semanas, o grupo experimental efectuou unidades de treino de (1) corrida contínua com a duração de 20 a 30 min à v_4 (FC com $\pm 5\text{bpm}$ que a correspondente ao limiar anaeróbio) 2 a 3 vezes por semana e (2) treino intervalado com 10 repetições de 2 min a uma intensidade correspondente a 10 bpm acima da FC correspondente ao limiar anaeróbio, com o tempo de recuperação necessário para que a fc desça a -10 bpm da FC correspondente ao limiar anaeróbio. A velocidade de corrida correspondente à v_4 aumentou no grupo experimental de $11.2 \pm 1.8 \text{ km.h}^{-1}$ para $11.9 \pm 1.8 \text{ km.h}^{-1}$, enquanto não sofreu alteração significativa no grupo de controlo.

Henritze et al. (1985) numa amostra de 33 estudantes universitárias do sexo feminino com uma média de idades de 21.8 anos, que participam num programa de treino de 5 dias.semana⁻¹, durante 12 semanas, pretendem conhecer o efeito do treino quando efectuado a intensidades superiores ao limiar anaeróbio. Os elementos da amostra foram divididos em 3 grupos todos com o mesmo número de sujeitos. O grupo 1 (n=11) treinou a uma intensidade 69 W superior à correspondente ao limiar anaeróbio. O grupo 2 (n=12) utilizou uma intensidade idêntica à do limiar anaeróbio. O grupo 3 (n=10) era o grupo de controlo. O grupo 1 melhorou significativamente o VO_2 correspondente ao limiar anaeróbio (48%) e o grupo 2 evoluiu 16%.

Keith et al. (1992) verificam num estudo se o treino efectuado a uma intensidade idêntica à v_4 era mais ou menos eficaz que se utilizadas intensidades próximas de v_4 . Os elementos da amostra foram divididos em 3 grupos que foram avaliados antes e 4 e 8 semanas depois de um período de treino. O grupo 1 de controlo (G1C), o grupo 2 (G2), que treinou pelo método contínuo durante 30 min a uma intensidade correspondente à v_4 e o grupo 3 (G3) que treinou pelo método dos intervalos, com 4 repetições de 7.5 min (30 min), com intensidades que alternavam entre -30% abaixo da diferença entre a v_4 e $v\text{VO}_2\text{max}$ e acima +30% da diferença entre v_4 e $v\text{VO}_2\text{max}$. A potência do exercício aumentou de 70.5 para 79.8% VO_2max no grupo 2 e de 71.1 a 80.7%

VO₂max no grupo 3. Os autores concluíram que é tão eficaz o treino contínuo a uma intensidade correspondente ao Lan, como o treino contínuo com intensidades variáveis.

Tanaka et al. (1986) estudam durante 4 meses, meio-fundistas (n=20; 19-23 anos) que além do treino normal realizam duas sessões semanais de 60 a 90 min a intensidades correspondentes ao limiar anaeróbio. A alteração de vários parâmetros foi a seguinte, analisando o comportamento de várias variáveis, antes e após o processo de treino: VO₂ (ml.kg⁻¹.min⁻¹) correspondente ao Lan: 45.1 ± 5.1 contra 47.7 ± 4.8; % VO₂max correspondente ao Lan: 69.8 ± 5.3 contra 70.5 ± 4.8; VO₂max (ml.kg⁻¹.min⁻¹) 64.4 ± 3.8 contra 67.5 ± 3.9. Também se registou uma evolução na *performance* dos 10000m de 34 min 02 s ± 70 s para 32 min 27 s ± 61 s, assim como na velocidade correspondente ao limiar anaeróbio de 222 ± 26 m.min⁻¹ para 230 ± 28m.min⁻¹.

Weltman et al. (1992) examinaram o efeito do treino a intensidades igual e acima do limiar anaeróbio, numa amostra de mulheres sedentárias (n = 24), tendo concluído que o grupo que treinou a intensidades mais altas apresentou níveis de %VO₂max e vVO₂max mais elevados.

Londeree (1997) num levantamento estatístico sobre 34 artigos científicos que incluem 85 investigações, cujo objectivo é determinar o efeito da intensidade do treino no limiar anaeróbio, concluiu que uma intensidade idêntica ao limiar anaeróbio era a ideal para sedentários, mas que para sujeitos treinados a intensidade deveria ser superior.

Foster et al. (1995) sugerem que uma variação consistente de *steady-state* se situa entre 2.5 e 4.0 mmol.l⁻¹ e corresponde a uma intensidade de 85 a 90% da obtida nos testes de 5 km efectuado com ciclistas.

Daniels (1993) afirma que a intensidade ideal para correr em equilíbrio corresponde a 91 a 94% da velocidade correspondente à melhor marca sobre 5000 m.

Fohrenbach (1987) reconhece que a intensidade da corrida contínua no treino deve variar entre atletas de meio-fundo e fundo do sexo feminino, de acordo com a distância da competição preconizando uma intensidade de 3.5 mmol.l⁻¹ para as corredoras de 800 m e entre 1 e 1.5 mmol.l⁻¹ para as maratonistas. O mesmo autor afirma que uma intensidade de 100% na

maratona para atletas masculinos corresponde a níveis lácticos entre 2 e 3 mmol.l⁻¹, quer para o treino quer para a competição (figura 16).

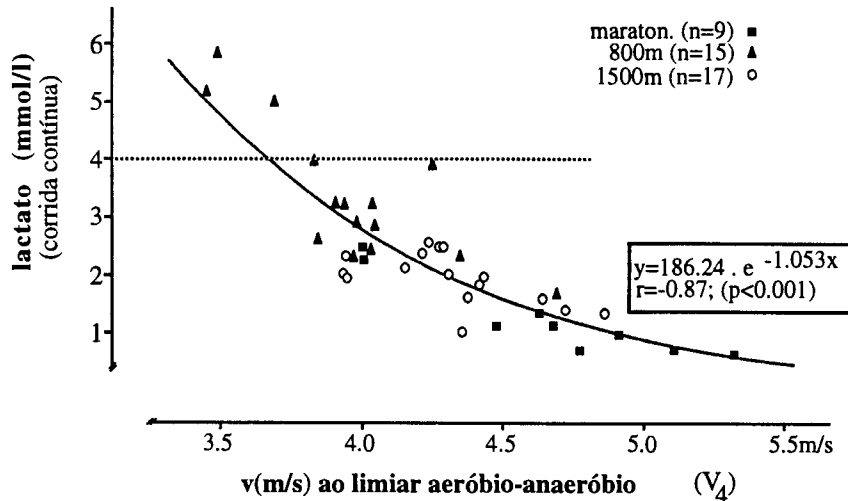


Figura 16 - Relação entre a lactatemia habitual no treino de corrida contínua e a velocidade (m/s) correspondente ao limiar aeróbio-anaeróbio (V_4) em corredoras de meio-fundo e fundo. Adaptado de Föhrenbach (1987).

Mader e Heck (1991) comprovam que a diminuição da intensidade da corrida contínua era directamente proporcional a um aumento do volume da carga, num estudo efectuado com atletas femininos (6 maratonistas, 22 corredoras de 1500m e 16 especialistas em 800m) e masculinos (12 corredores de 3000-5000-10000m e 16 especialistas em 800-1500m). Estes autores concluíram que o volume de treino de corrida (km.sem⁻¹) atingia valores elevados nas maratonistas e a intensidade se situava entre os 75 a 80 % V_4 . Os corredores de 800-1500 efectuavam um treino de corrida contínua com um volume semanal relativamente baixo (80 km.sem⁻¹) a intensidades que oscilavam entre os 85 e os 90% V_4 . Por sua vez, as corredoras de 800m efectuavam a corrida contínua a uma intensidade muito elevada (90 a 95% V_4 e o volume semanal era francamente baixo (<60km.sem⁻¹) (figura 17).

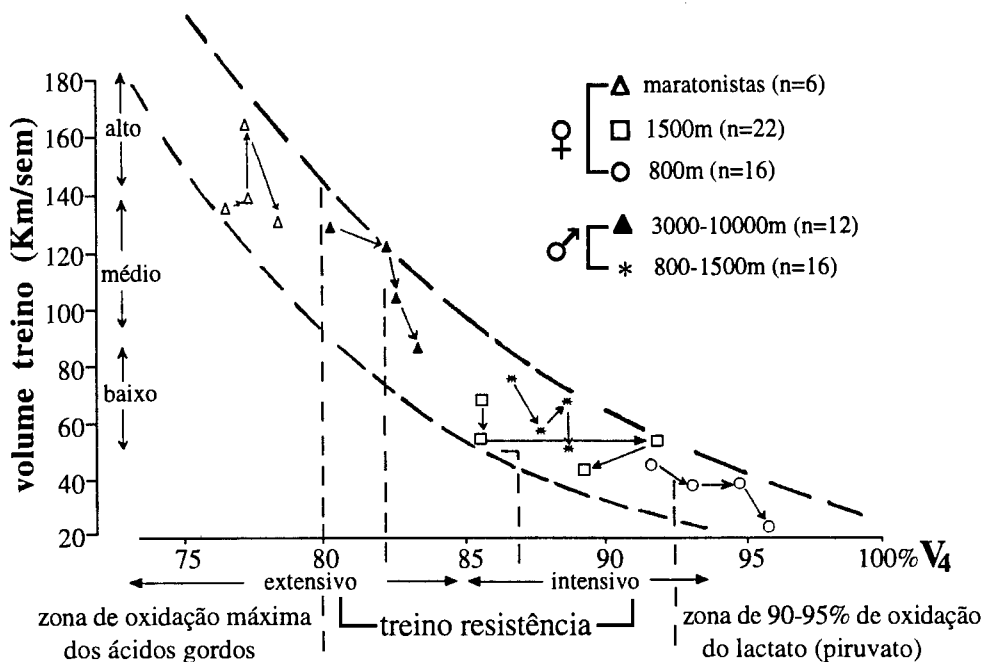


Figura 17 - Relação entre o volume e a intensidade da corrida contínua em atletas de meio-fundo e fundo. Adaptado de Mader e Heck (1991) e Santos (1995b).

Segundo Gigliotti (1991) e Faraggiana (1991) o maratonista italiano Gelindo Bordin que tem como melhor marca 129.45 min, efectuava um total de 280 km por semana de corrida, sendo 210 km (85% do total) efectuada a intensidade inferior a 2mmol.l^{-1} , 42 km (15% do total) entre $2 < 4\text{mmol.l}^{-1}$ e os restantes 28 km (5% do total) a intensidades superiores a 4mmol.l^{-1} .

Santos (1996), num estudo efectuado com corredores de 5000 - 10000 metros (G1) (n=19; melhor marca 5000m - 14.0 min; 10000m - 29.22 min) e maratonistas (G2) (n=8, melhor marca - 132.83 min), determinou a v_4 através do protocolo de Mader et al. (1976). O valor da v_4 para o G1 foi de 5.31 m.s^{-1} e para o G2 de 5.46 m.s^{-1} . O G1 efectuava a corrida contínua a 82% v_4 e o G2 a 79% da v_4 , correspondentes a uma lactatemia média de 0.95 mmol.l^{-1} e 0.85 mmol.l^{-1} , respectivamente. Os maratonistas evidenciaram uma capacidade aeróbia (v_4) superior à dos corredores de 5000-10000m, tendo este autor concluído que a intensidade e o volume do treino aeróbio efectuado sob a forma de corrida contínua, estava dentro do intervalo aconselhado por Mader e Heck (1991) (figura 17)

Gaesser e Poole (1986) num trabalho efectuado com sedentários (n=6) que cumpriram um programa de treino que contemplava sessões de 30 min efectuadas a uma intensidade entre 70 e 80 % do $VO_2\text{max}$, seis dias por semana, durante 3 semanas, encontraram um aumento significativo no limiar anaeróbio.

Sahlin (1992) refere que o exercício efectuado a uma intensidade superior ao limiar anaeróbio está associado a uma fadiga mais rápida, devido ao efeito da acidose metabólica na função contráctil do músculo esquelético ou a uma depleção acelerada do glicogénio muscular.

Em síntese é possível referir o seguinte:

O limiar anaeróbio é a intensidade do exercício, velocidade ou fracção do $VO_2\text{max}$ correspondente a um nível de lactato sanguíneo determinado. A sua determinação a partir das concentrações sanguíneas de lactato envolve uma grande variedade de métodos de determinação, designações e conceitos. O seu valor altera-se em consequência do padrão de testagem quanto: (1) ao tipo de amostra (quantidade, tipo de sangue e local de onde é extraído); (2) à duração da carga; (3) à duração do tempo de recuperação entre patamares; (4) à heterogeneidade do equipamento utilizado; (5) à técnica de análise utilizada. A manipulação da amostra através da adição de agentes anti-glicolíticos, estabilizadores para a sua preservação e armazenamento, assim como, a sua diluição ou centrifugação, também influenciam o resultado final, o que põe em causa a resposta láctica ao exercício na grande maioria dos protocolos utilizados e consequentemente a eficácia da extrapolação dos valores a considerar na calibração do treino. Para atenuar este problema, surgiu o conceito de equilíbrio máximo de lactato (MaxLass) que consiste na carga constante de duração mais elevada, capaz de proporcionar uma lactatemia estabilizada, sendo o seu valor médio de 4 mmol.l⁻¹.

O lactato acumula-se quando a taxa de aparecimento é superior à taxa de renovação, no nosso estudo adoptamos o termo de limiar anaeróbio para designar este ponto de ruptura, que corresponde à velocidade de corrida que induz uma concentração de lactato de 4 mmol.l⁻¹.

Os métodos de determinação do limiar anaeróbio podem ser directos ou indirectos utilizando os primeiros (invasivos) a análise sanguínea do lactato e

os segundos (não invasivos) as alterações das trocas gasosas e da frequência cardíaca.

O interesse prático do limiar anaeróbio, através do estudo da cinética do lactato, é permitir uma correcta interpretação do impacto do treino, formular múltiplas hipóteses de calibração da carga e predizer a *performance*.

A intensidade correspondente a uma lactatemia de 4 mmol.l^{-1} é idêntica a 80-90% VO_2max , 90% $v\text{VO}_2\text{max}$, 95% FC máxima e 95% FC reserva. Uma velocidade ligeiramente superior àquela a que ocorre o limiar anaeróbio representa a intensidade óptima para a sua potenciação.

O limiar anaeróbio é o parâmetro de nível preditivo mais elevado para a *performance* de longa duração, quando comparado com o VO_2max , a economia de corrida e a % VO_2max utilizada à velocidade da competição.

A grande proximidade entre a velocidade a que ocorre o limiar anaeróbio e a velocidade da maratona sugere que a melhoria de uma implica a melhoria da outra. O objectivo do treino na maratona é desenvolver as capacidades metabólicas e cardiovasculares de forma a otimizar o fornecimento de energia ao músculo esquelético, de acordo com as necessidades da competição. A corrida da maratona depende quase que exclusivamente da energia resultante da fosforilação oxidativa, que corresponde a velocidades relativas a uma concentração de lactato sanguíneo inferior a 4 mmol.l^{-1} .

O exercício efectuado com uma baixa acumulação de lactato no sangue, permite desenvolver no atleta a capacidade de suportar o mais tempo possível este tipo de estímulo, não sendo objectivo do treino correr cada vez mais rápido, mas sim suportar cada vez mais tempo uma situação de acidose metabólica ligeira. Interessa pois potenciar no atleta a capacidade de suportar uma intensidade em que a capacidade de produção de lactato é ligeiramente ultrapassada pela capacidade de remoção. Uma carga de treino que provoque uma lactatemia de 4 mmol.l^{-1} é óptima para reduzir as concentrações de lactato a intensidades submáximas. A preocupação em desviar a curva de acumulação de lactato para a direita deve privilegiar o treino pelos métodos contínuo e dos intervalos, adoptando uma intensidade ligeiramente superior à correspondente ao limiar anaeróbio.

Os conteúdos do treino com maior impacto na *performance* da maratona são: (1) treino pelo método de duração, utilizando a corrida contínua de longa

duração (≥ 90 min para uma distância entre 32 e os 40 km e uma intensidade correspondente a 75% $vVO_2\text{max}$ e a uma lactatemia entre 1.5 e 2.5 mmol.l^{-1}), cujo objectivo fundamental é solicitar o metabolismo das gorduras, esgotar as reservas de glicogénio muscular, potenciar a nível celular e cardiovascular adaptações que ajudem a processar e utilizar o oxigénio; (2) Treino pelo método dos intervalos, utilizando a corrida à velocidade correspondente ao limiar anaeróbio, corresponde a 90% da $vVO_2\text{max}$ (lactatemia igual a 4 mmol.l^{-1}); (3) Treino pelo método de duração (20 a 25 km por unidade de treino) utilizando a corrida ao ritmo da maratona, permitindo potenciar os padrões neuromusculares necessários ao longo da competição (lactatemia entre 2.5 e 3.5 mmol.l^{-1}); (4) Treino pelo método dos intervalos a uma intensidade correspondente a 100% da $vVO_2\text{max}$ para o desenvolvimento da potência aeróbia (lactatemia superior a 4 mmol.l^{-1}).

As velocidades de corrida, que provocam uma concentração de lactato no sangue entre 2.5 e 3 mmol.l^{-1} , são as que permitem predizer a *performance* da maratona com o menor erro padrão de estimativa.

2.4. Génesis e evolução da metodologia de treino para a maratona.

2.4.1. A corrida da maratona.

A 12 de Setembro do ano 490 AC, persas e gregos degladiavam-se na planície de Maratona pela posse de Atenas. Heródoto, historiador grego, que viveu entre 484 e 425 AC, refere que o general ateniense Miltiade enviou o soldado Fidípides a Esparta, situada a cerca de 240 km, em busca de ajuda. Uma vez que os espartanos celebravam em honra de Carneia e não podiam combater antes da lua cheia, Fidípides, a correr e a caminhar, fez em poucos dias a viagem de regresso ao campo de batalha, onde encontrou os companheiros a iniciar os festejos da vitória sobre os persas. Apesar de cansado, novamente sob as ordens de Miltiade, correu cerca de 39 km até Atenas para anunciar a boa nova. Mal aí chegou, gritou "alegrem-se, vencemos" após o que morreu de exaustão.

Em sua honra, em 1896, 24 séculos mais tarde, em Atenas, nos primeiros Jogos Olímpicos da era moderna, 17 atletas correram a primeira maratona olímpica, ganha pelo grego Spiridon Louis, em 2h 58min 50s (apenas 40 km).

A maratona de Boston, a mais antiga de todas as que anualmente se disputam, aconteceu no ano seguinte.

A 24 de Julho de 1908, a maratona dos Jogos Olímpicos de Londres teve o seu início no castelo de Windsor e terminou no Estádio Olímpico, tendo os 27 atletas chegados corrido 26,2 milhas. Esta distância, que equivale a 42195 metros, foi adoptada como a medida oficial da maratona, mas só oficializada nos Jogos Olímpicos de Paris em 1924. Até então, a maratona não possuía uma distância standardizada.

A maratona feminina passou a fazer parte do calendário olímpico nos Jogos Olímpicos de Los Angeles, em 1984.

Clarence deMar, medalha de bronze nos Jogos Olímpicos de Paris em 1924 e vencedor de 7 das 34 maratonas de Boston que disputou, afirma no seu livro de memórias (DeMar Life Story, 1937, reeditada em 1981, The New England Press of Shelburne, Vermont.) que os corredores de maratona eram considerados nos anos vinte como excêntricos.

A maratona foi considerada, até às décadas de 60 e 70 uma prova menor, desinteressante, sobrehumana e destinada aos atletas em fim de carreira.

Nas décadas de 70 e 80, a maratona deixou de ser apanágio de uma minoria e passou a ser uma competição para todos. As causas da sua massificação são diversas e interagem entre si. Instituições governamentais do mundo industrializado, preocupadas com o crescente sedentarismo da população, apelam à prática do exercício físico como forma de potenciar a saúde e a condição física. A partir de então, a corrida torna-se um fenómeno socialmente aceite, quer para homens quer para as mulheres e o treino e a competição tornam-se rapidamente um hábito quotidiano. A desmitificação da corrida de longa duração contribui para que a maratona passe a ser uma prova como outra qualquer e à sua volta começam a girar interesses económicos, sociais e políticos. Assim, tornou-se usual qualquer grande cidade organizar a sua maratona anual e com a ajuda dos *mass media* reunir grandes interesses comerciais. Estes acontecimentos tiveram um papel manifestamente decisivo no *boom* da corrida e consequentemente na democratização da prática desportiva, juntando atletas muito experientes com outros que apenas pretendiam finalizar a prova.

Em todo o mundo, a maratona passou a ser a prova olímpica do atletismo que reunia mais praticantes.

Em França, em 1976, disputaram-se 17 maratonas que reuniram cerca de 4000 participantes.

Após o *boom* da prática generalizada da corrida nas décadas de 70 e 80, o número de atletas que terminam maratonas cresce um pouco por todo o mundo. Só nos EUA, esse número aumenta cerca de 10% anualmente, tendo meio milhão de pessoas alcançado esse desiderato no ano 2000.

Este crescente interesse pela corrida contribuiu para que a maratona seja hoje uma das áreas de investigação das ciências do desporto mais profusamente estudada, quer ao nível dos atletas de elite, quer dos mais lentos.

A moderna tecnologia permite monitorizar os atletas e estabelecer uma relação entre o treino efectuado, caracterizado pela sua duração, intensidade e densidade com indicadores fisiológicos, como a FC, o consumo de oxigénio e outros parâmetros a si relativizados ($v\dot{V}O_2\max$, $t_{lim}v\dot{V}O_2\max$, $d_{lim}v\dot{V}O_2\max$), a velocidade correspondente ao limiar anaeróbio, a velocidade correspondente ao MaxLass, o custo energético da corrida e a *performance*. A partir daqui, é possível estabelecer relações entre os modelos empíricos, fisiológicos e matemáticos que caracterizam a corrida.

2.4.2. Modelo empírico caracterizador da *performance* desportivo-motora da maratona a partir de uma relação com a carga de treino.

A grande quantidade de volume de treino, efectuado pelos maratonistas, é provavelmente responsável por adaptações metabólicas e cardiovasculares, apesar de parecer evidente a existência de um limiar abaixo ou acima do qual não ocorrerá qualquer adaptação. A essência do treino é a procura destes limiares mínimos e máximos que permitam uma correcta calibração da carga para o desenvolvimento de uma dinâmica em que a duração, a intensidade e a frequência interajam eficazmente entre si. Os factores limitativos destas adaptações decorrem de factores genéticos e das idades cronológica e de treino.

Glover e Shepherd (1977) mencionam que um volume de treino semanal de 40 a 45 km não é suficiente para ultrapassar o "muro" que acontece na maratona entre os 24 e os 32 km.

Pollock (1977) afirma que alguns maratonistas de elite correm em média 160 km por semana. No quadro seguinte, podemos comparar a *performance* de alguns atletas de elite daquela época com o volume de treino efectuado.

Quadro 21 - Relação entre a *performance* (p[t]) na maratona e o número de km efectuados por semana, segundo Pollock (1977)

Atleta	(p[t])	Km.semana ⁻¹
Cusak	133.39	120
Galloway	139.37	110
Kenedy	139.58	75
Moore	131.36	90
Pate	135.30	90
Shorter	130.30	120
Wayne	136.16	110
Williams	135.18	89

Young (1978) refere que um maratonista deve efectuar pelo menos 100 km por semana.

Shelley e Donovan (1982) sugerem que um debutante na maratona deve fazer uma média de 70 km por semana, nos três meses que antecedem a competição.

Hartung e Squires (1982) verificam num estudo efectuado com maratonistas, que os mais novos (idade = 23.9 ± 7.7) correram a maratona em 206.9 ± 36.1 min e os mais experientes (idade = 45.9 ± 6.6) gastaram 206.0 ± 26.7 min, tendo efectuado uma média semanal entre 48 e 81 km.

Helgerud et al. (1990) mencionam que um grupo de maratonistas masculinos (n=6) com uma *performance* média de 199.42 min, efectua semanalmente 88 km de corrida contínua.

Num outro estudo (Helgerud, 1994) elaborado com maratonistas masculinos (n=6) com uma *performance* média de 159.72 min, verificou-se que estes percorreram semanalmente 33 km distribuídos por três unidades de treino.

Kyrolainen (2000), num estudo efectuado com triatletas (n=7) experientes (uma mulher e seis homens), assinala que estes realizaram mensalmente 160 ± 21 km e conseguiram uma *performance* na maratona entre 165 e 200 min.

Os estudos de Foster et al. (1977), Daniels et al. (1978), Conley et al. (1981) e Dotan et al. (1983) quantificaram o contributo individual de cada

conteúdo do treino na *performance*, ao individualizarem o nível preditivo de cada um, tendo concluído que existe uma relação directa entre o volume de treino e a *performance*.

Slovic (1977) sugere que os maratonistas mais rápidos percorreram mais quilómetros por semana, que os mais lentos, nas segunda e terceira semanas que antecederam a maratona e que a *performance* na maratona e o número de quilómetros percorridos apresenta um índice de correlação elevado ($r=0.65$).

Dotan et al. (1983) observam que a distância percorrida nos 2 a 3 meses que precedem a maratona, permite predizer a *performance*.

Scrimgeour et al. (1986) pretendem conhecer a interrelação entre a *performance* e o volume de treino em maratonistas masculinos ($n=30$). Os atletas foram divididos em grupos de dez, de acordo com o volume de quilómetros percorridos por semana. Concluíram que existe uma relação directa entre o volume de treino e a *performance* (grupo A: $<60 \text{ km.semana}^{-1} \Rightarrow 193.0 \pm 21.5 \text{ min}$; grupo B: $60-100 \text{ km.semana}^{-1} \Rightarrow 186.6 \pm 17.5 \text{ min}$; grupo C: $>100 \text{ km.semana}^{-1} \Rightarrow 158.7 \pm 14.1 \text{ min}$).

Hagan et al. (1981), verificaram em maratonistas ($n=50$) que a distância corrida nos dois meses que antecederam a competição apresenta uma elevada correlação ($r=0.67$) com a *performance* (139-298 min).

Sjodin e Jacobs (1981) replicaram este estudo com maratonistas ($n=18$) e comprovam que o volume em quilómetros percorridos nos dois meses que antecederam a maratona apresenta uma elevada correlação ($r=0.94$) com a *performance* (144-252 min).

Sjodin e Svedenhag (1985) averiguam a interrelação entre a *performance* e o volume de treino em maratonistas masculinos ($n=38$). Os atletas foram divididos em grupos, de acordo com a distância média corrida por semana tendo concluído que existe uma relação directa entre o volume de treino e a *performance* [grupo de elite ($n=12$; $p(t) \leq 150 \text{ min}$): $145 \pm 9 \text{ km.semana}^{-1}$; grupo de bons corredores ($n=16$; $p(t) \leq 180 \text{ min}$): $115 \pm 6 \text{ km.semana}^{-1}$; grupo de corredores lentos: ($n=7$; $p(t) > 180 \text{ min}$): $57 \pm 10 \text{ km.semana}^{-1}$].

Maughan (1990) num estudo efectuado, com maratonistas masculinos ($n=468$) que terminaram a mesma maratona, encontrou uma boa correlação ($r=-0.54$), entre a média de quilómetros efectuados por semana nos 6 meses que

antecederam a competição e a *performance*. O mesmo autor correlacionou alguns conteúdos de treino utilizados com a *performance* e os valores obtidos: (1) média de quilómetros efectuados por semana $r = -0.54$; (2) distância mais elevada utilizada no treino semanal ($r = -0.46$); (3) semana com quilometragem mais elevada ($r = -0.60$). Também encontraram uma relação significativa entre a idade de treino e a *performance* ($r = -0.32$).

Yeung et al. (2001) observam, num estudo com maratonistas que participaram na maratona de Hong Kong em 1998, que entre os atletas que terminaram a prova ($n = 55$) e aqueles que não o conseguiram ($n = 58$), os primeiros correram em média por semana 51.94(38.04) km e percorreram na sessão mais longa de corrida contínua 27.51(30.9) km contra 8.57(19.32) km e 5.44(7.53)km, para os desistentes.

2.4.3. Metodologia de treino para a maratona.

Não abundam publicações que descrevam com rigor a metodologia do treino específica para esta competição, quer para os atletas de elite quer para os menos talentosos. No entanto, apresentamos em seguida, de uma forma sintética, o que de mais relevante, em nossa opinião, foi divulgado por especialistas do treino (Lenzi, 1987) e investigadores das ciências do desporto (Costill, 1986; Daniels, 1998; Pfitzinger e Douglas, 2001) sobre a metodologia de treino para a maratona.

2.4.3.1. Metodologia de treino para a maratona de David Costill

Costill (1986) elabora uma metodologia para o treino da maratona em que utiliza intensidades de corrida relativizadas ao limiar anaeróbio: (1) intensidade menor que a velocidade correspondente a uma concentração sanguínea de lactato de 4 mmol.l^{-1} ($<v_4$); (2) velocidade correspondente a uma lactatemia de 4 mmol.l^{-1} (v_4); (3) velocidade superior à correspondente a uma concentração de 4 mmol.l^{-1} ($>v_4$). Este plano de treino considerava apenas 6 unidades de treino (UT), por semana, durante 6 semanas (36 UT no total), sendo 26 abaixo da v_4 , 5 iguais à v_4 e seis superiores à v_4 . Este mesociclo-tipo (quadro 22), contempla um baixo volume de treino por semana (58 km) e pretende potenciar em simultâneo o limiar anaeróbio e o VO_2max . Não representando nada de relevante, com excepção da calibração da carga a partir

da v4, esta metodologia de treino para a maratona é de construção rudimentar demonstrando um desequilíbrio entre o volume de treino efectuado sob a forma de corrida contínua (± 42 km) e o desenvolvido pelo método dos intervalos.

Quadro 22 Mesociclo-tipo da metodologia de treino para a maratona, segundo Costill (1986)

	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7
Semana 1	12.5 km <v4	6x1600m <v4	10x800m >v4	6.5 km <v4	13 km <v4	20x400m >v4	Repouso
Semana 2	16 km <v4	3x3200m =v4	15x600m <v4	8 km <v4	8x1600m =v4	13 km <v4	Repouso
Semana 3	19 km <v4	8x1600m <v4	2x6400m =v4	9.5 km <v4	20x400m >v4	14.5 km <v4	Repouso
Semana 4	14.5 km <v4	6x2400m <v4	10x800m >v4	8 km <v4	14.5 km <v4	15x600m <v4	Repouso
Semana 5	17.5 km <v4	4x3200 <v4	8x1600m =v4	9.5 km <v4	20x400m >v4	14.5 km <v4	Repouso
Semana 6	22.5 km <v4	30x300m >v4	2x8 km <v4	11 km <v4	9x1600m =v4	16 km <v4	Repouso

2.4.3.2. Metodologia de treino para a maratona de Giampaolo Lenzi

Lenzi (1987), na época treinador nacional de Itália para a maratona, calibra o treino a partir das concentrações sanguíneas de lactato. Por exemplo, para Orlando Pizzolato, com base na velocidade ($5.72 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) correspondente ao limiar anaeróbio (v_{Lan}) organiza a metodologia de treino considerando os seguintes parâmetros caracterizadores (quadro 23): (1) treino pelo método dos intervalos, com repetições de 1000m ou 2000m e um volume total de 10-12 $\text{km}\cdot\text{semana}^{-1}$ a uma intensidade de 103% v_{Lan} o que corresponde a uma velocidade de $5.88 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; (2) treino pelo método dos intervalos, com repetições de 3000m ou 5000m e um volume total de 10-12 $\text{km}\cdot\text{semana}^{-1}$ a uma intensidade de 100% v_{Lan} o que corresponde a uma velocidade de $5.72 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; (3) treino pelo método contínuo, com uma duração de 30 a 40 min, a uma intensidade de 97% v_{Lan} o que corresponde a uma velocidade de $5.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; (4) treino pelo método contínuo, UT sobre uma distância entre 12 e 21 km, efectuados à velocidade da maratona, a uma intensidade de 93% v_{Lan} o que corresponde a uma velocidade de $5.32 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; (5) treino pelo método contínuo, UT com uma duração de 40 a 80 min, a uma intensidade de 90% v_{Lan} o que corresponde a uma velocidade de $5.15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; (6) treino pelo método contínuo, UT com uma duração de 40 a 80 min, a uma intensidade de 85% v_{Lan} , o que

corresponde a uma velocidade de 4.85 m.s⁻¹; (7) treino pelo método contínuo, UT com uma duração de 150 min, a uma intensidade de 80% vLan, o que corresponde a uma velocidade de 4.58 m.s⁻¹.

Quadro 23 Metodologia de treino para a maratona para atletas de elite, segundo Lenzi (1987)

método	duração (min)	volume (km)	repetições	intensidade (%vLan)	t1000m	velocidad e (m.s ⁻¹)	intervalo
intervalado	•	10-12	1000m 2000m	103	2min 50s	5.88	4 - 3 min
intervalado	•	12-15	3000m 5000m	100	2min 55s	5.72	4 - 3 min
contínuo	30-40			97	3min 00s	5.55	
contínuo v maratona		12-21		93	3min 08s	5.32	
contínuo v média 1	40-80			90	3min 14s	5.15	
contínuo v média 2	40-80			85	3min 26s	4.85	
contínuo v lenta	150			80	3min 38s	4.58	

Faraggiana (1991) responsável pelo controlo do treino dos fundistas italianos efectuava a avaliação do nível de eficiência dos maratonistas, 15 dias antes da competição principal, através de um teste com 5 incrementos (5x2000m) para análise metabólica do lactato. Nos patamares utilizados, por exemplo com Gelindo Bordin, são consideradas as seguintes velocidades: 5.26 m.s⁻¹; 5.34 m.s⁻¹; 5.41 m.s⁻¹; 5.48 m.s⁻¹; 5.56 m.s⁻¹. Atendendo aos baixos valores de acidose metabólica alcançados, esta investigadora concluiu existir uma correlação elevada entre a velocidade média da maratona (V_{maratona}) e a velocidade de corrida correspondente a uma lactatemia de 2mmol.l⁻¹ (V_2 lactato). Este valor revela-se uma ajuda preciosa no controlo da intensidade da corrida durante a competição. A relação específica entre 2 e 4 mmol.l⁻¹ ($v_4 = 100\%$, $V_2 = 86\%$) permite o controlo e a calibração do processo de treino, principalmente nas intensidades de corrida a utilizar para os desenvolvimentos da capacidade oxidativa e da tolerância e adaptação à acidose.

Gigliotti (1991), que como Daniele Faraggiana também pertence à equipa de Giampaolo Lenzi, considera uma velocidade predita para a maratona de

5.52 m.s⁻¹ (3min01s.km⁻¹) e um volume de 280 km.semana⁻¹ para construir a metodologia de treino de Gelindo Bordin. A capacidade aeróbica é desenvolvida por corridas entre 12 a 16 km, a 5.68 m.s⁻¹, ou pelo método dos intervalos com 3 repetições de 7km a uma intensidade crescente próxima da utilizada na corrida contínua (5.59m.s⁻¹, 5.62m.s⁻¹, 5.68m.s⁻¹) e uma recuperação activa com corrida mais lenta (5.32m.s⁻¹-5.26m.s⁻¹). Esta sessão termina com 8x1000m a 5.71m.s⁻¹ com recuperação efectuada à velocidade da maratona, i.e., 5.52 m.s⁻¹. A intensidade da corrida contínua pode ser a seguinte: (1) nos microciclos orientados para o volume, 85% da corrida contínua é lenta (inferior a 2 mmol.l⁻¹), 10% é efectuada a intensidade média (entre 2 e 4 m mol/l) e 5% a um nível relativamente elevado (acima de 4 mmol.l⁻¹). Numa semana com um volume total de 280 km percorridos estes valores correspondem para a corrida contínua lenta a 238km (85%), para a corrida contínua média a 28 km (10%) e para a corrida contínua rápida a 14 km (5%); (2) nos microciclos orientados para a intensidade a corrida contínua a intensidade média (entre 2 e 4 mmol.l⁻¹) não excede os 15% (42 km) e a corrida contínua rápida (acima de 4 mmol.l⁻¹) não ultrapassa 28 km, o que implica que os 85% da corrida contínua lenta correspondem a 210km.

2.4.3.3. Metodologia de treino para a maratona de Jack Daniels

Os meios e métodos que integram a metodologia de treino para a maratona, segundo Daniels (1995), são os seguintes (quadro 24): (1) a corrida contínua de duração, efectuada de forma fácil, a uma intensidade correspondente a 65 a 70% VO₂max, i.e., 74.6s mais lenta por km que a melhor marca aos 10000 m. Este método de treino permite correr sem fadiga respiratória e tem como objectivo a cardiovascularização dos músculos activos, i.e., o desenvolvimento das características físicas, químicas e metabólicas do músculo. Quando a sua duração não ultrapassa os 60 min, Daniels (1995) designa-as por *easy steady runs* (E) e quando a sua duração é superior a 60 min por *long steady runs* (L); (2) a corrida a uma intensidade correspondente ao limiar anaeróbio (*Threshold Training*), permitirá ao atleta manter um ritmo rápido de corrida sem grande acumulação de lactato, porque a remoção total deste metabolito não é possível. Este tipo de treino, cuja duração ideal oscila entre 40 a 60 min pode ser efectuada de duas formas: (2.1) pela corrida contínua (*Steady*

Threshold Training ou *Tempo Running*); (2.2) ou pelo método dos intervalos (*Intermittent Threshold Training* ou *Tempo Intervalls* ou *Cruise Intervalls*). A primeira forma é normalmente referenciada como *Tempo Running* (T) e consiste em corrida de duração não superior a 20 min, à velocidade correspondente ao limiar anaeróbio ou ligeiramente superior, i.e., 9.3 a 12.4 s mais lento por km que o ritmo dos 10000m. A segunda forma de potenciar o limiar anaeróbio, normalmente designada por *Intermittent Threshold Training* (Ti), efectua-se pelo método dos intervalos, com repetições de 3 a 8 mn de duração e um tempo de recuperação de 1min, à mesma intensidade do *Tempo Running*, i.e., 9.3 a 12.4 s mais lento por km que o ritmo dos 10000m. As distâncias mais utilizadas são os 800m, 1000m, 1200m, 1600m e 2000m. Quando ocorre a adaptação do atleta a este método de treino é aconselhável aumentar o volume e manter a intensidade. A sua duração total, resultado do somatório das repetições e dos tempos de recuperação deve oscilar entre 30 e 40mn; (3) o treino pelo método dos intervalos (*Interval Training*) permite potenciar o $VO_2\max$, podendo ser efectuado de diversas formas. A duração de cada repetição não deve exceder 5min e o intervalo deve assentar numa rácio 1:1, i.e., a um esforço de 4min deverá corresponder um tempo de recuperação idêntico. A intensidade utilizada é idêntica à dos 5000 m, ou seja aquela capaz de ser suportada durante 15 min. Uma corrida ao ritmo do $VO_2\max$ não pode ser mantida por mais de 10 a 12 min, o que implica a utilização de um número reduzido de repetições. Este tipo de treino permite ao atleta treinar à intensidade do $VO_2\max$ em tempos acumulados (por repetições) o que é muito mais eficaz que se efectuado sob a forma de corrida contínua. Um total de 30min para cada sessão de treino intervalado (I) chega para quem corre 112 a 120 km por semana. Durante períodos de treino mais intensos podem efectuar-se duas UT por semana em que cada uma deve conter 8% do volume total de km percorridos semanalmente em corrida contínua; (4) o treino pelo método repetitivo (*Repetition Training* ou *Rep Runs*) contempla repetições efectuadas a uma intensidade superior à do treino intervalado, com uma duração entre 30 a 90 s. O tempo de recuperação é 4 a 6 vezes superior ao tempo de exercitação. Numa UT de *Repetition Training* (R) o somatório das repetições corresponde a 5% do número de km percorridos na semana, não excedendo 20min de duração total. A intensidade deve ser igual a uma velocidade 3 a 5 s mais rápida

que o ritmo de competição para a distância que se pretende treinar para corridas superiores a 5Km. Este método de treino desenvolve a economia de corrida, a noção de andamento, a velocidade e a coordenação de movimentos. A este tipo de treino podem ser associados multisaltos e rampas, efectuadas sempre com um tempo de recuperação total; (5) a corrida à velocidade da maratona (MP - *marathon pace runs*) também é considerada nesta metodologia de treino. As MP devem ser efectuadas à velocidade que se pretende utilizar na competição, i.e., entre 12.4 e 18.6 s por km mais lento que a vLan.

Quadro 24 Meios e métodos de treino para a maratona, escalonados pela ordem crescente da intensidade, adaptado a partir de Daniels (1995, 1998)

	Easy (E)	Long (L)	Tempo (T)	Intermittent (Ti)	Interval (I)	Repetition (R)
Objectivo	<ul style="list-style-type: none"> • Aquecimento • Recuperação • Retorno calma • Construção 	Adaptação do músculo esquelético e cardíaco	Melhorar Lan		Melhorar VO ₂ max	Melhorar EC
Intensidade	65-75% VO ₂ max		86-88% VO ₂ max		98-100% VO ₂ max	>100% VO ₂ max
Duração	20-60mn	60-120mn	20mn	3-10mn	30s-5mn	30s-1mn30s
Intervalo Rácio w:TR	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	1mn	rácio w:TR = 1:1	rácio w:TR = 1:5
Volume por UT	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	8% Km.sem. ⁻¹ ≤ 10 km		5%Km.sem. ⁻¹ ≤ 8 km

Daniels (1998) considera 4 etapas na metodologia de treino para a maratona.

A etapa 1 pode durar de seis a doze semanas dependendo da vontade de cada um em adquirir pela corrida contínua uma base sólida de volume de treino até se sentir apto para experimentar intensidades mais elevadas. Afim de facilitar a adaptação, o aumento do volume de treino deve ocorrer de 3 em 3 semanas com incrementos de 17 km, sendo sugerido um volume semanal mínimo de 136 km. O treino duplo diário é aconselhado porque gera menos fadiga e facilita a adaptação. Nesta etapa o atleta pode efectuar no final da CC progressões de 100 m para uma rápida adaptação ao trabalho mais intenso a

utilizar na etapa seguinte. As sessões de corrida contínua são efectuadas de forma fácil (E) e em equilíbrio, a uma intensidade correspondente a 70% VO_2max , 75% vVO_2max e 75% FC máxima. O treino de corrida contínua mais longo (L) acontece pelo menos uma vez nas 3 últimas semanas com uma duração de 2h 30 min para percorrer não mais que 25% da quilometragem semanal (quadro 25).

Quadro 25 Microciclos tipo referentes à etapa 1 (semanas 5 e 6) da metodologia de treino para a maratona, segundo Daniels (1998)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
E 60 min CC + progressões 6x100m	E 60 min CC + progressões 6x100m	E 60 min CC	E 60 min CC	E 60 min CC + progressões 6x100m	E 60 min CC + progressões 6x100m	L CC longa 2h30min (± 25% volume semanal)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
E 60 min CC + progressões 6x100m	E 60 min CC + progressões 6x100m	E 60 min CC	E 60 min CC	E 60 min CC + progressões 6x100m	E 60 min CC + progressões 6x100m	L CC longa 2h30min (± 25% volume semanal)

A etapa 2 (semanas 7-12) que decorre durante 6 semanas (136 km, 42 UT), tem como objectivo principal desenvolver a EC. Para isso, efectuam-se 6 UT (uma por semana) pelo método repetitivo (R) com porções de corrida efectuadas a uma intensidade superior a 100% VO_2max (105-110 vVO_2max) e um tempo de recuperação que permita efectuar a repetição seguinte com a mesma qualidade da anterior, sendo aconselhada uma rácio de 1:5 entre o tempo de exercitação e o tempo de recuperação. Nesta etapa, a corrida contínua de longa duração, ocupa 73.8% do volume de treino, correspondentes a 31 UT, das quais 28 (66.6%) são efectuadas a um ritmo confortável, em equilíbrio (65-75% VO_2max ; 70-80% vVO_2max), com uma duração até 60 min (E) e as restantes 3 (L), à mesma intensidade, mas com duração superior (2h 30 min - 34 km). Para o desenvolvimento do limiar anaeróbio estão previstas 4 UT (9,5%) efectuadas a intensidades correspondentes à v_4 (88% VO_2max , 90% vVO_2max),

sob a forma de corrida contínua (T) no início e no final de corrida de longa duração (TLT) ou pelo método dos intervalos (Ti). Finalmente, a corrida à intensidade da maratona (MP) também é utilizada pelo menos uma vez neste mesociclo, onde o que interessa não é correr cada vez mais rápido, mas progressivamente, cada vez mais tempo (quadro 26).

Quadro 26 Metodologia de treino para a maratona, microciclos tipo referentes às semanas 11 e 12, da etapa 2, cujo objectivo principal é o desenvolvimento da EC.(Daniels, 1998)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
E 60 min CC	E 60 min CC + progressões 6x100m	R-5 8-10x400m i = 2-4W	E 60 min CC	E 60 min CC + progressões 6x100m	Ti-2 3x3200m i = 2	TLT-2 3x1600m i = 1 min + 1hE + 2x1600m i = 1 min

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
E 60 min CC	E 60 min CC + progressões 6x100m	R-1 6x(2x200+ 1x400) i = total	E 60 min CC	E 60 min CC + progressões 6x100m	E 60 min CC + progressões 6x100m	L CC longa 2h30min (± 25% volume semanal)

Quadro 27 Microciclos tipo referentes à etapa 3 (semanas 17 e 18) da metodologia de treino para a maratona, segundo Daniels (1998)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
E 60 min CC + progressões 6x100m	E 60 min CC	I-3 5x1600 i = 5min trote	E 60 min CC + progressões 6x100m	E 60 min CC	E 60 min CC	L CC longa 34 km

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
E 60 min CC	E 60 min CC	E 60 min CC + progressões 6x100m	I-3 5x1600 i = 5min trote	E 60 min CC	E 60 min CC + progressões 6x100m	MP 90 min velocidade maratona

A etapa 3 dura 6 semanas (13-18), equivalentes a 42 UT e um volume semanal de 153 km. O objectivo principal é potenciar o $VO_2\text{max}$ e para isso são efectuadas 6UT (uma por semana) pelo método dos intervalos (5x1600m; $i = 5\text{min}$) a uma intensidade correspondente a 100% $vVO_2\text{max}$ (I). Efectuam-se ainda 2 UT para desenvolver o limiar anaeróbio (TLT) e 2 UT de corrida contínua de longa duração à velocidade da maratona (MP). O tempo de recuperação entre cada UT efectuada a uma intensidade superior a 75% $vVO_2\text{max}$ é de 48 horas. Nesta etapa podem ainda ser efectuadas competições de 5000 e 10000m (quadro 27).

A etapa 4, constituída por 42 UT distribuídas por 6 microciclos (semanas 19-24), considera uma redução no volume de treino (112 km.semana⁻¹) e tem como objectivo fundamental potenciar o limiar anaeróbio. Assim, 21.4% do trabalho desenvolvido (9 UT) é para potenciar o Lan através de 4 UT (T), i.e., corrida contínua à v_4 (20min v_4 , $i = 5\text{min} + 2 \times 12\text{min } v_4$, $i = 2\text{min}$) e por 5 UT (Ti) i.e., pelo método dos intervalos também à intensidade da v_4 (4x12min v_4 , $i = 2\text{min}$). Para o atleta sentir a evolução da forma desportiva, estas corridas efectuadas à intensidade do Lan devem ser cada vez mais fáceis e agradáveis.

Quadro 28 Microciclos tipo referentes às semanas 21 e 22 da etapa 4 que integram a metodologia de treino para a maratona segundo Daniels (1998)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
E 60 min CC	E 60 min CC	Ti-2 4x12 min v_4 $i = 2\text{min}$	E 60 min CC	E 60 min CC	E 60 min CC	L-1 CC longa 38 km

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
E 60 min CC	E 60 min CC	E 60 min CC	T-2 20min v_4 $i = 5\text{min}$ + 2x12min v_4 $i = 2\text{min}$	E 60 min CC	E 60 min CC	MP 25 km vmaratona

Nesta etapa a competição deve ser uma excepção, mas a acontecer deverá ser efectuada nas 3 primeiras sobre distâncias de 21km (1/2 maratona) ou os primeiros 30 km de uma maratona, para o atleta simular todas as rotinas

(alimentação, sono, pequeno almoço, etc) que antecedem a competição principal (quadro 28).

Quadro 29 Microciclos tipo referentes às semanas 23 e 24 da etapa de *tapering* que integram a metodologia de treino para a maratona, segundo Daniels (1998)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
E 60 min CC	E 60 min CC	E 60 min CC	Ti-2 4x12 min v4 i = 2 min	E 60 min CC	E 60 min CC	L-2 CC longa 24 km

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
E 14 km CC	Ti-3 4x1000v4 i = 3 min	E 14 km CC	E 8 km CC	E 4 km CC	E 4 km CC	MARATONA

Antes da competição o atleta deverá efectuar 2 semanas de *taper*, i.e., uma diminuição da intensidade e do volume total de treino (90 km de acordo com os valores mínimos propostos para as outras etapas) (quadro 29).

Quadro 30 Número de unidades de treino referentes aos meios e métodos de treino utilizados por mesociclo na preparação da maratona segundo Daniels (1998)

	km.sem ⁻¹	E	L	R	TLT	Ti	I	MP
Etapa 1		39	3					
Etapa 2	136	28	3	6	2	2		1
Etapa 3	152	30	2		2		6	2
Etapa 4	112	30	2		4	5		1

Em síntese podemos referir que Daniels (1995, 1998) desenvolve em cada uma das etapas um objectivo específico (EC, Lan ou VO₂max) não obstante, os outros, apesar de subalternos, não são negligenciados. A etapa 1 apenas contém corrida contínua, a uma intensidade relativamente baixa (70%

VO₂max), ideal para a cardiovascularização dos músculos activos. Na etapa 2 o objectivo específico é o desenvolvimento da economia de corrida através do treino pelo método repetitivo. Na etapa 3 o mais importante é potenciar o VO₂max pelo método dos intervalos. Finalmente na etapa 4 o objectivo específico é o desenvolvimento do limiar anaeróbio, que ao contrário da EC e do VO₂max que apenas consagram uma etapa para o seu desenvolvimento específico, foi sendo desenvolvido nas etapas 2 (2 UT TLT + 2 UT Ti) e 3 (2 UT TLT + 0 UT Ti), adoptando uma ênfase principal o seu incremento na etapa 4 (4 UT TLT+5 UT Ti) (quadro 30).

2.4.3.4. Metodologia de treino para a maratona de Pete Pfitzinger e Scott Douglas.

A metodologia de treino para a maratona de Pfitzinger e Douglas (2001) tem a duração de 24 semanas distribuídas por 4 etapas. A primeira tem como objectivo o desenvolvimento da *endurance*, a etapa 2 pretende potenciar o limiar anaeróbio e continuar o desenvolvimento da *endurance*, a terceira designa-se como de preparação para a maratona e a etapa 4 é composta por duas semanas de *taper* e a semana da competição.

Os meios e métodos de treino utilizados são: (1) a corrida contínua de longa duração (LR - *long run*) com um volume superior a 27 km, efectuada a uma intensidade 10 a 20% inferior à da maratona; (2) a corrida contínua de longa duração, onde por UT o atleta percorre entre 18 e 27 km (MLR - *medium long run*), efectuada a uma intensidade idêntica a LR, i.e., 10-20% inferior à maratona; (3) a corrida contínua de duração, onde o atleta percorre por sessão entre 10 e 18 km (GA - *general aerobic run*), efectuada a uma intensidade 21-30% inferior à maratona; (4) a corrida contínua de duração inferior a 10 km (RR - *recovery run*), efectuada a uma intensidade idêntica a GA, i.e., 21-30% inferior à maratona; (5) o treino para desenvolver o limiar anaeróbio, pode ser efectuada de forma contínua com uma duração até 20 min (T - *threshold tempo runs*) ou pelo método dos intervalos a uma intensidade correspondente à corrida de 15 km (quando se utilizam repetições de 4 km) ou da meia maratona (quando se utilizam repetições de 7 km); (6) o treino para potenciar o VO₂max (VO_{2m} - *intervals*) efectuada pelo método dos intervalos com repetições de distâncias entre 600m e 2000m efectuadas a uma intensidade correspondente a 95-100% do VO₂max, o que corresponde segundo estes autores à intensidade dos 3000-

5000m; (7) as corridas de longa duração efectuadas à velocidade da maratona (MP - *marathon pace runs*), cujo objectivo não é correr cada vez mais rápido mas aumentar gradualmente o tempo em que o atleta suporta a intensidade da competição.

A etapa 1 que pretende o desenvolvimento da *endurance*, é a mais longa (10 semanas), contempla uma média de 136 km.semana⁻¹, distribuídos por 77 UT sendo a grande maioria (96.1%) de corrida contínua efectuada sobre distâncias e intensidades diferentes (37 UT para RR, 7 UT para GA, 6 UT para LR, 21 UT para MLR) e apenas 3 UT (3.9%) para potenciar o limiar anaeróbio (T). Nesta etapa não é utilizado qualquer treino ao ritmo da maratona (MP) nem com o objectivo de potenciar o VO₂max. No quadro 31 podemos observar os microciclos tipo referentes às semanas 9 e 10.

Quadro 31 Microciclos tipo referentes à etapa 1 (semanas 9 e 10) da metodologia de treino para a maratona, segundo Pfitzinger e Douglas (2001).

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
RR 9.5 km CC	Ti 16 km (Ti 21) + 6.5 km (Ti 15)	MLR 24 km CC	RR 9.5 km CC	MLR 21 km CC	RR 9.5 km CC	LR 32 km CC
RR 6.5 km CC						

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
RR 9.5 km CC	GA 16 km + S 10x100m	MLR 21 km CC	RR 9.5 km CC	MLR 18 km CC	RR 9.5 km CC	MLR 26 km CC
RR 6.5 km CC						

Legenda: RR - recovery runs; Ti - corrida efectuada pelo método dos intervalos a uma intensidade correspondente ao limiar anaeróbio; MLR - medium long run; GA - general aerobic; S - speed.

O principal objectivo da etapa 2 é o desenvolvimento do limiar anaeróbio e da *endurance*. A sua duração é de 6 semanas e contém 60 UT, 18 das quais são duplas. Curiosamente apenas 3 UT são específicas para potenciar o limiar anaeróbio, sendo as restantes assim distribuídas: 33 RR, 6 GA, 4 LR, 10 MLR, 2 VO₂max e 1 MP (quadro 32).

Quadro 32 Microciclos tipo referentes à etapa 2 (semanas 15 e 16) da metodologia de treino para a maratona, segundo Pfitzinger e Douglas (2001).

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
RR 9.5 km CC	GA 14.5 km	VO ₂ max 14.5 CC + 6x600m i = 1.30	RR 9.5 km CC	MLR 18 km CC + RR 6.5 km CC	GA 13 km + S 10x100m	MLR 26 km CC
RR 6.5 km CC			RR 6.5 km CC			

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
RR 9.5 km CC	RR 9.5 km CC	MLR 24 km CC	RR 9.5 km CC	T 19 km CC + T 11.5 km	RR 13 km CC	LR 38 km CC
RR 6.5 km CC	RR 6.5 km CC		RR 6.5 km CC	RR 6.5 km CC		

A etapa 3 é designada como de preparação da maratona, tem 5 semanas de duração e 58 UT, 16 das quais são duplas. Este mesociclo para além de conter 36 UT de corrida contínua efectuada a diferentes intensidades e distâncias (23 RR, 2 GA, 4 LR, 6 MLR e 1 MP) considera 6 UT para o desenvolvimento específico do VO₂max e nenhuma para potenciar o limiar anaeróbio. Nesta etapa os atletas podem participar em 3 competições. No quadro 33 podemos observar microciclos tipo correspondentes às semanas 20 e 21.

Quadro 33 Microciclos tipo referentes à etapa 3 (semanas 20 e 21) da metodologia de treino para a maratona, segundo Pfitzinger e Douglas (2001).

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
RR 9.5 km CC	VO2max 14.5 CC + 5x600m i = 1.30	MLR 22.5 km CC	RR 11 km CC + S 10x100m	RR 10 km CC	MP 24 km	LR 32 km CC
RR 6.5 km CC						

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
RR 9.5 km CC	RR 9.5 km CC	VO2max 20 km CC + 6x1200m i = 2 min	MLR 24 km CC + RR 6.5 km	GA 13 km CC + S 8x100m	RR 9.5 km CC	LR 36 km CC
RR 6.5 km CC	RR 6.5 km CC			RR 6.5 km CC	RR 6.5 km CC	

A etapa 4 engloba 3 semanas de preparação muito especial, sendo as duas primeiras de *taper* e a última de competição. A quilometragem semanal nos dois microciclos de *taper* é de 93 km e 74 km respectivamente e na semana da maratona apenas de 48 km. Este mesociclo contempla sómente 23 unidades de treino das quais duas são duplas. Uma grande percentagem (82.6%) do volume de treino (19 UT) é efectuado sob a forma de corrida contínua (12 UT para RR, 3 UT para GA, 1 UT para LR, 2 UT para MLR e 1 UT para MP). Sessões específicas para o desenvolvimento do Lan e do VO₂max ocorrem só uma vez neste mesociclo (quadro 34).

Sobre a metodologia de treino para a maratona, segundo Pfitzinger e Douglas (2001), em síntese, podemos referir o seguinte: o limiar anaeróbio é desenvolvido com maior incidência nas duas primeiras etapas, apesar de contemplar apenas 3 UT em cada uma. O VO₂max é apenas potenciado na

etapa 3, que por sua vez não contém qualquer UT para melhorar o limiar anaeróbio.

Quadro 34 Microciclos tipo referentes à etapa 4 (semanas 23 e 24) da metodologia de treino para a maratona, segundo Pfitzinger e Douglas (2001).

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
descanso	GA 14.5 km CC + S 8x100m	RR 8 km CC	VO2max 14.5 kmCC + 3x1600m i = 2 min	RR 8 km CC	GA 12 km CC + S 8x100m	MLR 21 km CC

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
descanso	RR 8 km CC	MP 13 km CC incluindo 3.5kmMP	RR 8 km CC	RR 8 km CC + S - 6x100m	RR 6.5 km CC	MARATONA
	RR 6.5 km CC					

Quadro 35 Número de unidades de treino referentes aos meios e métodos de treino utilizados por mesociclo na preparação da maratona segundo Pfitzinger e Douglas (2001)

	nº Semanas	UT	km. sem ⁻¹	UT _d	RR	GA	LR	MLR	T	VO _{2m}	MP	C
Etapa 1	10	77	136	7	37	7	6	21	3	-	-	
Etapa 2	6	60	150	18	33	6	4	10	3	2	1	
Etapa 3	5	58	146.5	16	23	2	4	6	-	5	1	3
Etapa 4	3	23	71	2	12	3	1	2	1	1	1	1 (M)

Legenda: C - Competição principal; UT_d - unidades de treino duplas diárias; km.sem⁻¹ - número de km por semana; UT - Unidades de treino; nº semanas - Número de semanas componentes de um mesociclo.

O treino ao ritmo da maratona (MP) apenas ocorre 1 vez nas etapas 2, 3 e 4. A etapa 4 contempla uma média de 71 km percorridos sob a forma de corrida contínua, sendo apenas de 48 km o volume de treino na semana da competição (quadro 35)

2.4.4. Metodologia de treino utilizada por maratonistas excepcionais.

Apesar de difícil e talvez arriscada, foi efectuada a modelação da metodologia de treino utilizada por maratonistas de excepção (superaram a melhor marca do mundo) e de elite, a partir da bibliografia existente e de comunicações pessoais dos seus treinadores, isto para os atletas portugueses. Os principais conteúdos de treino foram categorizados e sintetizados num microciclo-tipo. Os atletas referenciados são os seguintes: (1) Hannes Kolehmainen (Noakes, 1991); (2) Barry Magee (Lydiard e Gilmour, 1978); (3) Leonard Edelen (Noakes, 1991); (4) Dereck Clayton (Noakes, 1991); (5) Robert de Castella (Sandrock, 1996); (6) Steve Jones (Sandrock, 1996); (7) Carlos Lopes (comunicação pessoal do seu treinador Moniz Pereira); (8) Bill Rodgers (Sandrock, 1996); (9) Frank Shorter (Sandrock, 1996); (10) Juma Ikaanga (Sandrock 1996); (11) Toshihiko Seko (Sandrock, 1996); (12) Takeyuki Nakayama (Usami, 1988); (13) Gelindo Bordin (Gigliotti, 1991; Faraggiana, 1991; Lenzi, 1987); (14) Manuel Matias (comunicação pessoal do seu treinador Fonseca e Costa); (15) António Pinto (comunicação pessoal do seu treinador Alfredo Pinheiro); (16) Domingos Castro (comunicação pessoal do seu treinador Rafael Marques).

(1) O modelo de Hannes Kolehmainen (Finlândia) (Noakes, 1991), medalha de ouro nos Jogos Olímpicos de Anvers em 1920, com a marca de 2h 32min 35.8s para os 42744 metros do percurso (quadro 36).

Quadro 36 Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Hannes Kolehmainen (Noakes, 1991)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
20 km marcha			45 km marcha		25 km marcha	20 km marcha
10 km corrida	30 km corrida					15 km corrida

(2) O modelo de Barry Magee (Nova Zelândia) (Lydiard e Gilmour, 1978), medalha de bronze nos Jogos Olímpicos de Roma 1960 com 2h 17min 18.2s (quadro 37).

Quadro 37 Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Barry Magee (Lydiard 1978)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
10 km (jog)	10 km (jog)	24 km (1/4)	15x300m (M)	6x200m (1/2)	1 hora (1/2)	24 km (jog)

Legenda jog - corrida contínua lenta (jogging)
 (1/2) - intensidade correspondente a 1/2 do valor máximo para esta distância
 (1/4) - intensidade correspondente a 1/4 do valor máximo para esta distância
 (M) - intensidade máxima)

(3) O modelo de Leonard Edelen (Estados Unidos da América) (Noakes 1991), melhor marca do Mundo com 2h 14min 28s na maratona Polytechnique (Londres) em 15 de Junho de 1963 (quadro 38).

Quadro 38 Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Leonard Edelen (Noakes 1991)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
		7 km	7 km	7 km	8 km	35-37 km lentos
7 km	7 km + 25x400m (68-70s) i=60s	24 km rápidos	7 km + 2-3x (15x100m) (14-15s) i =110m a trote	8 km	competição	8-9 km

(4) O modelo de Dereck Clayton (Austrália) (Noakes, 1991), possuidor da melhor marca do Mundo, 2h 08min 34s na maratona de Antuérpia em 30 Maio 1969 (quadro 39).

Quadro 39 Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo Dereck Clayton (Noakes 1991)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
8-11 km lentos	8-11 km lentos	8-11 km lentos	8-11 km lentos	8-11 km lentos	7 km lentos	27-32 km (rampas)
27 km rápidos	19 km médios	22 km (rampas) rápidos	22 km (rampas) rápidos	16 km lentos	40 km (±2h20min)	16 km médios

5. O modelo de Robert de Castella (Austrália) (Sandrock, 1996), possuidor da melhor marca do Mundo com 2h 08min 18s, na maratona de Fukuoka em 6 Dezembro 1981(quadro 40).

Quadro 40 Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Robert de Castella (Sandrock 1996)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
10km (38min)	10km (38min)	10km (38min)	10km (38min)	10km (38min)	19-21km (3min36s /km) + 6x100m	33-36km (2h15min-2h40min)
16 km (60min)	10km (38min) + 10x200m	29 km (rampas) 1.50.00	10km (38min) + 8x400m (63-64) i=45s	18 km (64min45s)		

(6) O modelo de Steve Jones (País de Gales) (Sandrock, 1996), que efectuou a melhor marca do Mundo, em 2h 08min 05s na maratona de Chicago em 21 Outubro 1984 (quadro 41).

Quadro 41 Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Steve Jones (Sandrock, 1996)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
12-16 km (3min07s /km)	11 km incluindo 4x5 min rápidos	11 km	10 x rampas	10-12 km		24-32 km (3min45s /km)
10-16 km	Corrida de corta-mato ou na estrada em ritmo de competição	10-16 km	8-20 km	8-20 km	Competição ou 16-24x45s ou 16x60s ou 10x2min	19 km (3min07s /km)

(7) O modelo de Carlos Lopes (Portugal) (comunicação pessoal do seu treinador), que estabeleceu a melhor marca do Mundo, 2h 07min 12s na maratona de Roterdão em 29 de Abril de 1985 (quadro 42).

Quadro 42 Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Carlos Lopes (Portugal) (comunicação pessoal do seu treinador)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
60 min CC	60 min CC	60 min CC	60 min CC	60 min CC	60 min CC	30-35 km (<vMaratona; 2h58min-2h59min)
60 min CC	40min CC 15x400m i=1min10s (<62s)	60 min CC	40min CC 5x2000m i=3min (<5min40s)	60 min CC	60 min CC	

(8) O modelo de Bill Rodgers (USA) (Sandrock, 1996), que realizou a sua melhor marca, 2h 09min 27s, na maratona de Boston em 16 Abril 1979 (quadro 43)

Quadro 43 Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Bill Rodgers (USA) (Sandrock, 1996)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
17.5-19km	16km	17.5-19km	16km	17.5-19km	competição	30-34 km (4 min/km)
10-11.5km	rampas ou repetições de 400m (67s)	10-11.5km	repetições de 3200 (9min25s) ou 1600m (4min40s)	10-11.5km	10-11.5km	8-10km

(9) O modelo de Frank Shorter (EUA) (Sandrock, 1996), que conquistou a medalha de ouro nos Jogos Olímpicos de Munique 1972, com a marca de 2h 12min 12s (quadro 44).

Quadro 44 Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Frank Shorter (Sandrock, 1996)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
16km lentos	16km lentos	16km lentos	16km lentos	16km lentos		32 km primeiros 16 a 3.45/km segundos 16 a 3.07/km
32 km incluindo 12x400m i=200m a trote ou 6x800m i=200m a trote	16km lentos	1x1600m 1x1200m 1x800m 2x400m 4x200m	16km lentos	16km lentos	competição inferior a 28 km ou 16x200m para 28.5m i=200 a trote	

(10) O modelo de Juma Ikaanga (Tanzania) (Sandrock, 1996), que fez a sua melhor marca, 2h 08min 01s na maratona de Nova Iorque em 5 de Novembro de 1989 (Quadro 45).

Quadro 45 Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Juma Ikaanga (Sandrock 1996)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
18 km	8 km	8 km	8 km + 30 km (3min07s /km)	18 km	6x1600m (2min48.7s /km)	48 a 56 km
20 km	25x400m ou 50x200m	32 km	16 km	20 km	20 km	

(11) O modelo de Toshihiko Seko (Japão) (Sandrock, 1996) que correu para sua melhor marca, 2h 08min 27s na maratona de Chicago em 26 de Outubro de 1986 (quadro 46). A metodologia de treino deste atleta contemplava 3 unidades de treino por dia, de manhã cedo, ao meio dia e ao fim da tarde.

Quadro 46 Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Toshihiko Seko (Sandrock, 1996)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
	8 km	8 km	8 km	8 km	8 km	80 km
12 km	12 km	12 km	12 km	12 km	12 km	
32 km	32 km	32 km	32 km	32 km	32 km	

(12) O modelo de Takeyuki Nakayama (Japão) , Melhor marca, 2h 08min 15s na maratona de Hiroshima em 15 Abril 1985 (Usami, 1988)(quadro 47).

Quadro 47 Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Takeyuki Nakayama (Usami, 1988)

dia 1	dia 2	dia 3	dia 4	dia 5	dia 6	dia 7	dia 8
10-14 km	10-14 km	10-14 km	10-14 km	10-14 km	16 km para 48-50min	60 min lentos	60 min lentos
10x1000m (primeiros 5 para 3min/km e segundos 5 para 2min35s /km) i= 200m trote	40 km (para 2h10min em velocidade progressiva terminando com 5000m abaixo de 14min)	10-20 km lentos	30 km para 1h33min a 1h35min	20x400 para 65s-55s i=200m trote	10-20 km lentos	10-20 km lentos	50 km em 2h40min
10-20 km	10-20 km	10-20 km	10-20 km	10-20 km	16 km para 48-50min	10-20 km lentos	10-20 km lentos

(13) O modelo de Gelindo Bordin (Itália) (Lenzi, 1987; Gigliotti, 1991; Faraggiana, 1991) que efectuou a sua melhor marca, 2h 09min 27s, na maratona de Boston em 18 Abril 1988 (quadro 48). CC lenta - 210 km (85% do total) < 2 mmol.l⁻¹; CC média - 42 km (15% do total) 2 < 4mmol.l⁻¹; CC rápida 28 km (5% do total) > 4 mmol.l⁻¹

Quadro 48 Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Gelindo Bordin (Itália) (Gigliotti, 1991; Faraggiana, 1991; Lenzi, 1987)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
17 km	12-16 km (2min56s /km para desenvolver a capacidade aeróbia)	17 km	17 km	3x7 km 1ª 2min58s /km 2ª 2min56s /km 3ª 2min55s /km i=3min10s ou 8x1000m 2min55s- 2min52s i=3min	17 km	2.30 progressivos (44.5km) 1ªh 3min30s /km [±17 km] 2ªh 3min20s /km [±18 km] 1/2h 3min10s /km [±9.5km]
25 km	17 km	25 km	25 km	17 km	25 km	

(14) O modelo de Manuel Matias (Portugal) (comunicação pessoal do seu treinador) que efectuou a sua melhor marca 2h 08min 33s, na maratona de Gyeongju em 20 de Março de 1994 (quadro 49).

Quadro 49 Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Manuel Matias (comunicação pessoal do seu treinador)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
45 min	40min CC 20x400m i=1min (<62s)	60 min	rampas ou 6x (2x200m) i=50s	60 min	40min CC 12x1000m i=2min15s (<3min)	1h45min a 2h
45 min	60 min	60 min	60 min	60 min	45 min	

(15) O modelo de António Pinto (Portugal) (comunicação pessoal do seu treinador), que efectuou a sua melhor marca, 2h 06min 36s, na maratona de Londres em 16 Abril de 2000 (quadro 50).

Quadro 50 Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de António Pinto (comunicação pessoal do seu treinador)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
60 min	24-26 x400m (62-65s) i=1min	60 min	60 min	8x1500m (4min08s- 4min12s) i=2min	60 min	2h inclui 1ª h - 3min40s 1/2h - 3min15s 1/2 h - 3min05s
60 min	60 min	1h30min com últimos 15 min rápidos à velocidade da maratona	60 min	60 min	60 min	

(16) O modelo de Domingos Castro (Portugal) (comunicação pessoal do seu treinador), que conseguiu a sua melhor marca de 2h 07min 51s, na maratona de Roterdão em 20 Abril de 1997 (quadro 51).

Quadro 51 Microciclo tipo para a maratona caracterizador do modelo de Domingos Castro (comunicação pessoal do seu treinador)

Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
60 min	20x400 (60-64) i=1	60 min	2h com últimos 45 rápidos à v maratona	60 min	6-8x2000 (5.40) i=1.30	2h que inclui 60 min- 3.30 30 min- 3.10 30 min- 3.03
70 min	70 min	60 min	70 min	70 min	60 min	

No quadro 52, podemos comparar alguns dos parâmetros caracterizadores das metodologias de treino utilizadas, como o número de unidades de treino por semana, o número de kms por semana, a duração da sessão de corrida contínua mais longa, distância semanal percorrida à velocidade da maratona, distância semanal percorrida à velocidade da meia-maratona, distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros, distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros, número de unidades de treino corrida às velocidades de 3000 metros e 10000 metros por semana.

Em síntese podemos referir o seguinte:

O objectivo do treino na maratona é desenvolver as capacidades metabólicas e cardiovasculares de forma a otimizar o fornecimento de energia ao músculo esquelético, de acordo com as necessidades da competição. A corrida da maratona depende quase que exclusivamente da energia resultante da fosforilação oxidativa, que corresponde a velocidades relativas a uma concentração de lactato sanguíneo inferior a 4 mmol.l⁻¹ (Mader 1991).

O exercício efectuado com uma baixa acumulação de lactato no sangue, permite desenvolver no atleta a capacidade de suportar o mais tempo possível

Quadro 52 Parâmetros caracterizadores das metodologias de treino utilizadas por maratonistas excepcionais e de elite.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	HK	BM	LE	DC	RC	SJ	CL	BR	FS	JJ	TS	TN	GB	AP	MM	DC
p(t) (min)	152.6	137.3	134.6	128.6	128.3	128.1	127.2	129.4	132.2	128.0	128.4	128.2	129.4	126.6	128.5	127.8
v Maratona (m.s ⁻¹)	4.67	5.12	5.25	5.48	5.48	5.52	5.53	5.43	5.32	5.49	5.47	5.48	5.43	5.55	5.47	5.50
km.sem ⁻¹	110* 550	90	160	260	200	200	200	210	210	350	350	350	280	260	200	280
UT.sem ⁻¹	7	7	12	14	12	13	13	14	12	13	18	21	13	13	13	13
Duração da sessão mais longa (min)	107	100*	154*	140	160	120	104	136	110	233	333	160	150	120	105	120
Distância semanal à v Maratona (km)	30	•	24	71	•	16	35	•	16	30	•	62	•	5	•	15
Distância semanal à v 1/2 Maratona (km)	•	•	21	•	•	•	•	•	28	•	•	•	16	•	•	•
Distância semanal à v 10000 (km)	•	•	10	•	•	6	10	10	4.8	9.6	•	10	8	12	12	16
Distância semanal à v 3000 (km)	•	4.7	4.5	•	5.2	8	6	6	4.8- 8.0	10	•	13	•	10.4	10.4	8
nº UT semana à v 3000+ v10000	•	2	2	•	2	2	2	2	2-3	2	•	3	1	2	2	2
nº UT semana corrida a v 3000	•	2	1	•	2	1	1	1	1-2	1	•	2	1	1	2	1

Legenda - *marcha ; 0corrida; * valor estimado para uma velocidade de 4 m.s⁻¹

este tipo de estímulo, não sendo objectivo do treino correr cada vez mais rápido, mas sim suportar cada vez mais tempo uma situação de acidose metabólica ligeira.

Hollman (1961) sugere que uma carga de treino que provoque uma lactatemia de 4 mmol.l^{-1} é óptima para reduzir as concentrações de lactato a intensidades submáximas.

Henritzt et al. (1985) e Yoshida et al. (1982) atestam que, para potenciar a capacidade aeróbia e alterar o VO_2max , a intensidade mínima necessária é a correspondente ao limiar anaeróbio.

Em termos práticos, interessa potenciar no atleta a capacidade de suportar uma intensidade em que a produção de lactato é ligeiramente superior à capacidade de remoção (Daniels, 1998; Anderson, 1998). Os maratonistas de elite competem 2 a 3 % mais lento que a velocidade correspondente ao limiar anaeróbio (80 a 90 % da FC máxima ou 76 a 88% da FC reserva) (Anderson, 1998; Pfitzinger e Douglas, 2001).

A preocupação em desviar a curva de acumulação de lactato para a direita deve privilegiar o treino pelos métodos contínuo e dos intervalos, adoptando uma intensidade ligeiramente superior à correspondente ao limiar anaeróbio (Anderson, 1998).

Os conteúdos do treino com maior impacto na *performance* da maratona são: (1) treino pelo método de duração, utilizando a corrida contínua longa ; (2) treino pelo método dos intervalos, utilizando a corrida à velocidade correspondente ao limiar anaeróbio; (3) treino pelo método de duração utilizando a corrida ao ritmo da maratona; (4) treino pelo método dos intervalos a uma intensidade correspondente a $100\% \text{VO}_2\text{max}$ (Daniels, 1998; Anderson, 1998; Billat, 1998; Pfitzinger e Douglas, 1999, 2001).

(1) Treino pelo método de duração utilizando a corrida contínua longa.

A corrida contínua longa tem por objectivo fundamental solicitar o metabolismo das gorduras, esgotar as reservas de glicogénio muscular, potenciar a nível celular e cardiovascular adaptações que ajudem a processar e utilizar o oxigénio. Estas unidades de treino devem ser superiores a 90 min, para que ocorram importantes alterações na mitocôndria, aumentando de tamanho e de número. O uso de enzimas oxidativas que facilitam a utilização de O_2 aumenta substancialmente em número e actividade. Também as fibras

rápidas aumentam e potenciam, assim como as fibras lentas, a sua capacidade de processar o oxigénio. Na corrida contínua de longa duração, o perfil topográfico do percurso deve ser plano, a distância pode oscilar entre os 32 e os 40 km e a intensidade deve ser mais lenta que a correspondente à velocidade da maratona, a uma intensidade correspondente a 75% vVO_2max . Como os atletas têm tendência a correr rápido, para se sentirem bem, é necessário contrariar isso. Uma das formas de o fazer é individualizar o treino, a partir da avaliação da capacidade aeróbia, conhecendo a velocidade correspondente ao limiar anaeróbio e a velocidade a que ocorre o VO_2max (Daniels, 1998; Anderson, 1998; Billat, 1998; Pfitzinger e Douglas, 1999, 2001).

(2) Treino pelo método dos intervalos, utilizando a corrida à velocidade correspondente ao limiar anaeróbio, i.e., a 90% da vVO_2max . A corrida para desenvolver a capacidade aeróbia deve ser efectuada a uma velocidade correspondente ao limiar anaeróbio ou ligeiramente superior. As repetições a utilizar devem oscilar entre os 1600 e os 6000 metros e o intervalo deve ser de 30s para os 1600m e 1min 30s para os 6000m. (Daniels, 1998; Anderson, 1998; Billat, 1998; Pfitzinger e Douglas, 1999, 2001).

(3) Treino pelo método de duração utilizando a corrida ao ritmo da maratona.

A corrida à velocidade da maratona, para além de ajudar a identificar e separar os sintomas de fadiga que ocorrem, desenvolve a capacidade de suportar um ritmo pré-determinado, permitindo potenciar os padrões neuromusculares necessários ao longo da competição. Correr à velocidade exacta a que se pretende correr a maratona permite aumentar os níveis de confiança e de conforto. A distância utilizada deve ser de 20 a 25 km por unidade de treino (Daniels, 1998; Anderson, 1998; Billat, 1998; Pfitzinger e Douglas, 1999, 2001).

(4) Treino pelo método dos intervalos a uma intensidade igual ou superior a 100% da vVO_2max . O desenvolvimento da potência aeróbia pode ser feito com repetições de 400m a 1600m em que o tempo de recuperação é igual ao tempo de exercitação (1:1). A intensidade é a correspondente à vVO_2max , o que corresponde em atletas de elite, segundo Anderson (1998) e Billat (1998), à melhor *performance* sobre 2000m e na generalidade dos atletas, segundo

Daniels (1998) Pfitzinger e Douglas (2001), à velocidade dos 3000m Daniels, 1998; Anderson, 1998; Billat, 1998; Pfitzinger e Douglas, 1999, 2001).

A quantidade de km na unidade de treino, efectuada pelo método dos intervalos a esta intensidade, não deve ultrapassar 8% do volume total de corrida semanal (Daniels, 1998).

Pelo exposto constatamos que a performance da maratona depende do perfil aeróbio do sujeito, i.e., do $VO_2\text{max}$ e dos indicadores a si relativizados ($vVO_2\text{max}$ e $t_{lim} vVO_2\text{max}$), do limiar anaeróbio e da economia de corrida. Por isso, a calibração da carga de treino pode ser feita com base em velocidades associadas ao $VO_2\text{max}$ e ao limiar anaeróbio, para potenciar cada um destes indicadores e a economia de corrida. No entanto, não existe consenso entre os investigadores e especialistas do treino quanto à hierarquização do desenvolvimento de cada daqueles indicadores na estruturação do processo de treino dos maratonistas. Para alguns o desenvolvimento deve ser efectuado em simultâneo (Costill, 1986; Anderson, 1998; Billat, 1998; Pfitzinger e Douglas, 2001) enquanto outros são de opinião que devem ser desenvolvidos de forma independente (Denis et al. 1982; Henritze et al., 1985; Lenzi, 1987; Velikorodnih et al., 1987; Daniels, 1998; Nurmekivi et al., 2002) privilegiando em cada uma das diferentes etapas um objectivo específico (EC, Lan ou $VO_2\text{max}$) sem negligenciar o desenvolvimento dos outros apesar de subalternos. A partir daqui surgem algumas questões como: (1) que relação estabelecer entre a performance desportivo-motora na maratona e cada um dos meios e métodos de treino a considerar na estruturação do processo de treino capazes de potenciar cada um daqueles indicadores; (2) qual a relação entre a performance desportivo-motora na maratona e a calibração da carga do treino quanto à sua intensidade, duração e densidade.

3. Objectivos e Hipóteses

3.1. Objectivos

Para responder ao problema central do nosso estudo, sabendo que grupos distintos de desempenho na maratona evidenciam diferenças médias relevantes num conjunto de variáveis preditoras dos domínios fisiológico e do treino estabelecemos, os seguintes objectivos:

(1) Determinar o grau de dependência da *performance* desportivo-motora na maratona relativamente a um conjunto de indicadores fisiológicos - consumo máximo de oxigénio, economia de corrida e limiar anaeróbio.

(2) Determinar a relação entre a *performance* desportivo-motora na maratona e um conjunto de variáveis preditoras do domínio do treino, caracterizadores da dinâmica da carga.

3.2. Hipóteses

(1) O consumo máximo de oxigénio, a economia de corrida e o limiar anaeróbio são indicadores diferenciadores da *performance* desportivo-motora na maratona.

(2) Entre o consumo máximo de oxigénio, a economia de corrida e o limiar anaeróbio, a *performance* na maratona pode ser melhor explicada a partir da variação encontrada no limiar anaeróbio.

(3) A *performance* na maratona pode ser predita, com uma margem de erro reduzida, a partir das velocidades de corrida correspondentes a lactatemias de 2.5 e 3.0 mmol/l ($V_{2.5}$ e $V_{3.0}$) determinadas num teste de terreno incremental.

(4) A variação da *performance* na maratona pode ser explicada, não só pela forma como é estruturado o plano de treino, mas também a partir da variabilidade encontrada em alguns parâmetros caracterizadores da duração e da intensidade da carga.

3.2.1. Fundamentação (hipóteses 1 e 2)

A prestação alcançada pelos corredores durante a maratona está dependente do contributo relativo de um conjunto de factores fisiológicos que estão directamente relacionados com o carácter cíclico e prolongado do movimento. Foram já feitas tentativas no sentido de procurar identificar e descrever as variáveis que podem influenciar a *performance* na corrida em

função da distância de competição (Boileau et al., 1982) e um dos parâmetros que os investigadores mais frequentemente apontam para explicar o sucesso no exercício prolongado tem sido o $VO_2\text{max}$. No entanto, apesar do $VO_2\text{max}$ ter sido mesmo positivamente correlacionado com o alto nível na maratona (Farrell et al., 1979), este indicador não pode, isoladamente, explicar as variações observadas na *performance* (Hauswirth e Lehénaff, 2001). De facto, embora o $VO_2\text{max}$ defina o limite superior da produção de energia aeróbia nas provas de longa duração, por si só, não determina a *performance* final. Isto significa que, embora o $VO_2\text{max}$ esteja directamente ligado à taxa de formação de ATP que pode ser mantida durante uma corrida prolongada, essa taxa é o resultado, por um lado, do $VO_2\text{max}$ do atleta e, por outro, da % $VO_2\text{max}$ que este consegue utilizar durante a competição (Bassett e Howley, 2000). Com efeito, existem evidências que demonstram que os programas de treino de longa duração conduzem à estabilização do $VO_2\text{max}$ e que posteriores incrementos da *performance* são o resultado de melhorias operadas a nível de factores submaximais como a economia de corrida e o limiar anaeróbio (Pierce et al., 1990; Rusko, 1992; Martin et al., 1986; Jones, 1998). Adicionalmente, vários outros estudos demonstraram uma variação acentuada da *performance* entre populações que exibiam um $VO_2\text{max}$ similar e/ou, alternativamente, *performances* equivalentes em populações com valores de $VO_2\text{max}$ diferentes (Daniels, 1985; Sjödín e Svedenhag, 1985).

Assim, a potência máxima aeróbia é apenas um dos factores responsáveis pelo sucesso no exercício de duração, uma vez que existem outros factores que permitem explicar, por exemplo, como elevadas prestações competitivas podem ser obtidas com $VO_2\text{max}$ relativamente baixos. Entre estes incluem-se a capacidade de utilizar uma percentagem elevada do $VO_2\text{max}$ durante períodos de tempo prolongados (di Prampero, 1986) e a relação estreita observada entre a *performance* em corridas de média e longa duração e a velocidade correspondente ao limiar anaeróbio (Farrell et al., 1979).

Em relação ao primeiro factor, Astrand e Rodahl (1970) constataram, há mais de 3 décadas, que durante o exercício prolongado, indivíduos treinados conseguem manter % $VO_2\text{max}$ substancialmente superiores, relativamente a sujeitos não treinados. Estes investigadores verificaram que atletas de *endurance* conseguiam manter durante 1h e 2h, respectivamente, intensidades

de exercício de 87% e 83%VO₂max, enquanto que os não treinados só suportavam intensidades de 50% e 35%VO₂max. A este propósito convirá referir que, enquanto que nas fases iniciais de um programa de treino aeróbio o impacto na *performance* resulta de alterações ocorridas tanto a nível do VO₂max como da %VO₂max utilizada, as alterações posteriores são causadas unicamente por melhorias a nível da %VO₂max (Bassett e Howley, 2000). Obviamente que este incremento na %VO₂max está, por sua vez, intimamente relacionado com as melhorias induzidas pelo treino a nível do limiar anaeróbio. Com efeito, foi descrito que, em consequência do treino de *endurance*, a %VO₂max correspondente ao limiar anaeróbio aumenta muito mais do que o próprio VO₂max (Weltman, 1995). Adicionalmente, nas competições longas, sabe-se que o VO₂ durante a prova está intimamente relacionado com o VO₂ correspondente ao limiar anaeróbio do atleta (Bassett e Howley, 2000).

Em relação ao segundo factor, vários estudos revelaram que o limiar anaeróbio (metabólico e ventilatório) é um poderoso predictor da *performance* em actividades de *endurance* (Tanaka et al., 1983; Coyle et al., 1991; Yoshida et al., 1993; Jones e Doust, 1998; Weltman, 1995; Zoladz et al., 1993; Jones e Carter, 2000). Na realidade, muitas investigações encontraram elevadas correlações entre este parâmetro e a *performance* na corrida de média e longa duração (Costil, 1973; Farrell et al., 1979; Jooste et al., 1981; Kumagai et al., 1982; Lehman et al., 1983; Föhrenbach et al., 1987; Fay et al., 1989; Krieder et al., 1990; Brandon, 1995; Santos e Maia, 2002). No caso específico da maratona, a análise das conclusões de alguns estudos nesta área sugere, igualmente, uma relevância especial do limiar anaeróbio, relativamente a outros parâmetros fisiológicos, na previsão do rendimento neste tipo de competição (Tanaka e Matsura, 1984; Föhrenbach et al., 1987; Bunc e Heller, 1989; Mader, 1991; Daniels e Daniels, 1992; Helgerud, 1994; Roecker et al., 1998). A sua importância resulta, em grande medida, da comprovada sensibilidade deste indicador ao treino de *endurance* (Davis et al., 1979; Tanaka et al., 1984; Henritze et al., 1985). Efectivamente, o treino de duração promove um conjunto de adaptações fisiológicas que determinam uma diminuição progressiva da lactatemia, para qualquer intensidade absoluta ou relativa de exercício, conduzindo a um aumento da velocidade de corrida correspondente ao limiar anaeróbio. Isto mesmo foi comprovado por várias pesquisas em que, utilizando

um valor fixo de $4\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ como medida critério do limiar anaeróbio, foram observadas melhorias significativas na velocidade de corrida correspondente ao limiar, após um período de treino de *endurance* (Yoshida et al., 1982; Denis et al., 1982; Hurley et al., 1984; Gaesser e Poole, 1988; Weltman et al., 1992; Santos, 1996; Carter et al., 1999). No entanto, a maioria dos estudos que procuraram estudar a associação entre este parâmetro e a prestação na maratona foram realizados com amostras reduzidas e heterogéneas em termos de *performance*, razão pela qual consideramos fundamental realizar estudos semelhantes ao nosso, com amostras mais alargadas, que possibilitem a formação de grupos homogéneos, de forma a permitir encontrar respostas mais conclusivas acerca do papel real deste parâmetro neste tipo de competição.

Mas mesmo uma análise cuidada das correlações encontradas pelos vários autores relativamente à associação destes parâmetros fisiológicos (VO_2max , $\%\text{VO}_2\text{max}$ e limiar anaeróbio) com a *performance*, não permite ainda assim explicar, na totalidade, os bons resultados competitivos obtidos durante o exercício prolongado. Efectivamente, um outro factor determinante no esforço sub-máximo é a capacidade que o corredor apresenta em minimizar o seu dispêndio energético, o que pode ser utilizado como indicador válido para expressar a sua eficiência na corrida (Conley e Krahenbuhl, 1980; Lacour et al., 1990; Morgan et al., 1991). De facto, existe uma considerável variação interindividual no O_2 consumido durante o exercício submáximo, tanto em indivíduos que são semelhantes do ponto de vista aeróbio (VO_2max), como em atletas com *performances* similares (Conley e Krahenbuhl, 1980; Coyle et al., 1991; Morgan e Craib, 1992). Nesta perspectiva, o conceito de custo energético da corrida (di Prampero, 1986) constitui-se como um parâmetro fisiológico adicional válido para explicar as diferenças de prestação neste tipo de esforços. Alguns estudos sugerem que este indicador pode predizer a *performance* na corrida em atletas com *performances* similares e/ou altamente treinados (Morgan et al., 1989; Guézennec et al., 1996). Morgan et al. (1995), analisaram grupos homogéneos de corredores, em termos de *performance*, tendo verificado que o grupo de elite apresentava uma melhor EC, comparativamente aos outros grupos, e que todos os grupos apresentavam valores de EC superiores relativamente ao grupo de indivíduos não treinados. No entanto, um

dos aspectos mais relevantes deste estudo foi a elevada variação observada na EC dentro de cada grupo (20% de diferença na EC entre o corredor mais e menos económico em cada grupo). A estimação do custo energético tem sido apontada como uma forma relevante de investigar os efeitos da eficiência individual na *performance*, tanto a nível da marcha (Brisswalter et al., 1998) como da corrida (Hauswirth et al., 1997). Em esforços prolongados, como no caso da maratona, o custo energético representa a eficiência energética do atleta, podendo ser considerado como um factor determinante da *performance* (Morgan et al., 1989; Guézennec et al., 1996; Hauswirth e Lehénaff, 2001). Foi sugerido que os baixos valores, por vezes observados em atletas de elite a nível do $VO_2\text{max}$, poderiam, dentro de determinados limites, ser compensados por valores excepcionais a nível da EC (Londeree, 1986; Morgan et al., 1995). Efectivamente, foi descrita uma relação inversa entre o $VO_2\text{max}$ e a EC em amostras compostas por corredores altamente treinados (Pate et al., 1992, Morgan e Daniels, 1994). No entanto, apesar dos atletas treinados serem conhecidos por apresentarem melhor EC relativamente a sujeitos não treinados (Morgan et al., 1995), vários estudos, que procuraram avaliar o efeito do treino na EC, produziram conclusões contraditórias (Conley et al., 1984; Wilcox e Bulbulian, 1984; Overend et al., 1992; Lake e Cavanagh, 1996). Independentemente destes resultados controversos, alguns investigadores conceituados nesta área (Jones e Carter, 2000) sustentam que valores elevados de EC estão relacionados com o volume total de treino aeróbio realizado, sendo os melhores valores de EC são frequentemente encontrados em corredores mais velhos e/ou mais experientes, ou ainda naqueles que realizam elevadas quilometragens semanais (Conley et al., 1984, Pate et al., 1992, Jones, 1998). Existem poucos estudos longitudinais que tenham procurado estudar a evolução da EC durante períodos de treino prolongados (Svedenhag e Sjodin, 1985; Pate et al., 1992; Jones 1998). Contudo, mesmo programas de treino curtos podem evidenciar melhorias a nível da EC (Franch et al., 1998; Billat et al., 1999). Convirá referir que este indicador não é válido para distâncias curtas, discriminação que é confirmada em vários estudos que demonstram uma correlação significativa entre o VO_2 submáximo e a *performance* apenas nas corridas de distâncias longas (Conley e Krahenbuhl, 1980; Conley et al., 1984; Lacour et al., 1990).

O papel da EC no exercício prolongado está ainda longe de estar completamente esclarecido e muitos das pesquisas efectuadas apresentam resultados contraditórios. Por exemplo, em grupos de atletas heterogéneos em termos de rendimento, a EC não tem sido referida como factor discriminante (Helgerud, 1994; Morgan et al., 1995; Sevedenhag e Sjodin, 1984; Farrell et al., 1979). Em contrapartida, se analisada individualmente ou em grupos homogéneos, a EC surge como um factor que se correlaciona positivamente com o rendimento (Morgan e Daniels, 1994; Jones, 1998; Daniels, 1974). A este propósito, Bassett e Howley (1997) demonstraram que a EC explicava alguma da variabilidade observada na *performance* em corridas de longa duração em atletas com $VO_2\text{max}$ semelhantes. Também Conley e Krahenbuhl (1980) descreveram uma correlação relativamente forte ($r=0.82$) entre a EC e a *performance* numa competição de 10km num grupo de corredores com $VO_2\text{max}$ similares, mas com uma variação dos resultados finais entre 30.5-33.5 min. Efectivamente foi observada uma grande variabilidade a nível da EC no grupo de corredores que evidenciou melhor *performance* (30.5 a 31 min), sugerindo a falta de associação entre as variáveis.

Nesta perspectiva, consideramos que o nosso trabalho pode ser mais um contributo no sentido de ajudar a esclarecer algumas das questões fulcrais em torno do papel da EC na maratona, dado que a amostra vai possibilitar a constituição de grupos homogéneos distintos que possibilitarão uma análise da associação entre algumas das variáveis acima referidas. Assim, será possível verificar se, em grupos homogéneos em termos de $VO_2\text{max}$, a EC permite, efectivamente, explicar as diferenças observadas na *performance* à semelhança do constatado por Bassett e Howley (1997) e Conley e Krahenbuhl (1980). Deste modo, pensamos que este poderá ser mais um contributo no sentido de ajudar a elucidar o papel da EC numa competição com características tão próprias como a maratona.

Decorrente do exposto, gostaríamos de deixar clara a ideia de que a literatura salienta a importância de um conjunto de parâmetros fisiológicos que são susceptíveis de se constituir como factores discriminantes da *performance* nos esforços de longa duração. A associação entre um ou outro destes parâmetros com o resultado na maratona foi efectuada por vários autores (Billat e Bouquet, 1999; Hausswirth et al., 1997; Peronnet et al., 1987; Föhrenbach et

al., 1987; Mader, 1991; Tanaka e Matsura, 1984; Joyner, 1991; Scrimgeour et al., 1986; Billat et al., 2001). No entanto, a apreciação conjunta de vários parâmetros (como o $VO_2\text{max}$, o Lan e a EC) foi apenas realizada por um número muito restrito de investigadores (Helgerud, 1994; Svedenhag e Sjodin, 1984; Farrell et al., 1979). Adicionalmente, considerando que as investigações realizadas neste âmbito com maratonistas portugueses são igualmente escassas (Billat et al., 2001), isto apesar do excelente leque de resultados obtidos pelos atletas nacionais nos últimos anos, pensamos que se justifica plenamente uma pesquisa mais abrangente, com amostras alargadas, de forma a permitir encontrar respostas concretas para várias das questões fulcrais centradas em torno desta problemática.

3.2.2. Fundamentação (hipótese 3)

Nas últimas duas décadas foram vários os investigadores que procuraram prever a *performance* nas corridas de meio-fundo e fundo a partir do estudo das concentrações sanguíneas de lactato (Weltman, 1990; Usaj e Starc, 1996; Billat, 1996; Grant et al., 1997; Roecker et al., 1998; Schabort et al., 2000). No caso específico da maratona e da meia-maratona, foram já efectuadas algumas tentativas de previsão da *performance* em atletas de elite, com base em testes de terreno idênticos aos que utilizámos na nossa investigação, recorrendo ao cálculo da lactatemia correspondente a determinada velocidade de corrida (Föhrenbach et al., 1987; Santos e Maia, 2002). A ideia básica por detrás destes estudos era a de procurar perceber se a partir de testes de campo simples - sem necessidade de recorrer a equipamentos sofisticados e dispendiosos e sem os problemas de transferibilidade dos dados que acarretam os testes laboratoriais - seria possível estimar a *performance* na maratona com uma margem de erro reduzida.

Nesta perspectiva, Föhrenbach et al. (1987) conduziram um estudo com o propósito de investigar a fiabilidade de um teste de terreno incremental na predição da *performance* na maratona, utilizando a relação entre a lactatemia e a velocidade de corrida a concentrações sanguíneas de 2.5., 3.0 e 4.0 mmol.l^{-1} ($v_{2.5}$, $v_{3.0}$ e $v_{4.0}$). A amostra foi constituída por 24 maratonistas de ambos os sexos e incluía vários atletas de excelente nível, principalmente a nível feminino (marcas entre 148min e 171min). Os coeficientes de correlação encontrados

para os vários índices de lactato e a *performance* na maratona foram de $r=0.98$ para a totalidade da amostra, $r=0.99$ para o grupo masculino ($n=11$) e $r=0.88$ para o grupo feminino ($n=13$). O valor de correlação para os 3 níveis de lactato, nos diferentes grupos, foi praticamente idêntico, embora os valores mais elevados tivessem sido registados para a $v_{2.5}$ e $v_{3.0}$. Com base nestes resultados, os autores consideram que, por exemplo, a partir da $v_{2.5}$ calculada num teste de incremental é altamente provável a predição da *performance* na maratona com um erro padrão de estimativa entre 2.45 e 3.30 min. Afirmam ainda que as velocidades de corrida em que se observam lactatemias entre 2 e 3 mmol.l^{-1} representam a intensidade da carga que estes maratonistas, altamente treinados, podem manter durante a competição. Com objectivos similares, Santos e Maia (2002) realizaram um estudo em que tentaram igualmente averiguar se era possível prever a intensidade de corrida na meia-maratona (21095m), com base na relação lactato-velocidade obtida num teste de terreno. Com esse propósito avaliaram 18 fundistas, entre os quais alguns dos melhores especialistas nacionais, que realizaram um total de 33 meias-maratonas e um número idêntico de testes de terreno incrementais (4x2000m), de modo a determinar a relação entre a intensidade de corrida e a acumulação sanguínea de lactato. O tempo médio dispendido em competição pelos corredores da amostra foi de $1\text{h}05'41''\pm 3'07''$. As velocidades de corrida correspondentes a concentrações de lactato entre 3.0 e 5.5 mmol.l^{-1} evidenciaram todas uma elevada correlação ($0.86 < r < 0.90$) com a velocidade na meia-maratona, com os valores mais elevados a corresponderem a níveis de lactato entre 4.5 e 5.5 mmol.l^{-1} ($v_{4.5}$, $v_{5.0}$ e $v_{5.5}$). No entanto, apesar desses índices de lactato indicarem boas previsões ($r_2=80\%$ para a $v_{4.5}$ e $r_2=81\%$ para $v_{5.0}$ - $v_{5.5}$), os autores consideram que os resultados encontrados evidenciaram uma limitada eficácia preditiva e uma reduzida aplicabilidade prática, uma vez que a margem de erro na previsão se situava acima dos 3 min para os melhores corredores. Referem ainda que, além da margem de erro ser relativamente elevada, 70% dos testados apresentaram um tempo de competição que se situou fora do intervalo de uma previsão baseada na $v_{4.5}$ - $v_{5.5}$. Para estes autores (Santos e Maia, 2002) é aparentemente possível obter boas estimativas da *performance* neste tipo de competições, no entanto, consideram que é fundamental ter presente que o comportamento do atleta em

situação de competição está dependente de uma enorme quantidade de factores que, em maior ou menor grau, são susceptíveis de influenciar o seu rendimento. Deste modo, consideraram que a prestação competitiva não deve ser analisada de uma forma demasiado estrita e confinada a um único indicador, uma vez que se trata de uma questão complexa e multifactorial. Deste modo, a escassez de estudos e os problemas de delimitação da amostra nos trabalhos referidos, limitam seriamente a validação cruzada dos dados e a generalização das conclusões, o que permite mesmo especular sobre se os resultados obtidos não emergirão de idiosincrasias próprias da amostra. Por estes motivos, a justificação para a formulação desta hipótese resulta, precisamente, da necessidade de efectuar investigações com amostras mais alargadas, tanto em grupos heterogéneos em termos de *performance*, como em grupos homogéneos, de modo a ser possível chegar a conclusões mais definitivas. Assim, apesar dos resultados dos dois estudos acima referidos sugerirem a possibilidade de uma previsão da *performance* a partir das concentrações sanguíneas de lactato, parece-nos que, perante as insuficiências já referidas, essa afirmação carece ainda de validação. Nesse sentido, consideramos que este trabalho pode constituir mais um passo no sentido de ajudar a definir um modelo conceptual que apresente o quadro hierárquico e interactivo das variáveis que condicionam a *performance* na maratona.

3.2.4. Fundamentação (hipótese 4)

A *performance* desportivo-motora resulta de uma amálgama de indicadores avulsos, de origem distinta, um quebra cabeças complexo e desconectado, tornando-se necessária a sua análise sistémica, e não podendo ser vista apenas como um produto final.

A validação prática de qualquer modelo da *performance* desportivo-motora passa por um conjunto de propriedades do qual realçamos, entre outras, a capacidade de compreender, controlar e predizer o resultado final, enquanto resposta a um conjunto de conteúdos, no caso da maratona, inseridos no processo de treino e não só. A modelação da *performance* desportivo-motora pode parecer uma tarefa simples em que uma dada variável y é função de um conjunto de outras variáveis $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k)$ e tudo se resume

à formula geral $y = f(x_i)$, mas, como refere Maia (1997), apresenta-se como a expressão multifacetada de um conjunto de traços do sujeito que interagem de forma ordenada e hierárquica e que é realizada nos condicionalismos de um dado contexto.

Que modelos e que tipo de variáveis predictoras da *performance* podem ser consideradas, que nos permitam esclarecer o quadro de relações entre si e entender a sua estrutura?

A aventura inquisitiva sobre a *performance* corresponde à busca incessante do Graal (Landy e Zedeck 1983).

Lloyd (1966), Ward-Smith (1985), Péronnet e Thibault (1987), Péronnet e Thibault (1989) Péronnet (1993) tentaram modelar a *performance* humana a partir dos recordes do mundo. Os modelos matemáticos que definem a *performance* na corrida têm dado um grande contributo no reconhecimento dos factores limitativos de alguns indicadores fisiológicos com reconhecida influência na *performance*. O contributo da modelação de indicadores fisiológicos e matemáticos na *performance* contribuiu decisivamente, como já referimos em capítulos anteriores, para demonstrar que valores submáximos do $VO_2\text{max}$, do limiar anaeróbio e da economia de corrida são preditores de excepção da *performance* (Conley e Krahenbuhl, 1980; Sjodin e Jacobs, 1981; Daniels 1985). A interacção de cada um destes indicadores fisiológicos é determinante na *performance* da maratona. No entanto, não sabemos se o seu contributo ocorre como variáveis independentes ou se interagem entre si na optimização do treino e da *performance*. Os modelos matemáticos estabelecidos a partir de modelos fisiológicos mostram-nos que a melhoria de um destes indicadores, como o $VO_2\text{max}$, ou outros a si relativizados, por exemplo, a velocidade associada ao $VO_2\text{max}$ ($vVO_2\text{max}$), pode implicar valores mais baixos do custo energético ($vVO_2\text{max} = VO_2\text{max}/Cr$) ou vice-versa.

Lacour (1996) observa que os atletas que exibem um valor elevado de $vVO_2\text{max}$ são os que possuem um bom $VO_2\text{max}$, mas um valor mediano de economia de corrida.

Billat et al. (2001), num estudo efectuado com maratonistas masculinos e femininos de nível excepcional ($n=10$) e de elite ($n=10$), concluíram que os corredores que apresentavam o $VO_2\text{peak}$ mais elevado eram os que exibiam um custo energético superior, isto é, os menos económicos. Curiosamente,

nos dois grupos estudados, os atletas de nível excepcional eram os que apresentavam valores mais elevados de $VO_2\text{max}$, quando comparados com o grupo de elite (79.6 ± 6.2 contra 67.1 ± 8.1 $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$), mas o seu custo energético à velocidade da maratona era substancialmente maior (210 ± 12 contra 195 ± 4 $\text{ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$).

Por sua vez, di Prampero (1986) estabeleceu uma equação (16) em que a velocidade da maratona (v_{END}) pode ser predita, a partir do custo energético da corrida (Cr), expresso em $\text{ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$ a partir do custo em oxigénio da corrida, do seu valor de $VO_2\text{max}$ e da fracção (FR) de $VO_2\text{max}$ utilizada durante a competição.

$$v_{\text{END}} = F \cdot VO_2\text{max} / Cr \quad (16)$$

Joyner (1991) estimou, a partir deste modelo fisiológico, a *performance* óptima na maratona, tendo concluído que num atleta hipotético que possuísse um $VO_2\text{max}$ de 84 $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, um limiar anaeróbio correspondente a 85% do $VO_2\text{max}$ e um custo energético da corrida de 204 $\text{ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$, partindo do princípio que a velocidade da maratona poderia chegar aos 90% $VO_2\text{max}$, poderia a partir deste modelo chegar a 117.70 min.

A modelação da *performance* da maratona, a partir das combinações possíveis destas variáveis fisiológicas, pode contribuir para um melhor conhecimento do impacto do treino em cada uma, na perspectiva de encontrar os seus factores limitativos. Neste contexto, será que quando uma variável apresenta valores excepcionais isso implica a exclusão de valores excepcionais de outra variável? Assim sendo, a melhoria da *performance* da maratona depende, depois da elaboração de modelos fisiológicos e matemáticos, da interacção dos seus factores limitativos? A partir daí, é possível a optimização constante do modelo empírico, que encerra um quadro de referências caracterizadoras do processo de treino, a partir da calibração da carga?

Morton (1997) afirma que a relação dose-resposta normalmente utilizada nos estudos farmacológicos pode ser utilizada como um instrumento de investigação para uma correcta calibração da carga do treino, a partir da relação treino-*performance*. A modelação da dose-resposta pode ser efectuada, conhecendo a carga de treino, medida como uma dose de *inputs* e os seus

efeitos no *fitness*, na fadiga, no sobretreino e na *performance*. As dosagens de *inputs* podem ter origem diversa (fisiológica, psicológica, etc.) e muitos estão fora do controle experimental, interessando reunir todos os parâmetros cuja quantificação é possível.

Segundo este mesmo autor, esta forma de modelação pode permitir: (1) medir as dosagens de *inputs* de treino considerando entre outros a duração, a intensidade e a frequência; (2) quantificar os efeitos da relação dose-resposta pelos níveis de *fitness* e fadiga atingidos e seu impacto na *performance*; (3) prever a *performance* a partir do conhecimento do treino efectuado; (4) conhecer a *performance* do atleta em vários momentos da época desportiva; (5) estimar os parâmetros do modelo correlacionando a *performance* actual e a que se pretende atingir; (6) utilizar a relação entre parâmetros para prever a futura *performance* a partir de alguns *inputs* de treino; (7) calcular o tipo de treino necessário para atingir determinada *performance*.

As questões que, a partir daqui, se colocam são as seguintes: (1) que nível de *performance* pode ser predito a partir da quantidade de treino efectuada, (2) como maximizar a *performance* em determinada data, a partir da manipulação da dinâmica da carga (3) como minimizar a fadiga e a possibilidade de entrar em sobretreino.

As respostas a estas questões foram objecto de estudo de Pate (1985) e Haskell (1994), mas os seus avanços não foram significativos, uma vez que não chegaram até à sua validação prática. O mesmo não aconteceu com outros investigadores como Banister et al. (1975), Calvert et al. (1976), Banister e Calvert (1980), Banister et al. (1986) Morton et al. (1990) e Banister (1991), nos estudos efectuados com atletas de meio fundo e fundo, Busso et al. (1991) com halterofilistas, Busso et al. (1994) com lançadores de martelo e Mujika et al. (1996) com nadadores, em que avaliaram os efeitos do treino (*input*) durante um período de tempo no *fitness*, na fadiga e na *performance* (*output*). Fitz-Clarke et al. (1991) estudam o problema de forma inversa, isto é, a partir da *performance* que se pretende atingir, que tipo de treino deveremos utilizar e quais os procedimentos a cumprir no destreino?

Banister et al. (1975) foram os pioneiros da modelação da *performance* desportivo-motora na corrida, elaborando um modelo que utilizava uma interacção complexa entre um conjunto de parâmetros que era necessário

especificar e quantificar, para estabelecerem a relação dose-resposta e estudarem o efeito da dose (duração, intensidade e frequência da carga) na *performance*.

Quanto maior é o estímulo da carga, maior é o efeito; no entanto, o ACSM (1998) faz notar que só uma combinação parcimoniosa da frequência, da intensidade e da duração da carga permite o desenvolvimento da forma desportiva.

Os estudos de Wenger e Bell, (1986), Santiago et al. (1987) e Swain et al., (1997) comprovam a existência de limiares mínimos e máximos, respectivamente, de frequência, duração e intensidade da carga, abaixo e acima dos quais não ocorre qualquer incremento da forma desportiva.

Wenger e Bell (1986) afirmam que o treino para potenciar o $VO_2\text{max}$, com uma frequência superior a 3 vezes por semana, tem efeito nulo ou insignificante e aumenta a possibilidade de lesão.

Velikorodnih et al. (1987) sugerem que o treino a intensidade elevada para desenvolver o $VO_2\text{max}$, na etapa de competição do maratonista, elimina a possibilidade de uma boa *performance*.

Glimov e Kulakov (1992) afirmam que um volume de treino entre 16 e 20% na etapa competitiva efectuado a intensidades superiores ao limiar anaeróbio é responsável pelo fracasso na maratona.

Hickson et al. (1981, 1982, 1985) efectuaram experiências em que manipularam a intensidade, a duração e a frequência da carga, tendo concluído que se a intensidade do treino se mantém inalterável, o $VO_2\text{max}$ também não se altera durante 15 semanas, mesmo quando a frequência e a duração são reduzidas até 2/3. Por outro lado, quando a frequência e a duração do treino permanecem constantes e a intensidade é reduzida para 1/3 ou 2/3, então o valor de $VO_2\text{max}$ é reduzido substancialmente. Estas investigações são redutoras, ignorando o comportamento de outros indicadores fisiológicos fundamentais na *performance* como o limiar anaeróbio e a EC.

Hagan et al. (1981) examinaram a relação entre a *performance* da maratona e os parâmetros caracterizadores do treino, 9 semanas antes da competição em maratonistas masculinos (n=50; idade=36 anos; peso= 69.6kg). Os autores observaram uma relação inversa entre a *performance* e a média de km por UT ($r = -0.64$) e o total de UT ($r = -0.62$) e concluíram que o número de UT

de longa duração e o volume de km percorridos contribuem decisivamente para uma melhor *performance* desportivo-motora na maratona.

Hewson e Hopkins (1996) concluem que os atletas com melhores *performances* são os que efectuam maior volume de treino a intensidade moderada. Outros estudos (Campbell, 1985; Marti et al., 1981; McKelvie et al., 1985) referem que o volume semanal da CC a intensidade moderada se correlaciona com a *performance* na maratona.

Estudos anteriores (Bale et al., 1985; Hagan et al., 1981; Dotan et al., 1983; Foster et al., 1977; McKelvie et al. 1985; Scrimgeour et al., 1986; Slovic, 1977) referem a existência de elevadas correlações entre o volume de treino de maratonistas e a *performance* desportivo-motora na maratona.

Hagan et al. (1981), Sjodin e Jacobs (1981) e Sjodin e Svedenhag (1985) observaram uma elevada correlação entre o volume de treino efectuado nos dois meses que antecediam a maratona e a *performance* ($n=18$, $r=0.94$; $n=50$, $r=0.67$; $n=35$, $r=0.85$, respectivamente).

Hagan et al. (1987) descreveram a relação entre a *performance* na maratona e parâmetros caracterizadores do treino em atletas do sexo feminino, 12 semanas antes da competição principal (35.7 ± 8.5 anos; 55.1 ± 5.7 kg). Estes autores observaram uma correlação negativa entre a *performance* e o número de UT ($r=-0.47$), o número de UT duplas ($r=-0.58$), o volume total de treino em min ($r=-0.56$), a velocidade da corrida em $m \cdot min^{-1}$ ($r=-0.66$), o número de $km \cdot semana^{-1}$ ($r=-0.70$), a média de $km \cdot semana^{-1}$ ($r=-0.74$), o volume total de km nas doze semanas ($r=-0.74$) e a média de $km \cdot dia^{-1}$ ($r = -0.77$).

Sjodin e Svedenhag (1985) observaram em diferentes categorias de maratonistas que o número de $km \cdot semana^{-1}$ era um indicador diferenciador da *performance*. Os atletas que apresentavam menor volume de treino possuíam piores *performances* para além de valores baixos de VO_2max . Pelo exposto, parece evidente que entre os corredores de elite que efectuam um número de $km \cdot semana^{-1}$ idêntico, a diferença na *performance* é explicada pela resposta ao treino efectuado a intensidades e frequências mais elevados, que potenciam não só o VO_2max , mas fundamentalmente o limiar anaeróbio e a EC.

Sjodin e Svedenhag (1985) sugerem que, em maratonistas, o volume de treino acima dos $120 km \cdot semana^{-1}$ não afecta o VO_2max .

Bergh et al. (2000) afirmam que o VO_2max estabiliza nos atletas de elite com um volume elevado de CC.

Billat et al. (2001) estudaram maratonistas excepcionais [homens $n=5$; $p(t) \leq 131$ min; mulheres $n=5$; $p(t) \leq 152$ min] e de elite [homens $n=5$; $p(t) \leq 136$ min; mulheres $n=5$; $p(t) \leq 158$ min] tendo observado que, ao nível do treino os parâmetros diferenciadores da *performance* eram o volume efectuado às intensidades correspondentes à v_{3000} e v_{10000} , uma vez que todos os outros parâmetros eram idênticos.

Bale et al. (1985, 1986), Hagan et al. (1981) e Scrimgeour et al. (1986) observaram correlações significativas entre a $p(t)$ da maratona e as velocidades de CC, concluindo que os atletas que correm mais depressa no treino são os que obtêm melhores *performances*.

Outros estudos (Bale et al., 1985; Hagan et al., 1981; McKelvie et al. 1985) comprovam a existência de correlações elevadas entre a intensidade da CC e a $p(t)$ na maratona.

Pelo exposto verificamos que o volume de km percorridos pelos maratonistas, a intensidade a que efectuam a CC e o treino pelo método dos intervalos são parâmetros diferenciadores da *performance*.

No entanto, um volume elevado de treino a intensidades submáximas não é suficiente para uma boa *performance* desportivo-motora na maratona.

O princípio da especificidade do treino diz-nos que para ocorrer uma correcta adaptação, a intensidade, a duração e a frequência têm que ser planificadas de acordo com o tipo de exercício (Hewson e Hopkins, 1996).

Para além do volume, da intensidade e da frequência da carga, também as questões da periodização têm sido negligenciadas pelos investigadores das ciências do desporto, escamoteando a necessidade da época desportiva estar dividida em etapas (mesociclos) que permitam potenciar cada um dos indicadores fisiológicos. Hewson e Hopkins (1996) alertam para a necessidade de estudar melhor a relação entre a periodização, a especificidade da carga e a *performance*. Estes investigadores fizeram um levantamento dos meios e métodos utilizados por atletas masculinos ($n=234$) e femininos ($n=119$) em cada uma das etapas do treino no que se refere ao trabalho para o desenvolvimento da força (steps, dunas, pesos, etc), ao treino pelo método dos intervalos, à corrida contínua rápida (tempo, limiar anaeróbio, competições, etc)

e à corrida contínua lenta (todo o restante treino), tendo concluído que a intensidade da corrida adoptada no treino pelos elementos da amostra [homens $n=10$; 25 ± 10 anos; mulheres $n=14$; 26 ± 10 anos] foi para os maratonistas, em média $106\pm 10\%$ da velocidade da maratona para a corrida rápida e $88\pm 10\%$ para a corrida lenta.

Costill et al. (1988) já referiram que um incremento adicional ao volume de treino efectuado a intensidades submáximas não altera os indicadores fisiológicos de atletas bem treinados.

Por outro lado, Smith et al. (1999), Hawley e Stepto (2001) Stepto et al. (1999, 2001), Laursen e Jenkins (2002) referem que a utilização de formas de treino pelo método dos intervalos, com intensidades elevadas, correspondentes aos indicadores relativizados ao $VO_2\max$, permitem a optimização da *performance*.

Westgarth-Taylor et al. (1997), Weston et al. (1997), Acevedo e Golfarb (1989) descrevem a dificuldade que os investigadores das ciências do desporto têm tido na elaboração de modelos que especifiquem e quantifiquem a relação dose-resposta.

Laursen e Jenkins (2002) afirmam que ainda há muito por descobrir na optimização da intensidade, duração e frequência da carga, principalmente quando se utiliza o método dos intervalos, sabendo-se que isso contribuirá decisivamente para a melhoria da *performance*.

Nesta perspectiva, Lenzi (1987), Daniels (1998), Nurmekivi et al. (2002) defendem que o plano de treino do maratonista deve considerar um desenvolvimento parcimonioso e individualizado, por mesociclo, de cada um dos indicadores fisiológicos responsáveis pelo perfil aeróbio do sujeito, pela seguinte ordem: EC, $VO_2\max$ e limiar anaeróbio.

Assim sendo, a variação da *performance* na maratona pode ser explicada, não só pela forma como é estruturado o plano de treino, mas também a partir da variabilidade encontrada em alguns parâmetros caracterizadores do volume (número de km por semana), da intensidade (distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à maratona, distância semanal percorrida à velocidade da maratona, distância semanal percorrida à velocidade correspondente ao limiar anaeróbio, distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros, distância semanal percorrida à velocidade dos

10000 metros) e da frequência da carga (número de unidades de treino por semana, número de unidades de treino por semana a uma velocidade inferior à maratona, número de unidades de treino por semana à velocidade da maratona, número de unidades de treino por semana à velocidade correspondente ao limiar anaeróbio, número de unidades de treino por semana corridas à velocidade dos 3000 metros, número de unidades de treino por semana corridas à velocidade dos 10000 metros).

No nosso estudo, vamos apenas considerar os parâmetros diferenciadores da *performance* da maratona mais pertinentes como: (1) a distância percorrida semanalmente por cada atleta (km.sem^{-1}); (2) a distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$); (3) a distância semanal percorrida à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$); (4) a distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio ($\text{km.sem}^{-1} @ v_4$); (5) a distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$); (6) a distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$);

4. Material e Métodos

4.1. Descrição e caracterização da amostra.

Este estudo foi realizado com uma amostra de 78 maratonistas masculinos (idade = 34.64 ± 6.21 anos; altura = 169.22 ± 5.22 cm; peso = 62.04 ± 7.26 kg) tendo 61 terminado com uma *performance* média de 160.51 ± 24.38 min. Entre os 78 elementos da amostra foram avaliados os seguintes indicadores fisiológicos: o VO_2 max e a economia de corrida em 50 atletas e o limiar anaeróbio em 58. Os atletas que terminaram a maratona foram repartidos por três grupos de acordo com o seu nível de desempenho: (1) grupo de elite (GEB) com uma *performance* inferior a 150 min ($n = 30$; *performance* média - 139.33 ± 5.22 min); (2) o grupo de atletas de nível médio (GM) com uma *performance* compreendida entre 150.1 e 180 min ($n = 16$; 166.95 ± 7.64 min); e (3) o grupo de atletas lentos (GL) com uma *performance* superior a 180.1 min ($n = 15$; 196.01 ± 8.36 min). Os atletas do GEB revelaram-se os mais experientes, com a idade de treino mais elevada, com maior número de maratonas realizadas, os mais novos considerando a idade cronológica e os que exibiam menor massa corporal (quadro 53). Em 48 atletas foram obtidos registos completos de todos os indicadores fisiológicos e da *performance*.

Quadro 53 Características físicas das diferentes categorias de maratonistas

	Total	n	GEB	n	GM	n	GL	n
p[t]	160.51 ± 24.38 (156.32-170.69)	61	139.33 ± 5.22 (137.38-141.28)	30	166.95 ± 7.64 (162.88-171.02)	16	196.01 ± 8.36 (191.38-200.64)	15
peso	63.57 ± 7.39 (61.51-65.62)	61	57.91 ± 6.04 (54.57-61.26)	30	63.28 ± 5.23 (58.91-67.64)	16	66.73 ± 8.32 (53.49-79.96)	15
altura	171.35 ± 5.34 (169.86-172.83)	61	170.33 ± 4.71 (167.72-172.95)	30	172.25 ± 4.27 (168.68-175.82)	16	170.00 ± 6.96 (158.92-181.08)	15
idade	35.96 ± 6.93 (34.03-37.89)	61	32.00 ± 3.96 (29.80-34.20)	30	36.75 ± 4.86 (32.68-40.82)	16	43.00 ± 2.16 (39.56-46.44)	15
idade treino	11.31 ± 6.52 (9.49-13.12)	61	15.33 ± 6.29 (11.85-18.81)	30	9.88 ± 4.52 (6.10-13.65)	16	8.50 ± 3.11 (3.55-13.45)	15
# maratonas	4.85 ± 3.11 (3.98-5.61)	61	8.40 ± 2.47 (7.03-9.77)	30	3.63 ± 2.77 (1.31-5.94)	16	2.50 ± 1.73 (0.26-5.26)	15

Todos os sujeitos completaram pelo menos uma série de testes, nas três semanas que antecediam a maratona, onde foram avaliados relativamente aos três indicadores fisiológicos referidos.

O VO_2max e a economia de corrida foram avaliados pelo método directo, em laboratório, no tapete rolante, enquanto o limiar anaeróbio foi determinado num teste de terreno.

Os testes foram efectuados com consentimento prévio dos sujeitos, que efectuavam um ECG para despiste de problemas cardiovasculares e assinavam uma ficha de termo de responsabilidade.

Uma anamnese do treino foi efectuada a todos os elementos da amostra.

A avaliação do desempenho na maratona foi finalmente considerada.

4.2. Identificação das técnicas , métodos e instrumentos utilizados.

4.2.1. Limiar anaeróbio

Para avaliar a capacidade aeróbia dos vários atletas utilizámos o limiar aeróbio-anaeróbio (Mader, 1976) vulgarmente designado por limiar das 4 mmol.l^{-1} de lactato. Este indicador foi determinado com base na velocidade de corrida correspondente a uma concentração sanguínea de lactato de 4 mmol.l^{-1} (v_4).

O estudo abrangeu um período de 9 anos e 2 meses (de Março de 1993 a Maio de 2002), ao longo do qual foram realizados testes de terreno por patamares.

Estes testes foram realizados numa pista de 400m, com piso sintético, efectuando cada atleta quatro repetições de 1600 a 2000 m, de modo a garantirem uma duração do esforço que, segundo Mader (1976), deveria estar entre 5 e 10 min e possuir incrementos de 0.4 m.s^{-1} por patamar (quadro 54).

Para garantir uma intensidade de corrida uniforme em cada patamar eram emitidos sinais sonoros, coincidentes com tempos de passagem pré-estabelecidos para cada 200 m.

As velocidades utilizadas poderiam ser 3.8, 4.2, 4.6, 5.0, 5.4 ou 5.8 m.s^{-1} , de acordo com o nível competitivo de cada atleta.

Os testes foram efectuados de manhã entre as 10h e as 12.00h e à tarde entre as 17h e as 20.00h, sempre com boas condições atmosféricas, i.e., sem precipitação, com temperatura entre 15 e 26 °C e vento a uma velocidade igual ou inferior a 2 m.s^{-1} , avaliada por anemómetro.

Cada teste era precedido por um aquecimento de 10 min de corrida contínua efectuada a uma intensidade baixa, 60 a 75% inferior à utilizada no 1º

patamar (3.8, 4.2 ou 4.6 m.s⁻¹), para estabilizar as concentrações sanguíneas de lactato.

Antes do aquecimento, todos os atletas da amostra eram monitorizados utilizando um *Polar Sport Tester PE-4000* para determinação da FC (em cada 5 s) e era ainda aplicado Finalgon ® no lóbulo da orelha.

Quadro 54 Tabela de tempos de passagem (TP) utilizada nos testes de terreno para determinação do limiar anaeróbio (Adaptada de Mader 1976 e Santos 1995a).

v _{m.s⁻¹}	T _{1000m}	TP 200m	TP 400m	TP 600m	TP 800m	TP 1000m	TP 1200m	TP 1400m	TP 1600m	TP 1800m	TP 2000m
3.8	4.23.16	52.63s	1.45.26	2.37.89	3.30.53	4.23.16	5.15.79	6.08.42	7.01.05	7.53.68	8.46.31
4.2	3.58.10	47.62	1.35.24	2.22.86	3.10.48	3.58.10	4.45.71	5.33.33	6.20.95	7.08.57	7.56.19
4.6	3.37.39	43.48	1.26.96	2.10.43	2.53.91	3.37.39	4.20.87	5.04.35	5.47.83	6.31.30	7.14.78
5.0	3.20.00	40.00	1.20.00	2.00.00	2.40.00	3.20.00	4.00.00	4.40.00	5.20.00	6.00.00	6.40.00
5.4	3.05.19	37.03	1.14.07	1.51.11	2.28.15	3.05.19	3.42.22	4.19.26	4.56.30	5.33.33	6.10.37
5.8	2.52.41	34.48	1.08.97	1.43.45	2.17.93	2.52.41	3.26.90	4.01.38	4.35.86	5.10.34	5.44.83

Foram efectuadas recolhas de sangue capilar do lóbulo da orelha: (a) em situação de repouso, i.e., antes do início do aquecimento; (b) imediatamente após o aquecimento; (c) durante a realização do teste de terreno, nos 30-40s imediatamente após a conclusão de cada patamar de 1600 ou 2000 m. Estas amostras foram posteriormente analisadas para determinação da concentração sanguínea de lactato utilizando um analisador de lactato YSI-1500 Sport. O cálculo da concentração de lactato correspondente a determinada velocidade de corrida contínua foi efectuado por análise da regressão linear a partir dos dados obtidos no teste de terreno.

4.2.2. Economia de Corrida

Para avaliar a economia de corrida dos atletas da amostra utilizámos o protocolo de Daniels et al. (1985). O estudo abrangeu um período de 2 anos e 2 meses (de Março de 1998 a Maio de 2000), ao longo do qual foram realizados testes no tapete rolante (Erich Jaeger Laufergotest) por patamares.

No início de cada sessão, para uma adequada adaptação ao tapete rolante, os sujeitos efectuavam um aquecimento de 10 min a uma velocidade de $3.57 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($214 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$), para os atletas de nível 1, 2, 3 e a $2.78 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($167 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$) para os mais lentos (nível 4 e 5).

Para determinação do nível a adoptar, o último patamar deveria ser 1 min mais lento que a melhor marca aos 10 000 m.

Em seguida, cada atleta testado efectuava quatro corridas no tapete rolante, tendo sido adoptados 6 níveis de quatro patamares cada (quadro 55) que incluíam intensidades correspondentes às velocidades 3.47 , 3.80 , 4.13 , 4.47 , 4.83 , 5.17 , 5.50 e $5.83 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e serviam para determinar a economia de corrida, isto é, o custo em oxigénio por unidade de distância correspondente a cada velocidade. O tempo de recuperação entre cada patamar era de 5 min.

O gás expirado foi continuamente verificado numa câmara misturadora passando através de um tubo de secagem, as concentrações de O_2 e CO_2 foram analisadas com um analisador volumétrico de gás e os volumes expirados foram medidos num gasómetro através do esvaziamento de balões meteorológicos. Ambos os analisadores foram calibrados no princípio e no fim de cada teste, utilizando preparações certificadas de gás comercial. A partir de valores do volume de gás e do conteúdo fraccionado de dióxido de carbono e de oxigénio, o VO_2 foi calculado com um microcomputador para obter os resultados metabólicos em cada 30 segundos. Os parâmetros respiratórios foram recolhidos através de um sistema móvel automático MetaMax (Cortex Biophyk GmbH), e analisados através de um computador JVC, modelo GD-H3214VCW.

A média dos valores de consumo de O_2 efectuados nos dois últimos minutos de cada patamar de 6 min serviu para determinar o custo aeróbio de cada velocidade individual em cada sessão de testes. Através de uma regressão linear simples foi calculado o VO_2 correspondente à velocidade da maratona. Uma vez que o VO_2 foi medido em velocidades diferentes, a EC de cada sujeito, considerando o custo em oxigénio por unidade de distância, foi determinada pelo quociente do VO_2 correspondente a cada patamar, expresso em $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ pela velocidade em $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$, sendo o valor obtido expresso em $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$.

Também considerámos a economia de corrida expressa pelo consumo de oxigénio correspondente à velocidade de $290 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ($17.36 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), que foi avaliada directamente numa percentagem elevada dos elementos da amostra.

Quadro 55 Protocolo para determinação da economia de corrida (Daniels et al. 1985). Níveis utilizados, velocidades (em $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ e $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e tempo por km ($\text{T}\cdot 1000\text{m}^{-1}$) correspondente a cada patamar.

Níveis					Velocidade			Ritmo
1	2	3	4	5	$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	$\text{T}\cdot 1000\text{m}^{-1}$
			+	+	12.48	208	3.47	4.48.46
			+	+	13.68	228	3.80	4.23.00
		+	+	+	14.87	248	4.13	4.02.13
	+	+	+	+	16.09	268	4.47	3.43.71
+	+	+	+		17.36	290	4.83	3.27.04
+	+	+			18.61	310	5.17	3.13.42
+	+				19.80	330	5.50	3.01.82
+					20.99	350	5.83	2.51.53

4.2.3. VO_2max

Depois de efectuadas as medidas em laboratório, que permitiam encontrar a EC a quatro intensidades submáximas pré-determinadas para cada sujeito, o teste no tapete rolante continuava, utilizando ainda o protocolo de Daniels et al. (1985), agora para determinação do VO_2max .

Decorridos 10 minutos de tempo de recuperação, o consumo máximo de oxigénio era determinado utilizando um protocolo de velocidade contínua e inclinação progressiva. Durante os dois primeiros minutos de cada teste os sujeitos corriam com uma inclinação de 0% do tapete rolante à velocidade utilizada no último patamar para determinação da economia de corrida (4.47, 4.83, 5.17, 5.50, 5.83 ou $6.17\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). Após decorridos 2 minutos, no início do terceiro minuto, aos 2.01s, ocorria um aumento de 1% na inclinação do tapete rolante que se repetia por cada minuto decorrido, até se atingir a exaustão. Durante o teste, como procedimento de rotina visando a obtenção de níveis elevados de prestação, o atleta era incentivado verbalmente e de forma ininterrupta, de forma a superar o desconforto inerente a uma situação de esforço intenso até à exaustão. O volume de gás recolhido e registado desde o início, em cada 30 s, permite determinar o valor médio de VO_2 do último minuto de exercício que é considerado como o VO_2max .

4.2.4. Anamnese do treino

Foi efectuada uma anamnese do treino de cada um dos 78 sujeitos, correspondente aos três meses que antecederam a maratona, para conhecer o seguinte: (1) o número de unidades de treino por semana; (2) o número de km por semana; (3) a distância semanal percorrida à velocidade da maratona; (4) a distância semanal percorrida à velocidade correspondente ao limiar anaeróbio; (5) o número de unidades de treino por semana corridas à velocidade dos 3000 metros; (6) a distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros; (7) o número de unidades de treino por semana corridas à velocidade dos 10000 metros; (8) a distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros; (9) a duração da unidade de treino mais longa; (10) o número de km percorridos na unidade de treino mais longa.

4.2.5. Desempenho desportivo

Os resultados do desempenho desportivo-motor na maratona também foram objecto de análise. Todas as corridas foram efectuadas ao nível do mar e cumpriram os requisitos estabelecidos pelas *Association of International Marathons and Road Races* (AIMS) e *International Amateur Athletic Federation* (IAAF).

Os elementos da amostra participaram nas seguintes maratonas: Lisboa 1993 (2 maratonistas), Turim 1993 (1), San Sebastian 1993 (1), Hamburgo 1995 (1), Paris 1998 (3), Viena 1998 (3), Estocolmo 1998 (1), Midnight Sun 1998 (1), Toral 1998 (2) Paavo Nurmi 1998 (1), Budapeste 1998 - Campeonatos da Europa (2), Velei 1998 (2), Macau 1998 (1), Lisboa 1998 (11), Fukuoka 1998 (1), Sevilha 1999 (1), Londres 1999 (2), Madrid 1999 (3), Praga 1999 (4), Sevilha 1999 - Campeonato do Mundo (1), Veneza 1999 (1), Nova Iorque 1999 (1), Lisboa 1999 (26), Cancun 1999 (1), Macau 1999 (1), Londres 2000 (1), Turim 2000 (1), Paris 2000 (1), Turim 2002 (1)

4.3. Procedimentos estatísticos.

Os dados serão descritos de acordo com as estatísticas habituais, média, desvio-padrão, mínimo, máximo e amplitude.

Sempre que necessário serão calculados intervalos de confiança a 95% para as variáveis mais importantes do estudo.

A análise da variância a um factor será utilizada para testar diferenças de médias das variáveis em função de um agrupamento dos atletas com base em valores de corte do seu desempenho.

Os aspectos das diferenças interindividuais na *performance* e os indicadores fisiológicos mais importantes serão estudados com base na correlação de Pearson, regressão linear simples e múltipla. A regressão múltipla também será usada para identificar os preditores fisiológicos e caracterizadores do processo de treino mais relevantes na explicação das diferenças interindividuais na *performance* da maratona.

5. Resultados

Os resultados vão ser analisados considerando a amostra na sua globalidade e subdividida em três grupos: (1) o grupo de elite (GEB) que contém os atletas com *performances* inferiores a 150 min; (2) o grupo de atletas de nível médio (GM) que engloba os que possuem um resultado final situado entre 150.1 e 180 min e o grupo de corredores lentos (GL) que compreende todos os que possuem *performances* acima dos 180.1 min.

Ao analisarmos os valores globais, (quadro 56) considerando a heterogeneidade da amostra relativamente ao desempenho, de atletas profissionais, em dedicação exclusiva, que efectuam treino duplo diário ao longo de vários anos e de não profissionais, que treinam apenas uma vez por dia, como forma de manutenção da condição física, por recreação ou lazer, verificamos que a *performance* desportivo-motora média nos maratonistas é de 160.51 min.

Quadro 56 Amostra global dos maratonistas do nosso estudo nos valores médios \pm (DP) das variáveis: *performance* (T), consumo máximo de oxigénio (VO_2max), Limiar anaeróbio expresso pela velocidade correspondente a uma lactatemia de 4 mmol.l⁻¹ (v_4), economia de corrida à velocidade da maratona expressa pelo custo em oxigénio por unidade de distância (ECv_{mar}), e utilização fraccional do consumo máximo de oxigénio à velocidade da maratona (FVO_2max). Intervalos de confiança (IC) para a média de cada variável.

Variável	n	Média	\pm DP	IC
T (min)	61	160.51	24.38	156.32-170.69
VO_2max (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	50	69.49	9.97	66.66-72.33
Lan (m.s ⁻¹)	58	4.99	0.50	4.86-5.12
ECv_{mar} (ml.kg ⁻¹ .km ⁻¹)	50	203.98	23.17	197.41-210.57
VO_2v_{290} (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	46	57.95	5.31	56.37-59.53
VO_2v_{mar} (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	50	53.59	9.71	50.83-56.35
FVO_2max (%)	50	76.72	8.44	74.38-79.08

A análise dos resultados por cada categoria de desempenho dos maratonistas permitiu um estudo diferencial entre a *performance* e cada um dos indicadores (quadro 57): (1) a existência de diferenças significativas entre os 3 grupos para o VO_2max ($F_{2,47} = 21.383$ $p = .000$), observando-se um valor

bastante elevado ($77.31 \pm 9.15 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$) para o GEB, $10.16 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ superior ao GM, que por sua vez apresentava um valor superior ao GL de $6.15 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$; (2) a revelação de diferenças significativas entre os 3 grupos para a velocidade correspondente ao limiar anaeróbio ($F_{2,55} = 171.045 \text{ p} = .000$), observando-se para o GEB uma velocidade média $5.42 \pm 0.16 \text{ m.s}^{-1}$, para o GM $4.80 \pm 0.21 \text{ m.s}^{-1}$ e para o GL $4.31 \pm 0.24 \text{ m.s}^{-1}$; (3) a confirmação da ausência de diferenças muito significativas entre a utilização fraccional do VO_2max à velocidade da maratona, 78.98 ± 4.67 para o GEB, 77.59 ± 11.39 para

Quadro 57 Resultados da ANOVA por categorias dos maratonistas do nosso estudo nos valores médios \pm (DP) das variáveis: *performance* (T), consumo máximo de oxigénio (VO_2max), o limiar anaeróbio expresso pela velocidade correspondente a uma lactatemia de 4 mmol.l^{-1} (v_4), economia de corrida à velocidade da maratona expressa pelo custo em oxigénio por unidade de distância (ECv_{mar}), a economia de corrida correspondente ao consumo de oxigénio a 290 mmin^{-1} , o consumo de oxigénio correspondente à velocidade da maratona ($\text{VO}_2v_{\text{mar}}$) e a utilização fraccional do consumo máximo de oxigénio à velocidade da maratona (FVO_2max).

Variável	GEB (IC)	n	GM (IC)	n	GL (IC)	n	Teste F*	contraste
T (min)	139.33 ± 5.22 (137.38-141.28)	30	166.95 ± 7.64 (162.88-171.02)	16	196.01 ± 8.36 (191.38-200.64)	15	$F_{2,58} = 362.498$	GEB>GM; GM>GL
VO_2max ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	77.31 ± 9.15 (73.03-81.60)	20	67.15 ± 6.66 (63.60-70.70)	16	61.00 ± 4.76 (58.25-63.74)	14	$F_{2,47} = 21.383$	GEB>GM; GM>GL
v_4 (m.s^{-1})	5.42 ± 0.16 (5.36-5.48)	29	4.80 ± 0.21 (4.68-4.91)	15	4.31 ± 0.24 (4.17-4.44)	14	$F_{2,55} = 171.045$	GEB>GM; GM>GL
ECv_{mar} ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$)	201.27 ± 21.14 (191.38-211-17)	20	204.89 ± 27.68 (190.14-219.64)	16	206.83 ± 21.55 (194.40-219.28)	14	$F_{2,47} = 0.247$	
VO_2290 ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	58.53 ± 5.98 (55.74-61.34)	20	57.62 ± 5.63 (54.50-60.74)	15	57.33 ± 3.67 (54.87-59.80)	11	$F_{2,43} = 0.217$	
$\text{VO}_2v_{\text{mar}}$ ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	81.00 ± 7.60 (57.44-64.55)	20	51.91 ± 7.74 (47.78-56.03)	16	44.94 ± 5.76 (41.61-48.27)	14	$F_{2,47} = 21.176$	GEB>GM; GM>GL
FVO_2max (%)	78.98 ± 4.67 (76.79-81.16)	20	77.59 ± 11.37 (71.53-83.65)	16	73.05 ± 7.97 (68.81-77.30)	16	$F_{2,49} = 2.441$	GEB>GM; GM>GL

* Todos os valores de F são estatisticamente significativos ($p < 0.001$) com excepção da economia de corrida considerando o custo em oxigénio por unidade de distância (ECv_{mar} ; $p = 0.782$), a economia de corrida considerando o custo em oxigénio a uma intensidade submáxima (VO_2290 ; $p = .806$) e a utilização fraccional de VO_2max à velocidade da maratona (FVO_2max ; $p = .098$)

o GM e 73.05 ± 7.97 para o GL; (4) a inexistência de diferenças significativas entre os grupos quanto à economia de corrida ($F_{2,47} = 0.247 \text{ p} = .782$), registando-se para o GEB um custo por unidade de distância de $201.27 \pm 21.14 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$, enquanto para o GM o valor pouco se altera 204.89 ± 27.68

ml.kg⁻¹.km⁻¹, o que corresponde a uma diferença de -3.62 ± 7.89 ml.kg⁻¹.km⁻¹, enquanto para o GL se regista 206.83 ± 21.55 ml.kg⁻¹.km⁻¹ o que difere em apenas -1.94 ± 8.61 ml.kg⁻¹.km⁻¹ do GM. Considerando a economia de corrida como o consumo de oxigénio a determinada intensidade submáxima, no caso correspondente a uma velocidade de 290 mmin⁻¹, podemos constatar a inexistência de diferenças significativas entre os 3 grupos de maratonistas: 58.54 ± 5.98 para o GEB, 57.62 ± 5.63 para o GM e 57.33 ± 3.67 para o GL.

Entre o consumo máximo de oxigénio, a economia de corrida e o limiar anaeróbio, a *performance* na maratona pode ser melhor explicada a partir da variação encontrada no limiar anaeróbio.

Do quadro 58 podemos constatar, considerando todos os maratonistas da amostra, que o indicador fisiológico com a correlação mais elevada com a *performance* é o limiar anaeróbio. O VO₂max também apresenta uma correlação elevada, mas a *performance* na maratona não parece poder ser explicada com base na economia de corrida a partir do valor de correlação encontrado.

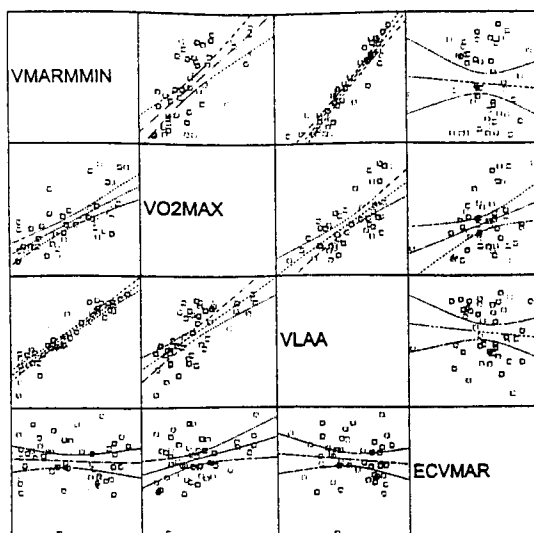
Quadro 58 Matriz de correlação entre *performance* e consumo máximo de oxigénio, limiar anaeróbio e economia de corrida à velocidade da maratona expressa pelo custo em oxigénio por unidade de distância. Valores relativos à amostra total do estudo.

	<i>Performance</i>	VO ₂ max	Lan
VO ₂ max	r = -0.686 p = 0.000 n = 50	-	
Lan	r = -0.944 p = 0.000 n = 58	r = 0.709 p = 0.000 n = 52	-
EC v maratona	r = 0.062 ns n = 50	r = 0.327 p = 0.012 n = 50	r = -0.095 ns n = 47

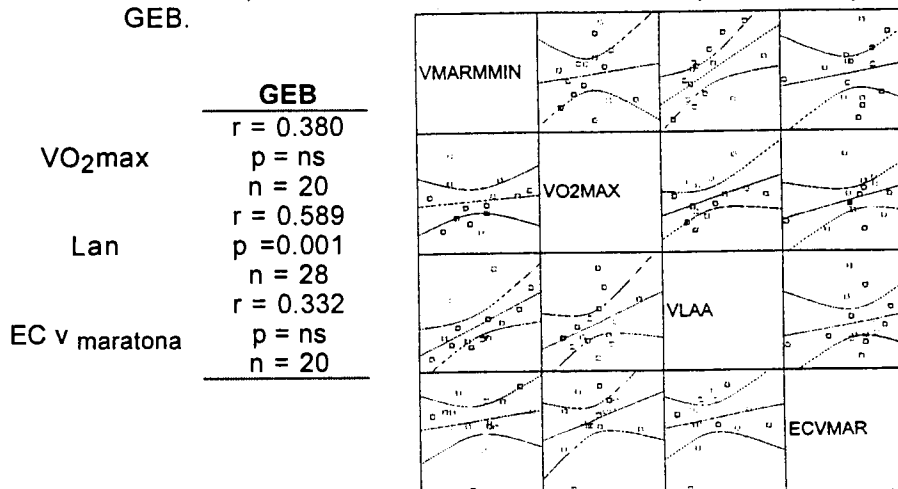
Analisando os maratonistas da amostra por categorias, i.e., a partir da sua inclusão em grupos heterogéneos (quadros 60, 61 e 62), observamos um nível de associação diferenciado na relação entre os vários indicadores fisiológicos e a *performance*. Com efeito, os dados observados para a globalidade da amostra (quadro 58), permitiram concluir que o limiar anaeróbio

evidencia a correlação mais elevada com a *performance*. No entanto, quando o nível de associação é observado por categoria, verificamos que a relação entre os indicadores fisiológicos e a *performance* se altera da seguinte forma: (1) o limiar anaeróbio e o VO₂max, que exibiam na amostra global uma correlação elevada com a velocidade da maratona, baixaram substancialmente os seus valores de correlação; (2) a importância relativa dos indicadores fisiológicos com a *performance* é diferente de grupo para grupo; (3) a economia de corrida passou a exibir um resultado significativo no grupo dos atletas mais lentos.

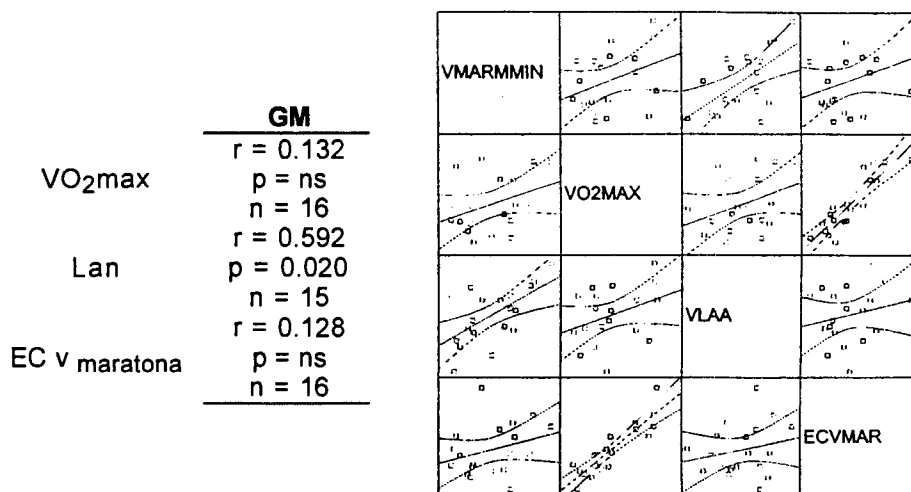
Quadro 59 Rectas de regressão considerando a *performance* como variável dependente e o VO₂max (VO2MAX), a EC (ECVMAR) e Lan (VLAA) como variáveis independentes.



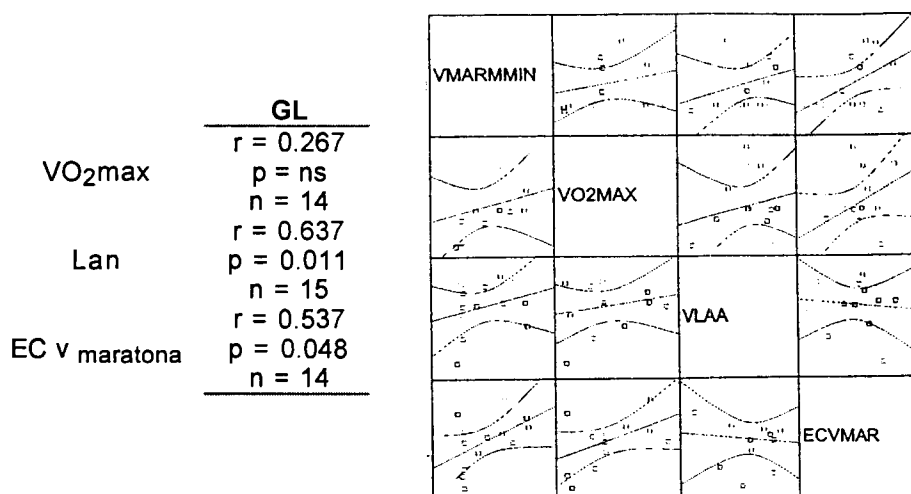
Quadro 60 Correlação entre a *performance* o consumo máximo de oxigénio, o limiar anaeróbio e a economia de corrida à velocidade da maratona por unidade de distância, considerando os maratonistas do GEB. Rectas de regressão considerando a *performance* como variável dependente e o VO₂ max, a EC e Lan como variáveis independentes, para o GEB.



Quadro 61 Correlação entre a *performance* o consumo máximo de oxigênio, o limiar anaeróbio e a economia de corrida à velocidade da maratona por unidade de distância, considerando os maratonistas do GM. Rectas de regressão considerando a *performance* como variável dependente e o VO₂ max, a EC e Lan como variáveis independentes, para o GM.



Quadro 62 Correlação entre a *performance* o consumo máximo de oxigênio, o limiar anaeróbio e a economia de corrida à velocidade da maratona por unidade de distância, considerando os maratonistas do GL. Rectas de regressão considerando a *performance* como variável dependente e o VO₂ max, a EC e Lan como variáveis independentes, para o GL.



O nosso estudo engloba 78 maratonistas a quem avaliámos os seguintes indicadores fisiológicos: $VO_2\text{max}$, limiar anaeróbio e economia de corrida. No modelo de regressão múltipla consideramos apenas aqueles de que possuímos registos completos de todos os atletas que terminaram a maratona ($n = 48$).

Sinteticamente salientamos os seguintes pontos:

(1) entre a *performance* (tempo em minutos) e o limiar anaeróbio, expresso pela velocidade correspondente a uma lactatemia de 4 mmol.l^{-1} (v_4), a correlação é muito elevada e significativa, mas negativa, o que significa que quanto maior é a *performance* (pior em termos absolutos, isto é, maior é o tempo gasto a correr a maratona) menor é a v_4 , o que significa pela mesma ordem de ideias que quanto menor é o tempo gasto na maratona maior é a v_4 , o que confirma o elevado nível preditivo do limiar anaeróbio;

(2) quanto menor for o tempo de corrida (o que equivale a um incremento da excelência da *performance*) maior será o $VO_2\text{max}$;

(3) entre a *performance* (tempo em minutos) e a economia de corrida à velocidade da maratona (expressa pelo custo em oxigénio por unidade de distância) o valor de correlação é muito baixo e não significativo, o que significa que, quanto maior é a *performance* (maior é o tempo gasto a correr a maratona), maior é o valor do custo em oxigénio por unidade de distância, isto é, menos económico é o atleta;

(4) entre o $VO_2\text{max}$ e o limiar anaeróbio o valor de correlação também é muito elevado e significativo ($r = 0.709$; $r^2 = 50\%$), o que significa que o limiar anaeróbio explica cerca de 50% do valor de $VO_2\text{max}$;

(5) entre o $VO_2\text{max}$ e a economia de corrida o valor de correlação também é baixo mas significativo ($r = 0.327$; $r^2 = 11\%$), o que significa que a economia de corrida explica cerca de 11% do valor de $VO_2\text{max}$;

(6) entre o limiar anaeróbio e a economia de corrida o valor de correlação é negativa e não significativa, o que coloca reservas na afirmação de que quanto maior é o valor do limiar anaeróbio, menor é o valor da economia de corrida, o que significa que quanto maior é a v_4 mais económico é o atleta.

Tendo em conta a estimativa de variância comum de todas as variáveis predictoras analisadas em relação à *performance*, podemos afirmar que a mais importante é o limiar anaeróbio ($r^2 = 89\%$), seguida do $VO_2\text{max}$ ($r^2 = 47\%$). A

economia de corrida não parece estar substancialmente associada à variação da *performance*.

No entanto, com base no estudo diferencial sabemos que o limiar anaeróbio, o $VO_2\text{max}$ e a economia de corrida, possuem pesos diferentes na explicação do desempenho. Para a predição da *performance* na maratona, com base nestes três indicadores fisiológicos, necessitamos de um modelo de regressão múltipla. Só assim é possível comparar o grau de importância de cada uma das variáveis preditoras (quadro 63).

O modelo de regressão evidencia resultados significativos ($F_{3,44} = 120.416$; $p = 0.000$); o valor de $R = 0.94$ e do $R^2 = 89\%$.

Quadro 63 Valores da correlação múltipla para o $VO_2\text{max}$, EC e Lan, em relação à *performance* desportivo-motora na maratona

Preditores	Peso Beta	Erro padrão	t	p	Peso Beta estandardizado
$VO_2\text{max}$ ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	-0.046	0.220	-0.208	0.836	-0.018
Lan (m.s^{-1})	-45.319	3.928	-11.537	0.000	-0.933
EC v maratona ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$)	-0.023	0.066	-0.345	0.732	-0.021

Dos preditores considerados no modelo, no sentido de encontrar as variáveis que mais contribuem para as diferenças no desempenho, só evidenciou resultado significativo ($p < 0.001$) o limiar anaeróbio. A economia de corrida e o $VO_2\text{max}$, sem pesos beta muito baixos ($p > 0.730$) não parecem demonstrar qualquer importância nas diferenças interindividuais no desempenho da maratona.

Na hipótese 3 ficou estabelecido que a intensidade da corrida correspondente à maratona determinada com base na relação lactato-velocidade e obtida a partir de um teste de terreno incremental, ocorre nas velocidades correspondentes a lactatemias de 2.5 e 3 mmol.l^{-1} . Pela formulação desta hipótese pretendemos conhecer a capacidade diferencial e de associação das velocidades correspondentes às concentrações de lactato observadas com a *performance* desportivo-motora na maratona.

As velocidades médias obtidas no teste de terreno, correspondentes a lactatemias de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l⁻¹, estão assinaladas no quadro 64. A velocidade média da maratona considerando a amostra global foi de 4.30 m.s⁻¹, velocidade correspondente a uma lactatemia inferior a 1.5 mmol.l⁻¹.

Quadro 64 Valores médios (\pm dp) da velocidade de corrida correspondente às concentrações de lactato de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l⁻¹.

lactatemia (mmol.l⁻¹)	n	velocidade (mmin⁻¹)	\pmdp	IC
1.5	52	4.60	0.53	4.45-4.76
2	55	4.70	0.53	4.55-4.84
2.5	58	4.78	0.53	4.64-4.92
3	58	4.86	0.52	4.73-5.00
3.5	59	4.93	0.51	4.80-5.06
4	59	4.99	0.50	4.86-5.20
4.5	54	5.06	0.51	4.92-5.20
5	53	5.08	0.50	4.94-5.22
5.5	48	5.10	0.51	4.95-5.25

A amostra por categorias de maratonistas nos valores médios \pm (dp) da velocidade de corrida correspondente às concentrações de lactato de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l⁻¹ pode ser observada no quadro 65. A velocidade média da maratona para o GEB foi de 5.05 m.s⁻¹, para o GM 4.21 m.s⁻¹ e para o GL 3.59 m.s⁻¹. Assim, para o grupo de maratonistas mais rápidos observamos que a velocidade da maratona se situa entre as velocidades correspondentes a lactatemias de 1.5 e 2 mmol.l⁻¹, enquanto para o GM e o GL as velocidades mantêm-se, como para o valor global da amostra, abaixo da velocidade correspondente a uma lactatemia de 1.5 mmol.l⁻¹.

Quadro 65 Amostra por categorias dos maratonistas do nosso estudo nos valores médios \pm (dp) da velocidade de corrida correspondente às concentrações de lactato de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l⁻¹.

	GEB (IC)	n	GM (IC)	n	GL (IC)	n	Teste F *	contraste
v 1.5	4.98 \pm 0.19	28	4.30 \pm 0.32	12	3.84 \pm 0.33	9	F _{2,46} = 82.023	1>2; 2>3
v 2	5.11 \pm 0.19	29	4.46 \pm 0.27	13	3.97 \pm 0.25	12	F _{2,51} = 119.054	1>2; 2>3
v 2.5	5.22 \pm 0.17	29	4.58 \pm 0.24	14	4.07 \pm 0.25	14	F _{2,54} = 146.766	1>2; 2>3
v 3	5.30 \pm 0.16	29	4.67 \pm 0.23	14	4.17 \pm 0.25	14	F _{2,54} = 155.763	1>2; 2>3
v 3.5	5.36 \pm 0.16	29	4.73 \pm 0.21	15	4.25 \pm 0.24	14	F _{2,55} = 165.665	1>2; 2>3
v 4	5.42 \pm 0.16	29	4.80 \pm 0.21	15	4.31 \pm 0.24	14	F _{2,55} = 171.045	1>2; 2>3
v 4.5	5.48 \pm 0.16	28	4.84 \pm 0.16	13	4.33 \pm 0.22	12	F _{2,50} = 197.966	1>2; 2>3
v 5	5.51 \pm 0.15	26	4.87 \pm 0.17	14	4.39 \pm 0.23	12	F _{2,49} = 184.091	1>2; 2>3
v 5.5	5.56 \pm 0.15	23	4.90 \pm 0.19	12	4.44 \pm 0.23	12	F _{2,50} = 158.205	1>2; 2>3

* Todos os valores de F são estatisticamente significativos (p<0.001)

No entanto, analisando os valores de correlação (quadro 66) entre a *performance* e a velocidade de corrida correspondente às concentrações de lactato de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5, mmol.l⁻¹, observamos que a correlação mais elevada (r = 0.95) ocorre nas velocidades correspondentes às lactatemias de 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l⁻¹.

Observando os valores de correlação por categorias de maratonistas (quadros 67, 68 e 69), no GEB, o valor mais elevado (r = 0.62) é o correspondente à velocidade determinada por uma concentração de lactato de 5 mmol.l⁻¹, enquanto no GM o valor de correlação mais elevado (r = 0.68) corresponde à velocidade identificada por uma lactatemia de 2 mmol.l⁻¹ e para o GL o valor de correlação mais elevado ocorre na velocidade correspondente a uma concentração de lactato de 4.5 mmol.l⁻¹. Ainda assim, foram observadas correlações não significativas entre a velocidade da maratona e as velocidades correspondentes a lactatemias de 1.5 mmol.l⁻¹ em todos os grupos de maratonistas (GEB, GM e GL).

Quadro 66 Correlação entre a *performance* e a velocidade de corrida correspondente às concentrações de lactato de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l⁻¹. Valor global da amostra.

v	n	r	r ²	p
1.5	52	0.66	44%	0.000
2	55	0.94	88%	0.000
2.5	58	0.95	90%	0.000
3	58	0.95	90%	0.000
3.5	59	0.95	90%	0.000
4	59	0.95	90%	0.000
4.5	54	0.95	90%	0.000
5	53	0.95	90%	0.000
5.5	48	0.95	90%	0.000

Quadro 67 Correlação entre a *performance* e a velocidade de corrida correspondente às concentrações de lactato de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l⁻¹. Valor da amostra correspondente ao GEB.

v	n	r	r ²	p
1.5	27	0.37	-	-
2	28	0.54	29%	0.003
2.5	28	0.59	35%	0.001
3	28	0.58	34%	0.001
3.5	28	0.59	35%	0.001
4	28	0.59	35%	0.001
4.5	27	0.58	34%	0.001
5	25	0.62	38%	0.001
5.5	22	0.59	35%	0.004

Quadro 68 Correlação entre a *performance* e a velocidade de corrida correspondente às concentrações de lactato de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l⁻¹. Valor da amostra correspondente ao GM.

v	n	r	r ²	p
1.5	13	0.11	-	-
2	13	0.68	46%	0.010
2.5	14	0.67	45%	0.009
3	14	0.67	45%	0.009
3.5	15	0.63	40%	0.012
4	15	0.59	35%	0.020
4.5	13	0.52	-	-
5	14	0.57	32%	0.033
5.5	12	0.58	34%	0.047

Quadro 69 Correlação entre a *performance* e a velocidade de corrida correspondente às concentrações de lactato de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l⁻¹. Valor da amostra correspondente ao GL.

v	n	r	r ²	p
1.5	11	0.49	-	-
2	13	0.65	42%	0.017
2.5	15	0.66	44%	0.008
3	15	0.63	40%	0.011
3.5	15	0.64	41%	0.010
4	15	0.64	41%	0.011
4.5	13	0.67	45%	0.012
5	13	0.65	42%	0.015
5.5	13	0.65	42%	0.017

Na hipótese 4 ficou estabelecido que a variação da *performance* na maratona podia ser explicada, não só pela forma como é estruturado o plano de treino, mas também a partir da variabilidade encontrada em alguns parâmetros caracterizadores da duração, frequência e da intensidade da carga.

A partir da anamnese do treino efectuada nos 78 sujeitos constituintes da amostra, correspondente aos três meses que antecederam a maratona, ficamos a conhecer, entre outros, os seguintes parâmetros caracterizadores do volume e da intensidade da carga: (1) o número de km percorridos por semana (km.sem^{-1}); (2) a distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$); (3) a distância semanal percorrida à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$); (4) a distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio ($\text{km.sem}^{-1} @ v_4$); (5) a distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$); (6) a distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$).

Ao analisarmos os valores globais, quadro 70) considerando a heterogeneidade da amostra relativamente ao desempenho, que contempla atletas que efectuam treino duplo diário ao longo de vários anos e outros que treinam apenas uma vez por dia, verificamos que o número de km percorridos por semana (144.52 ± 52.81), são valores elevados para o volume de treino quando comparados com outros estudos efectuados a maratonistas. Por outro lado, considerando os parâmetros caracterizadores da intensidade da carga, podemos observar que a distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona (119.95 ± 46.34 km), é próxima do volume total de km percorridos por semana o que implica que é relativamente pouco o trabalho desenvolvido a intensidades específicas que permitem o desenvolvimento de alguns indicadores fisiológicos que se revelaram diferenciadores da *performance* na maratona, como a distância semanal percorrida à velocidade da maratona (9.19 ± 13.34 km), a distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio (4.50 ± 6.44 km), a distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros (7.60 ± 5.10 km) e a distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros (3.27 ± 3.63 km).

Quadro 70 Amostra global dos maratonistas do nosso estudo nos valores médios \pm (DP) das variáveis: *performance* (p[t]), número de km percorridos por semana (km.sem^{-1}), distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$), distância semanal percorrida à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$), distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio ($\text{km.sem}^{-1} @ v_4$), distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$), distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$). Intervalos de confiança (IC) para a média de cada variável.

Variável	n	Média	\pm DP	IC
p[t]	61	160.51	24.38	156.32-170.69
km.sem^{-1}	52	144.52	52.81	129.82-159.22
$\text{km.sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$	52	119.95	46.34	107.05-132.85
$\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$	52	9.19	13.34	5.48-12.91
$\text{km.sem}^{-1} @ v_4$	52	4.50	6.44	2.71-6.29
$\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$	52	7.60	5.10	6.18-9.02
$\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$	52	3.27	3.63	2.26-4.28

A análise dos parâmetros caracterizadores do treino, por cada categoria de desempenho dos maratonistas, permitiu um estudo diferencial entre a *performance* e cada um dos indicadores (quadro 71): (1) a existência de diferenças significativas entre os 3 grupos para o volume de treino efectuado ($F_{2,49} = 101.398$ $p = .000$) observando-se um valor bastante elevado para o GEB no que se refere ao número de km realizados (190.64 ± 34.78) quando comparados com o GM (111.54 ± 16.12) e o GL (92.79 ± 20.17); (2) a revelação de diferenças significativas entre os 3 grupos para o número de km efectuados a uma velocidade inferior à maratona ($F_{2,49} = 29.209$ $p = .000$), observando-se para o GEB um valor bastante elevado (153.90 ± 36.97) em relação a GM (101.23 ± 19.14) e GL (76.71 ± 24.47); (3) diferenças muito significativas entre o GEB e as restantes categorias de maratonistas quanto aos parâmetros caracterizadores da intensidade da carga ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$: 13.76 ± 15.83 ; $\text{km.sem}^{-1} @ v_4$: 6.64 ± 7.23 ; $\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$: 11.68 ± 1.97 ; $\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$: 4.64 ± 4.12) e a confirmação da ausência de diferenças muito significativas entre os mesmos parâmetros para o GM e GL.

Entre todos os indicadores caracterizadores da carga do treino, a *performance* na maratona pode ser melhor explicada a partir da variação encontrada no número de km efectuados semanalmente.

Quadro 71 Resultados da ANOVA por categorias dos maratonistas do nosso estudo nos valores médios \pm (DP) das variáveis: *performance* (p[t]), número de km percorridos por semana (km.sem⁻¹), distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona (km.sem⁻¹ @ < v_{maratona}), distância semanal percorrida à velocidade da maratona (km.sem⁻¹ @ v_{maratona}), distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio (km.sem⁻¹ @ v₄), distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros (km.sem⁻¹ @ v₁₀₀₀₀), distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros (km.sem⁻¹ @ v₃₀₀₀).

Variável	GEB (IC)	n	GM (IC)		GL (IC)		Teste F *	contraste
p[t]	139.33±5.22 (137.38-141.28)	30	166.95±7.64 (162.88-171.02)	16	196.01±8.36 (191.38-200.64)	15	F _{2,58} = 362.498	GEB>GM; GM>GL
km.sem ⁻¹	190.64±34.78 (176.28-205.00)	30	111.54±16.12 (101.80-121.28)	16	92.79±20.17 (81.14-104.43)	15	F _{2,49} = 68.554	GEB>GM; GM>GL
km.sem ⁻¹ @<v _{maratona}	153.90±36.97 (137.53-170.28)	30	101.23±19.14 (89.66-112.80)	16	76.71±24.47 (62.59-90.84)	15	F _{2,49} = 29.209	GEB>GM; GM>GL
km.sem ⁻¹ @v _{maratona}	13.76±15.83 (7.22-20.30)	30	3.46±7.64 (1.16-8.08)	16	6.36±9.99 (0.60-12.12)	15	F _{2,49} = 3.243	
km.sem ⁻¹ @v ₄	6.64±7.23 (3.66-9.62)	30	0.77±2.77 (0.09-2.45)	16	4.14±6.03 (0.66-7.63)	15	F _{2,49} = 4.001	
km.sem ⁻¹ @v ₁₀₀₀₀	11.68±1.97 (10.87-12.49)	30	3.38±4.11 (0.90-5.87)	16	4.21±4.15 (1.82-6.61)	15	F _{2,49} = 37.989	GEB>GM; GM>GL
km.sem ⁻¹ @v ₃₀₀₀	4.64±4.12 (2.94-6.34)	30	2.69±2.81 (0.99-4.39)	16	1.36±2.27 (0.43-2.67)	15	F _{2,49} = 4.407	

* Todos os valores de F são estatisticamente significativos (p<0.001) com excepção da distância semanal percorrida à velocidade da maratona (km.sem⁻¹ @ v_{maratona}; p=0.048), da distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio (km.sem⁻¹ @ v₄; p=0.025) e da distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros (km.sem⁻¹ @ v₃₀₀₀; p=0.017).

No entanto, com base no estudo diferencial sabemos que os indicadores caracterizadores do volume e da intensidade do treino possuem pesos diferentes na explicação do desempenho.

Para a predição da *performance* na maratona com base nestes indicadores caracterizadores do volume (distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona) e da intensidade do treino (distância semanal percorrida à velocidade da maratona, distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio, distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros e distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros), necessitamos de um modelo de regressão múltipla. Só assim é possível estabelecer o grau de importância de cada uma das variáveis predictoras (quadro 72).

O modelo de regressão evidencia resultados significativos ($F_{5,50} = 21.421$; $p = 0.000$); o valor de $R = 0.84$ e do $R^2 = 70\%$.

Quadro 72 Valores da regressão múltipla entre a distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio ($\text{km.sem}^{-1} @ v_4$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$), em relação à *performance* desportivo-motora na maratona. Valores relativos à amostra total do estudo.

Preditores	Peso Beta	Erro padrão	t	p	Peso Beta estandardizado
$\text{km.sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$	-0.310	0.056	-5.542	0.000	-0.588
$\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$	-0.951	0.252	-3.779	0.000	-0.529
$\text{km.sem}^{-1} @ v_4$	0.693	0.468	1.481	0.146	0.185
$\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$	-0.661	0.661	-1.001	0.322	-0.140
$\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$	-1.557	0.896	-1.737	0.089	-0.234

Dos preditores considerados no modelo no sentido de encontrar as variáveis que mais contribuem para as diferenças no desempenho, considerando o valor global da amostra, só evidenciaram resultado significativo ($p < 0.05$) a distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$) e a distância semanal percorrida à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$). A distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio ($\text{km.sem}^{-1} @ v_4$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$) e a distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$), sem pesos beta muito baixos ($p \geq 0.089$) não parecem demonstrar qualquer importância nas diferenças interindividuais no desempenho da maratona.

Considerando apenas o volume do treino em todos os elementos da amostra, a recta de regressão que compara a *performance* e o número de km percorridos por semana (figura 18) podemos observar que à medida que o número de km aumenta o tempo gasto na maratona vai declinando até se atingir um ponto em que o impacto positivo na *performance* estabiliza. Existe um limite a partir do qual o número de km percorridos por semana não parece ser

relevante no desempenho. Observando a figura 18 constatamos que existe um limite a partir do qual o volume de treino não é relevante, i.e., entre 180 e 220 km.

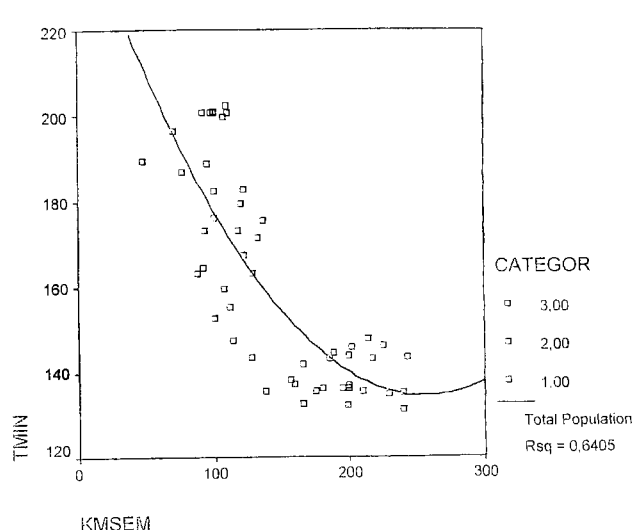


Figura 18 Rectas de regressão múltipla entre a performance [p[t]) e o número de km efectuados por semana (km.sem⁻¹), considerando o valor global da amostra.

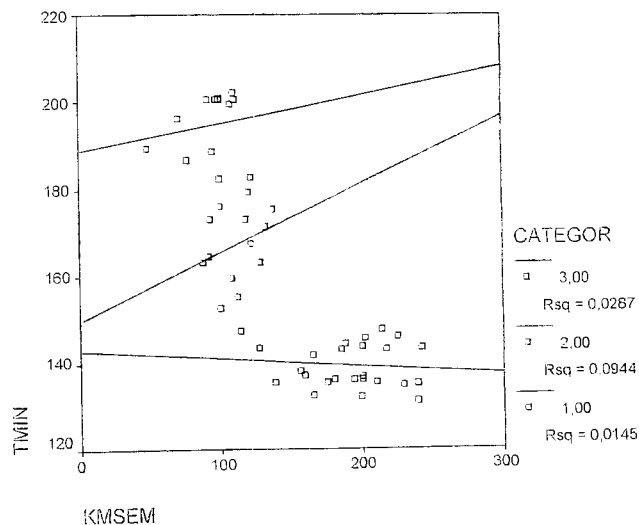


Figura 19 Regressão múltipla entre a performance [p[t]) e o número de km efectuados por semana (km.sem⁻¹), considerando a amostra por categorias.

No entanto, quando os sujeitos da amostra são divididos por grupos (figura 19) observamos que para o GEB é irrelevante fazerem pouco menos de 100 km por semana ou mais de 200 km (o que permite ao treinador gerir a dinâmica da carga utilizando outros meios e métodos de treino), o mesmo acontecendo para o GL, enquanto para o GM o aumento do número de km por semana implica uma redução no desempenho. O valor de r^2 é muito baixo, 2.9% para o grupo 3 (GL), 9.4% para o grupo 2 (GM) e 1.4% para o GEB. Parece evidente que o número de km percorridos por semana não é a variável mais importante para a interpretação das diferenças que ocorrem no desempenho no seio de cada grupo.

Se considerarmos apenas os km percorridos semanalmente a uma velocidade inferior à maratona (figuras 20 e 21) o aspecto da recta da regressão

é idêntico ao já observado quando comparamos o volume total de treino, i.e., o número de km percorridos por semana.

Tudo isto sugere que existirão outros aspectos relacionados com a qualidade do treino que diferenciam o nível de desempenho.

Quando analisamos os maratonistas por categorias, considerando o grupo dos melhores atletas (GEB), o modelo de regressão múltipla utilizado evidencia resultados significativos ($F_{5,24} = 2.445$; $p = 0.000$); o valor de $R = 0.63$ e do $R^2 = 39\%$, permitindo comparar o grau de importância de cada uma das variáveis preditoras (quadro 73).

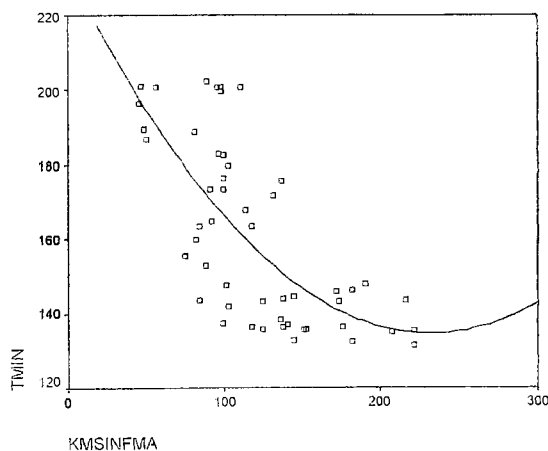


Figura 20 Regressão múltipla entre a performance [p(t)] e o número de km efectuados por semana à velocidade inferior à maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v < \text{maratona}$), considerando o valor global da amostra.

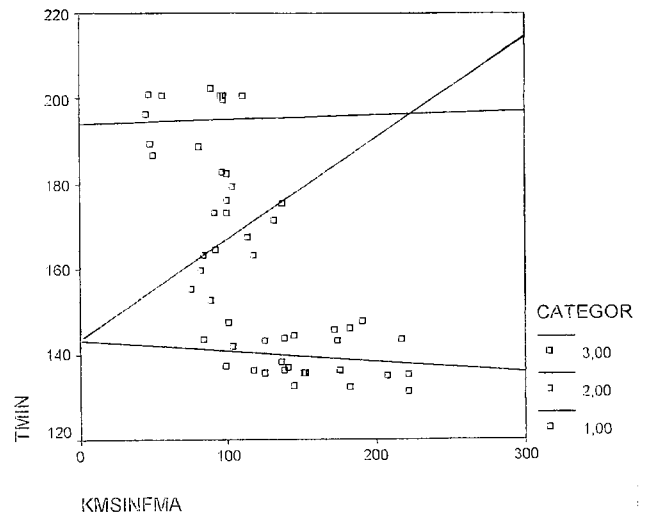


Figura 21 Regressão múltipla entre a performance [p(t)] e o número de km efectuados por semana à velocidade inferior à maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v < \text{maratona}$), considerando a amostra por categorias.

Entre os preditores considerados no modelo no sentido de encontrar as variáveis que mais contribuem para as diferenças no desempenho, só evidenciaram resultado significativo ($p < 0.05$) a distância semanal percorrida à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio ($\text{km.sem}^{-1} @ v_4$) e a distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$), aspectos da qualidade do treino que não têm nada a ver com o volume. A distância semanal

percorrida a uma velocidade inferior à da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$) e a distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$), sem pesos beta muito baixos ($p > 0.103$) não parecem demonstrar qualquer importância nas diferenças interindividuais no desempenho da maratona.

Quadro 73 Valores da regressão múltipla entre a distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio ($\text{km.sem}^{-1} @ v_4$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$), em relação à *performance* desportivo-motora na maratona. Valores relativos à categoria GEB.

Preditores	Peso Beta	Erro padrão	t	p	Peso Beta estandardizado
$\text{km.sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$	-5.158E-02	0.030	-1.714	0.103	-0.401
$\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$	-0.441	0.164	-2.699	0.014	-1.369
$\text{km.sem}^{-1} @ v_4$	0.526	0.235	2.236	0.038	0.745
$\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$	1.514	0.561	2.698	0.014	0.585
$\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$	-0.690	0.532	-1.297	0.210	-0.557

Quadro 74 Valores da regressão múltipla entre a distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio ($\text{km.sem}^{-1} @ v_4$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$), em relação à *performance* desportivo-motora na maratona. Valores relativos à categoria GM.

Preditores	Peso Beta	Erro padrão	t	p	Peso Beta estandardizado
$\text{km.sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$	0.116	0.127	0.914	0.391	0.266
$\text{km.sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$	-0.317	0.316	-1.003	0.349	-0.291
$\text{km.sem}^{-1} @ v_4$	0.919	0.800	1.148	0.289	0.306
$\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$	0.164	0.684	0.240	0.817	0.081
$\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$	-1.093	0.993	-1.102	0.307	-0.369

Considerando os valores relativos ao grupo 2 (GM), o modelo de regressão múltipla não evidencia resultados significativos ($F_{5,24} = 2.249$; $p =$

0.160); o valor de $R = 0.78$ e do $R^2 = 34\%$ o que significa que nenhuma das variáveis possui qualquer valor preditivo o que é reforçado pelo facto de todas não apresentarem pesos beta muito baixos ($p \geq 0.289$) (quadro 74).

O mesmo acontece quando consideramos os valores relativos ao grupo 3 (GL), o modelo de regressão múltipla não evidencia resultados significativos ($F_{5,12} = 2.249$; $p = 0.900$); o valor de $R = 0.42$ e do $R^2 = 17\%$ o que significa que nenhuma das variáveis possui qualquer valor preditivo (quadro 75).

Quadro 75 Valores da regressão múltipla entre a distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ < V_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade da maratona ($\text{km.sem}^{-1} @ V_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio ($\text{km.sem}^{-1} @ v_4$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros ($\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$), em relação à *performance* desportivo-motora na maratona. Valores relativos à categoria GL.

Preditores	Peso Beta	Erro padrão	t	p	Peso Beta estandardizado
$\text{km.sem}^{-1} @ < V_{\text{maratona}}$	0.164	0.167	0.981	0.359	0.537
$\text{km.sem}^{-1} @ V_{\text{maratona}}$	-0.487	0.442	1.101	0.307	0.670
$\text{km.sem}^{-1} @ v_4$	7.888E-02	0.546	0.144	0.889	0.064
$\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$	-0.430	0.725	-0.593	0.572	-0.245
$\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$	0.374	1.219	0.307	0.768	0.115

O acima exposto sugere o volume do treino, i.e., o número de km percorridos a uma velocidade inferior à maratona, não é a variável mais importante para a interpretação das diferenças que ocorrem no desempenho. Em oposição à quantidade, os aspectos qualitativos do treino explicam essa diferença. Observamos que no GEB, o número de $\text{km.sem}^{-1} @ V_{\text{maratona}}$, o número de $\text{km.sem}^{-1} @ v_4$ e o número de $\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$ são as variáveis qualitativas do treino que explicam a *performance*. No entanto, se analisarmos cada um dos indicadores da intensidade do treino individualmente e por categoria, o número de $\text{km.sem}^{-1} @ V_{\text{maratona}}$ (figura 22), o número de $\text{km.sem}^{-1} @ v_4$ (figura 23) o número de $\text{km.sem}^{-1} @ v_{10000}$ (figura 24) e o número de $\text{km.sem}^{-1} @ v_{3000}$ (figura 25), verificamos que há muitos maratonistas que não efectuem treino às intensidades correspondentes à V_{maratona} , v_4 , v_{10000} , v_{3000} , o

que diferencia o desempenho. Por outro lado, a figura 24 sugere que um volume exagerado de treino à v_{10000} pode induzir alguma redução na capacidade de desempenho, o que só acontece no GEB.

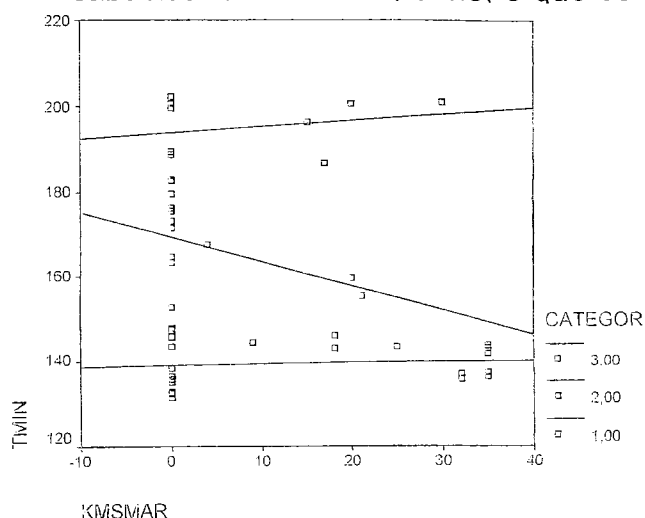


Figura 22 Regressão múltipla entre a performance $[p(t)]$ e o número de km efectuados por semana à velocidade da maratona (km.sem^{-1} @ v_{maratona}), considerando a amostra por categorias.

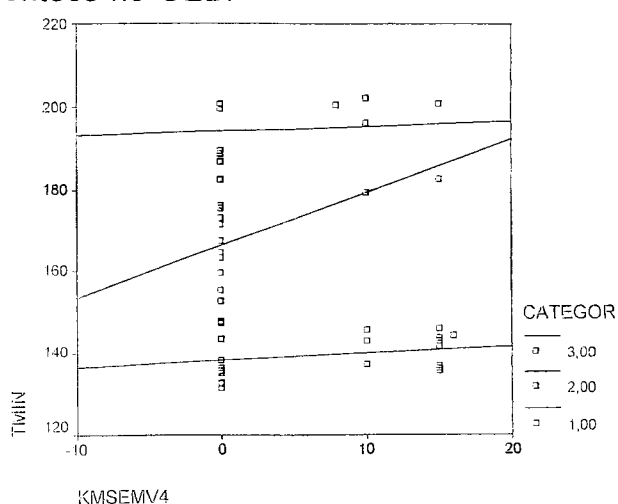


Figura 23 Regressão múltipla entre a performance $[p(t)]$ e o número de km efectuados por semana à velocidade da maratona (km.sem^{-1} @ v_4), considerando a amostra por categorias.

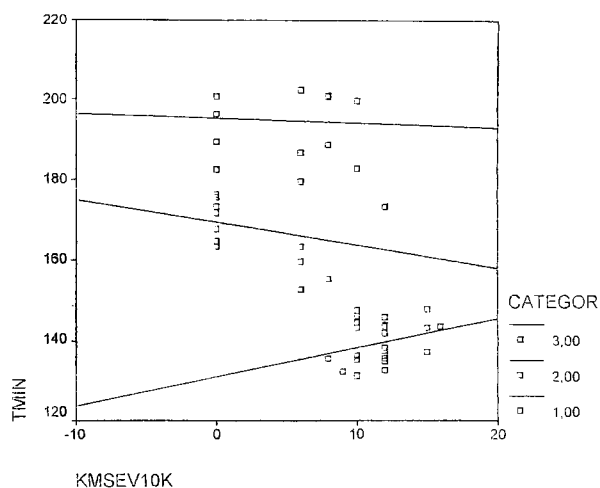


Figura 24 Regressão múltipla entre a performance $[p(t)]$ e o número de km efectuados por semana à velocidade da maratona (km.sem^{-1} @ v_{10000}), considerando a amostra por categorias.

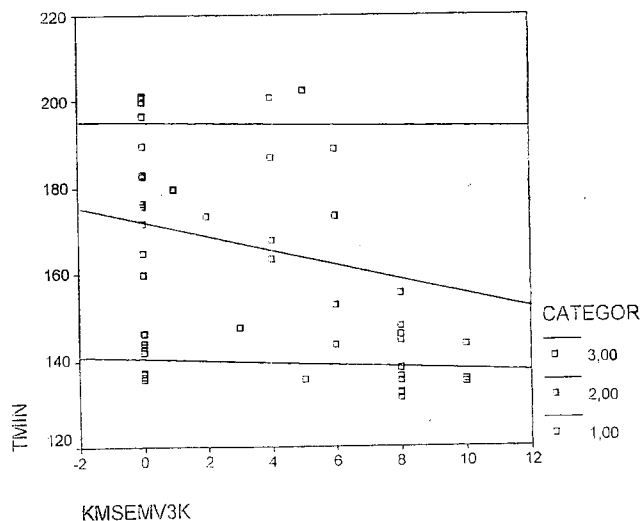


Figura 25 Regressão múltipla entre a performance $[p(t)]$ e o número de km efectuados por semana à velocidade da maratona (km.sem^{-1} @ v_{3000}), considerando a amostra por categorias.

6. Discussão

Vários investigadores (Saltin e Åstrand, 1967; Costill et al., 1963; Bransford e Howley, 1977; Farrel et al., 1979; Conley e Krahenbuhl, 1980; di Prampero et al., 1986; Bunc e Heller, 1989; Padilla et al., 1992) referiram existir uma relação de dependência entre a resistência aeróbia e alguns indicadores fisiológicos como o consumo máximo de oxigénio, a utilização fraccional do consumo máximo de oxigénio, a economia de corrida e o limiar anaeróbio. A *performance* da maratona (analisada na sua globalidade e fraccionada por categorias distintas de desempenho) é interpretada com base no nível de diferenciação e associação de cada um destes indicadores fisiológicos.

O perfil funcional dos corredores de meio-fundo e fundo, de uma forma geral, e dos maratonistas, em particular, tem sido estudado por diversos autores (Billat et al., 2001; Föhrenbach et al., 1987; Hartung e Squires, 1982; Helgerud, 1994; Joyner, 1991; Kyrolainen et al., 2000; Mader, 1991; Péronnet, 1991; Scrimgeour et al., 1986; Sjödín e Svedenhag, 1985; Tanaka, 1984; Vuorimaa et al., 1996). No entanto, poucos investigadores (Farrell et al. 1979, Svedenhag e Sjödín 1984, di Prampero 1986, Helgerud 1994) estudaram de forma integrada a influência daqueles indicadores na maratona, questionando se o contributo de cada um na *performance* desportivo-motora é independente ou resulta da sua interacção.

Observando os valores globais, (quadro 53) atendendo à heterogeneidade da amostra quanto ao desempenho, verificamos que os valores médios das variáveis estudadas - *performance*, consumo máximo de oxigénio, limiar anaeróbio expresso pela velocidade correspondente a uma lactatemia de 4 mmol.l^{-1} (v_4), economia de corrida à velocidade da maratona expressa pelo custo em oxigénio por unidade de distância (ECv_{mar}), e utilização fraccional do consumo máximo de oxigénio à velocidade da maratona ($FVO_2\text{max}$) - estão de acordo com outros estudos descritos na literatura, destacando-se os da ECv_{mar} ($203.98 \pm 23.17 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$) e da utilização fraccional do consumo máximo de oxigénio à velocidade da maratona ($76.72 \pm 8.44\%$), valores excelentes para uma *performance* média de $160.51 \pm 24.38 \text{ min}$, numa amostra de acentuada heterogeneidade.

A análise dos resultados da ANOVA (quadro 54) por cada categoria de desempenho de maratonistas, num estudo diferencial entre a *performance* e cada um dos indicadores, revela a existência de diferenças significativas entre

os 3 grupos para o $VO_2\text{max}$, o limiar anaeróbio e confirma a ausência de diferenças muito significativas entre a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à velocidade da maratona e a inexistência de diferenças significativas entre os grupos quanto à economia de corrida.

Pelo exposto, podemos concluir que o $VO_2\text{max}$, o consumo de oxigénio à velocidade da maratona e o limiar anaeróbio são factores diferenciadores da *performance* desportivo-motora na maratona, o que não se verifica com a economia de corrida na versão de di Prampero (1986), expressa pelo custo em oxigénio por unidade de distância ou, na versão de Daniels (1975), pelo consumo de oxigénio a uma intensidade submáxima (VO_2 290 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$).

Os menos económicos são o componentes do GL, que possuem um custo em oxigénio por unidade de distância maior e valores mais baixos de $VO_2\text{max}$, $FVO_2\text{max}$ e limiar anaeróbio. Os mais económicos são os elementos do GEB, aqueles que evidenciam um custo em oxigénio por unidade de distância menor e valores mais elevados de $VO_2\text{max}$, $FVO_2\text{max}$ e limiar anaeróbio. Valores elevados de $VO_2\text{max}$ e limiar anaeróbio equivalem a uma melhor *performance* na maratona, uma vez que existem diferenças significativas entre os valores de consumo máximo de oxigénio e de limiar anaeróbio e os diferentes níveis de *performance*. Fica assim evidenciada a existência de uma relação de dependência entre o perfil aeróbio dos maratonistas, enquanto expresso pelos consumo máximo de oxigénio, o limiar anaeróbio e o seu perfil funcional.

Estudos anteriores confirmam a existência de valores elevados de $VO_2\text{max}$ entre os maratonistas de elite (i.e., aqueles cujas marcas são inferiores a 150 min; ver quadro 76). Efectivamente, Costil e Fox (1969), Costill e Winrow (1970), Pollock (1977), Davies e Thompson (1979), Svedenhag e Sjödin (1984), Sjödin e Svedenhag (1985), Valdevieso e Arrese (2000) e Billat et al. (2001) encontraram valores de $VO_2\text{max}$ entre 67.1 e 82.3 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ para *performances* médias inferiores a 150 min. No nosso estudo encontramos para o mesmo grupo de indivíduos ($n=20$) um valor médio de $VO_2\text{max}$ de 77.31 ± 9.15 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, para uma *performance* média de 139.33 ± 5.22 min, o que é consensual com as referidas investigações.

Billat et al. (2001) num estudo efectuado com atletas excepcionais ($n = 5$; *performance* média 129 min) e de elite ($n = 5$; *performance* média 133 min) que

se integram no GEB do nosso estudo, referem valores elevados de $VO_2\text{max}$ para os excepcionais, mas pouco elevados para os de elite, o que vem reforçar o papel diferenciador deste indicador.

Quadro 76 $VO_2\text{max}$ em maratonistas de elite (*performance* < 150 min)

Autores	$VO_2\text{max}$ ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	n	T (min)
Costil e Fox (1969); Costill e Winrow (1970)	70.9	10	143
Pollock (1977)	74.1	8	135
Davies e Thompson (1979)	79.0	13	133
Svedenhag e Sjödin (1984)	74.2	5	136
Sjödin e Svedenhag (1985)	71.8	12	141
Vuorimaa et al. (1996)	73.2	6	141
Valdevieso e Arrese (2000)	82.3	8	133
Billat et al. (2001)	67.1	5	133
Billat et al. (2001)	79.6	5	129
nosso estudo	77.3	20	139

Outros estudos efectuados com maratonistas de capacidade funcional menor, com uma *performance* situada entre 150.1 e 180 min, evidenciaram valores próximos dos observados na nossa amostra (quadro 77).

Noakes et al. (1990) referem um valor médio de $VO_2\text{max}$ de $68.1 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ para uma *performance* média de 159 min. Helgerud (1994) encontrou $70.7 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ para 159 min. No nosso estudo, o valor médio encontrado foi de $67.2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ para uma *performance* média de 167 min. Nurmekivi et al. (2002) (não apresentado nos quadros, uma vez que a sua amostra de cinco maratonistas se distribui por dois grupos diferentes, o GEB e o GM), num estudo efectuado com atletas com uma *performance* média de 147.3 ± 11.1 min (em que o valor mais baixo foi de 137.7 min e o mais elevado 165.7 min), obtiveram um $VO_2\text{max}$ médio de $71.1 \pm 5.04 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, o que está de acordo com o exposto para os grupos GEB e GM (quadros 76 e 77).

Curiosamente, outros autores efectuaram estudos com maratonistas com um perfil funcional inferior ao acima referido, com uma *performance* acima dos 180 min e também com valores próximos dos observados na nossa amostra (quadro 78). Helgerud (1990) refere um valor médio de $VO_2\text{max}$ de $59.5 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ para uma *performance* média de 199 min e no nosso estudo o valor médio encontrado foi de $61.0 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ para uma maratona média de 196 min.

Quadro 77 VO₂max em maratonistas de nível médio (*performance* 150.1 < 180 min).

Autores	VO ₂ max (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	n	T (min)
Costill e Fox (1969); Costill e Winrow (1970)	70.9	10	143
Sjödín e Svedenhag (1985)	65.6	16	157
di Prampero (1986)	64.0	3	169
Noakes et al (1990)	68.1	20	159
Helgerud (1994)	70.7	6	160
nosso estudo	67.2	16	167

Quadro 78 VO₂max em maratonistas lentos (*performance* > 180 min).

Autores	VO ₂ max (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	n	T (min)
Sjödín e Svedenhag (1985)	58.7	7	204
di Prampero (1986)	59.4	9	196
Helgerud (1990)	59.5	6	199
nosso estudo	61.0	14	196

Sjödín e Svedennhag (1985) efectuaram um estudo com maratonistas (n = 35) onde avaliaram o valor preditivo na *performance* desportivo-motora de vários indicadores fisiológicos entre os quais o limiar anaeróbio.

Quadro 79 Comparação entre as velocidades correspondente ao limiar anaeróbio, i.e., uma lactatemia de 4 mmol.l⁻¹, nas três categorias de maratonistas da amostra

Autores	≤150min	n	150.1≤180	n	≥180.1	n
Sjödín e Svedenhag (1985)	5.37±0.05	12	4.85±0.05	16	4.04±0.05	7
nosso estudo	5.42±0.16	29	4.80±0.21	15	4.31±0.24	14

Entre cada categoria de maratonistas, a semelhança entre as velocidades médias correspondente a uma lactatemia de 4 mmol.l⁻¹ é evidente (quadro 79): parao GEB (*performance* ≤150min), Sjödín e Svedenhag (1985) referem 5.37±0.05 m.s⁻¹, enquanto que no nosso estudo registamos um valor ligeiramente superior (5.42±0.16 m.s⁻¹). Para o GM (150.1≤180 min), os autores nórdicos registaram 4.85±0.05 m.s⁻¹ enquanto que na nossa investigação observamos 4.80±0.21 m.s⁻¹. Já em relação ao GL (≥180.1), Sjödín e

Svedenhag (1985) referem $4.04 \pm 0.05 \text{ m.s}^{-1}$, enquanto o valor por nós encontrado foi de $4.31 \pm 0.24 \text{ m.s}^{-1}$.

Ainda a propósito do estudo de Sjödin e Svedenhag (1985) observamos no que se refere à utilização fraccional do VO_2max à velocidade da maratona (quadro 80) que o GEB tem no nosso estudo uma $\% \text{VO}_2\text{max}$ ligeiramente inferior $78.90 \pm *$ contra $80.0 \pm 1.0 \text{ (ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1})$, tendência que se mantém quando comparamos o GM, 77.59 ± 11.3 contra $80.4 \pm 0.7 \text{ (ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1})$ mas no GL, o nosso estudo apresenta valores mais elevados 73.05 ± 8.0 contra $71.0 \pm 2.7 \text{ (ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1})$.

Quadro 80 Comparação por categorias entre a utilização fraccional do VO_2max - correspondente à velocidade da maratona ($\text{VO}_2\text{ maratona} \times \text{VO}_2\text{ max}^{-1}$) dos estudos de Sjödin e Svedenhag (1985), di Prampero (1986) e o nosso estudo.

Autores	$\leq 150\text{min}$	n	$150.1 \leq 180$	n	≥ 180.1	n
Sjödin e Svedenhag (1985)	80.0 ± 1.0	12	80.4 ± 0.7	16	71.0 ± 2.7	7
nosso estudo	78.98 ± 4.7	20	77.59 ± 11.3	16	73.05 ± 8.0	16

Quadro 81 A utilização fraccional do VO_2max - correspondente à velocidade da maratona ($\text{VO}_2\text{ maratona} \times \text{VO}_2\text{ max}^{-1}$) e os diferentes níveis de *performance* média.

Autores	n	p(t) (min)	$\% \text{VO}_2\text{max}$
Costill et al. (1971)	1	128	86
Billat et al. (2001)	5	129	90
Billat et al. (2001)	5	133	96
Davies e Thompson (1979)	13	133	86
nosso estudo	20	139	79
Sjödin e Svedenhag (1985)	12	141	80
Costill e Fox (1969)	6	147	75
Davies e Thompson (1979)	13	150	82
Maughan e Leiper (1983)	5	155	74
Sjödin e Svedenhag (1985)	16	157	80
Farrel et al. (1979)	13	166	75
nosso estudo	16	167	78
Wells et al. (1981)	7	192	76
nosso estudo	15	196	73
di Prampero (1986)	3	169	73
di Prampero (1986)	9	196	73
Sjödin e Svedenhag (1985)	7	204	71
Maughan e Leiper (1983)	5	276	60

A comparação dos valores do quadro 80 com o de outros autores (quadro 81) evidencia, *grosso modo*, que quanto mais elevada é a *performance*, maior é a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$.

Analisando a correlação entre estes dois conjuntos de valores (quadro 81), a *performance* e a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à velocidade da maratona, não considerando o nosso estudo, observamos que ela é elevada e muito significativa ($r = 0.847$; $p = 0.0038$).

Existem poucos estudos que refiram o custo em oxigénio por unidade de distância entre maratonistas. Billat et al. (2001) observaram entre dois grupos de maratonistas de elevada capacidade funcional que identificaram como excepcionais ($n = 5$; *performance* média = 129 min) e de elite ($n = 5$; *performance* média = 133 min) diferenças consideráveis no custo em oxigénio na corrida por unidade de distância: $210 \pm 12 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$ para os primeiros e $195 \pm 4 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$ para os segundos. Comparando estes valores com os registados no quadro 82 podemos observar que o grupo dos atletas de elite apesar de apresentar um $VO_2\text{max}$ mais baixo que os atletas excepcionais, é capaz de uma utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à velocidade da maratona superior, assim como é muito mais económico, considerando o custo em oxigénio por unidade de distância.

Curiosamente, no nosso estudo, os atletas com $VO_2\text{max}$ mais baixo são os menos económicos, quer considerando o custo em oxigénio por unidade de distância, quer tendo em conta a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$, ambos à velocidade da maratona.

Os nossos resultados demonstram um consenso com os descritos na literatura, o que não nos surpreende e vem reforçar a ideia de que a metodologia de treino para a maratona utilizada em Portugal, considerando a *performance* e cada um dos indicadores fisiológicos de forma independente é, numa primeira análise, eficaz.

Na perspectiva de Daniels (1974), a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ expressa dois valores num só, reunindo o $VO_2\text{max}$ e a economia de corrida (i.e., o consumo de O_2 a determinada intensidade submáxima), o que permite conhecer quanto próximo do $VO_2\text{max}$ pode um atleta correr a maratona. Joyner (1991) refere que os níveis de utilização fraccional são de $75\%VO_2\text{max}$ para os

maratonistas lentos, 80%VO₂max para os maratonistas médios e 85%VO₂max para os mais eficazes.

Se isolarmos na amostra os maratonistas com VO₂max acima dos 85 ml.kg⁻¹.min⁻¹, verificamos que a sua utilização fraccional do VO₂max à velocidade da maratona é relativamente baixa (quadro 82), sendo possível observar o que aparentemente é paradoxal. Um maratonista excepcional (F), com uma *performance* também excepcional de 129.27 min, possui uma utilização fraccional à velocidade da maratona de apenas 78%VO₂max (VO₂max = 91.00 ml.kg⁻¹.min⁻¹; VO₂ maratona = 71.67 91.00 ml.kg⁻¹.min⁻¹). Este maratonista é pouco económico porque apresentou um custo em oxigénio por unidade de distância muito elevado (219.57 ml.kg⁻¹.km⁻¹), o mesmo acontecendo com os maratonistas do quadro 82, também com valores elevados de VO₂max, todos superiores a 85 ml.kg⁻¹.min⁻¹.

Estes valores reforçam o que referimos acima, que a %VO₂max sustentada na maratona difere entre os atletas, assumindo um importante papel diferenciador na *performance* e os valores baixos observados são o reflexo de uma situação de sobre-treino e/ou da inadequada metodologia de treino utilizada. A idade de treino representa aqui um factor determinante, podendo o seu baixo valor ser atenuante (Costill e Winrow, 1970), mas todos os maratonistas apresentados no quadro 82 são muito experientes.

Quadro 82 Comparação entre a utilização fraccional do VO₂max correspondente à velocidade da maratona (VO₂ maratona x VO₂max⁻¹), o VO₂max e a *performance*, entre atletas com um VO₂max superiores a 85 ml.kg⁻¹.min⁻¹.

Atleta	VO ₂ max ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	VO ₂ maratona ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹	%VO ₂ max	ECv _{maratona} ml.kg ⁻¹ .km ⁻¹	T min
A	85.10	66.40	78.03	217.25	138.05
B	85.02	68.60	80.60	220.21	135.45
C	91.07	73.19	80.37	229.20	132.13
D	91.97	74.98	81.53	251.67	141.62
E	89.38	60.81	67.48	211.68	146.87
F	91.00	71.67	78.76	219.57	129.27

Considerando o limiar anaeróbio um parâmetro interdependente dos valores de VO₂max, economia de corrida e %VO₂max, a utilização fraccional do VO₂max à velocidade da maratona pode ser subdividida em dois indicadores

relativizados ao limiar anaeróbio: (1) a utilização fraccional da v_4 à velocidade da maratona (quadro 83); (2) a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à v_4 (quadro 84).

Quadro 83 Comparação por categorias entre a utilização fraccional da v_4 à velocidade da maratona ($v_{\text{maratona}} \times v_4^{-1}$) do nosso estudo e o de Sjödin e Svedenhag (1985).

Autores	$\leq 150\text{min}$	n	$150.1 \leq 180$	n	≥ 180.1	n
Sjödin e Svedenhag (1985)	92.8±0.8	12	92.1±0.6	16	84.8±2.1	7
nosso estudo	93.33±2.92	20	88.36±3.42	16	83.72±4.97	14

Quadro 84 Comparação por categorias entre a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à v_4 ($VO_2v_4 \times VO_2\text{max}^{-1}$) do nosso estudo e o de Sjödin e Svedenhag (1985).

Autores	$\leq 150\text{min}$	n	$150.1 \leq 180$	n	≥ 180.1	n
Sjödin e Svedenhag (1985)	87.9±0.8	12	88.3±0.6	16	84.8±1.5	7
nosso estudo	92.79±3.4	20	88.36±3.4	16	83.72±5.0	14

Para potenciar o limiar anaeróbio, fazendo deslocar a curva resultante da relação lactato-velocidade para a direita, é recomendado, como já referimos na revisão da literatura, o treino a uma velocidade correspondente ao limiar anaeróbio (Lenzi 1983, Vuorimaa 1991). A melhoria do limiar anaeróbio é devida principalmente aos efeitos positivos no treino que se reflectem na economia de corrida e no $VO_2\text{max}$. Este relacionamento complexo e intrincado entre cada uma das variáveis diferenciadoras da *performance*, reforça a necessidade de estabelecer, na estruturação anual do treino do maratonista, um conjunto de meios e métodos que permitam potenciar cada um destes indicadores, sem o desenvolvimento de um pôr em causa o desenvolvimento de outros. Svedenhag (1992) refere que o limiar metabólico das 4 mmol.l⁻¹ é função da acção conjunta da economia de corrida e da percentagem de $VO_2\text{max}$ correspondente ao limiar anaeróbio.

O $VO_2\text{max}$ que, como vimos na revisão da literatura, só pode ser sustentado por um curto período de tempo, é um excelente indicador para caracterizar o potencial aeróbio do atleta. No entanto, o nível de solicitação do metabolismo aeróbio será tanto mais elevado, a uma determinada intensidade submáxima, quanto mais elevados forem os valores da utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ e mais baixos os da lactatemia. Por isso, em atletas com o mesmo

$VO_2\text{max}$, pode acontecer uma grande variabilidade na *performance* e vice-versa. De facto, foram registados valores baixos de $VO_2\text{max}$ para atletas de elite, como o australiano Dereck Clayton, capaz de uma *performance* de 128.55 min na maratona e um valor muito baixo de $VO_2\text{max}$ de $69.7 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, enquanto Sthal, outro atleta de elite referido por Sjödín e Svedenhag (1985) apresentou um valor ainda mais baixo de $66.8 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. Evidentemente que valores elevados de outros indicadores fisiológicos deverão compensar estes valores tão diminutos. Na nossa amostra também encontramos atletas com $VO_2\text{max}$ baixos, com *performances* inferiores a 150 min (quadro 85), muito económicos e com uma utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à velocidade da maratona superior à média.

Quadro 85 Comparação entre a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ correspondente à velocidade da maratona ($VO_2 \text{ maratona} \times VO_2\text{max}^{-1}$), o $VO_2\text{max}$ e a *performance*, entre atletas com um $VO_2\text{max}$ inferior a $68 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$.

Atleta	$VO_2\text{max}$ $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$	$VO_2 \text{ maratona}$ $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$	% $VO_2\text{max}$	ECv_{maratona} $\text{ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$	p(t) min
G	66.57	55.02	82.65	182.19	139.73
H	64.32	55.33	86.02	187.87	143.27

Se considerarmos a economia de corrida como o custo em oxigénio por unidade de distância à velocidade da maratona, encontramos pouca diferença entre os dois grupos de maratonistas mais rápidos da nossa amostra (GEB e GM). Esta estabilidade que se deve manter ao longo da época desportiva e que é uma característica que se manifesta com maior acuidade nos corredores de elite, resulta do facto de associar simultaneamente os aspectos positivos e negativos do treino (Brisswalter e Legros, 1994). A explicação para a sua maior variabilidade entre maratonistas lentos (GL), deve-se ao facto de depender em 97% (Morgan et al. 1990) da alteração da massa corporal, o que é vulgar neste nicho de atletas. No nosso estudo, como já observámos, este indicador não é diferenciador da *performance*, no entanto, se considerarmos uma boa economia de corrida a capacidade de correr com uma utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ elevada, conforme os casos já referidos de Clayton e Sthal, a economia de corrida passa a ser um atributo fundamental dos bons maratonistas e consequentemente um bom diferenciador da *performance*. De acordo com a

literatura, os atletas mais experiente possuem uma melhor economia de corrida, que pode resultar de uma melhor adaptação mecânica à corrida, com uma oscilação vertical mínima, que se traduz num menor trabalho muscular desenvolvido e conseqüentemente num consumo de oxigénio inferior.

Perante o exposto podemos reconhecer que, para os diferentes níveis de *performance*, o $VO_2\text{max}$ e a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à velocidade da maratona se comportam como parâmetros diferenciadores. Como o custo em oxigénio por unidade de distância se assume como um indicador não diferenciador da *performance* desportivo-motora na maratona, ao evidenciar valores muito próximos entre grupos com um nível de desempenho heterogéneo, segundo a equação (16) de di Prampero (1986) serão os valores de $VO_2\text{max}$ e de F (utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à velocidade da maratona) que determinarão a *performance* desportivo-motora.

$$V_{\text{maratona}} \text{ (m.min}^{-1}\text{)} = F \cdot VO_2\text{max (mlO}_2\text{.kg}^{-1}\text{.min}^{-1}\text{)} / EC \text{ (mlO}_2\text{.m}^{-1}\text{.kg}^{-1}\text{)} \quad (16)$$

No quadro 86 observamos claramente a existência de dois tipos de atletas no grupo com uma *performance* inferior a 150 min, os que possuem um elevado $VO_2\text{max}$ mas são pouco económicos e os que possuem baixos valores de $VO_2\text{max}$ mas são muito económicos. Não surpreende por isso que os atletas mais eficazes sejam os que apesar de exibirem um $VO_2\text{max}$ muito baixo, inferior a $68 \text{ ml.kg}^{-1}\text{.min}^{-1}$, apresentem uma utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ maior que os atletas com um $VO_2\text{max}$ superior a $85 \text{ ml.kg}^{-1}\text{.min}^{-1}$.

Quadro 86 Comparação entre a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ correspondente à velocidade da maratona ($VO_2 \text{ maratona} \times VO_2\text{max}^{-1}$), o $VO_2\text{max}$, a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à velocidade da maratona, o limiar anaeróbio e a *performance*, entre atletas com um $VO_2\text{max}$ superior a $85 \text{ ml.kg}^{-1}\text{.min}^{-1}$ e inferior a $68 \text{ ml.kg}^{-1}\text{.min}^{-1}$

Atleta	$VO_2\text{max}$ $\text{ml.kg}^{-1}\text{.min}^{-1}$	$VO_2\text{maratona}$ $\text{ml.kg}^{-1}\text{.min}^{-1}$	$\%VO_2\text{max}$	ECv_{maratona} $\text{ml.kg}^{-1}\text{.km}^{-1}$	V_4	T min
A	85.10	66.40	78.03	217.25	328.8	138.05
B	85.02	68.60	80.60	220.21	-	135.45
C	91.07	73.19	80.37	229.20	334.2	132.13
D	91.97	74.98	81.53	251.67	328.8	141.62
E	89.38	60.81	67.48	211.68	316.8	146.87
F	91.00	71.67	78.76	219.57	339.6	129.27
G	66.57	55.02	82.65	182.19	312.6	139.73
H	64.32	55.33	86.02	187.87	319.2	143.27

Quanto à economia de corrida, se considerarmos o custo em oxigénio por unidade de distância à velocidade da maratona, os atletas com valores baixos de $VO_2\text{max}$ são os mais económicos (valores inferiores a $190 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$). Por outro lado, se considerarmos a economia de corrida expressa pelo VO_2 submáximo que ocorre à velocidade da maratona, os atletas com $VO_2\text{max}$ inferior a $68 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$ continuam a ser os mais económicos, uma vez que a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à velocidade da maratona é muito elevada .

Este equilíbrio patenteado pelos atletas com inferior $VO_2\text{max}$ reforça a ideia de que entre os atletas geneticamente menos dotados é possível, através de treino adequado, desenvolver uma capacidade funcional elevada. Por outro lado, verificamos ainda que o perfil aeróbio de um atleta não pode ser fruto de uma análise individualizada, considerando exclusivamente um só indicador, por exemplo, ou o limiar anaeróbio, ou o $VO_2\text{max}$, mas de uma análise integrada que reúna, indicadores a si relativizados como, entre outros, a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ e o custo em oxigénio por unidade de distância.

Esta complexidade que, como já referimos, assume valores extremos nos corredores de elite tem que ser encarada de outra forma em que o conceito de economia de corrida dá lugar ao de eficácia de corrida e aí temos de estabelecer uma relação entre o dispêndio e a poupança, analisando esta gestão de recursos a partir do conhecimento do ponto de partida e do ponto de chegada, i.e., é necessário conhecer o papel diferenciador destes e de outros indicadores na *performance* que traduzem de forma mais eficaz aquilo a que se convencionou chamar de economia de corrida, como, para além dos já referidos, a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$, o custo em oxigénio por unidade de distância e a $vVO_2\text{max}$, ainda , a $\% V_{\text{maratona}} vVO_2\text{max}$, e $\%V_4 vVO_2\text{max}$ e qual a sua evolução à medida que se operacionaliza o processo de treino.

O $VO_2\text{max}$, o limiar anaeróbio e a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à velocidade da maratona contribuem para a optimização do treino e da *performance*. No entanto, a melhoria de uns parece estar associada ao decréscimo de outros, o que nos levanta questões sobre a relação de dependência entre cada um que deverão ser consideradas no processo de treino. Como vimos, a velocidade associada ao $VO_2\text{max}$ ($vVO_2\text{max}$) pode

implicar valores mais baixos da economia de corrida ($vVO_2\max = VO_2\max/EC$) ou vice-versa.

A economia de corrida, considerando o custo em oxigénio por unidade de distância à velocidade da maratona, em termos genéricos não marca a diferença entre os grupos heterogéneos, mas quando analisada por categoria, em grupos homogéneos, ou de uma forma integrada quando comparada com outras variáveis que também identificam a economia de corrida, aumenta o seu papel diferenciador e consequentemente o seu impacto na *performance*. A ponderação do valor desta variável ganhará maior consistência se entre os corredores de elite se efectuarem estudos de caso num período alargado de tempo nunca inferior a um ano, por exemplo no decurso da época desportiva ou preferencialmente ao longo de vários anos, para melhor conhecimento da sua variabilidade intraindividual.

No treino devemos ter sempre presente a noção de eficácia e da boa gestão dos recursos, (i.e., dos meios e métodos de treino). Para isso é necessário conhecer o ponto de partida e o ponto de chegada e como cada um dos parâmetros diferenciadores evolui no final de cada mesociclo. Só assim podemos calibrar eficazmente a carga e atribuir fiabilidade ao processo de treino.

Quanto mais próximo do $VO_2\max$ estiver o limiar anaeróbio, maior é a capacidade do atleta em desenvolver um trabalho em equilíbrio metabólico. Não interessa um limiar anaeróbio elevado e uma capacidade de trabalho diminuta, daí a necessidade de analisar todos estes indicadores de uma forma inter-relacionada (i.e., quanto mais próximos forem o $vVO_2\max$ e a v_4 , maior é a capacidade de trabalho). Esta constatação reforça a necessidade de conhecer a interdependência de cada um na perspectiva de um desenvolvimento integrado, i.e., se potenciando um o outro também aumenta, ou se evoluem de forma independente entre si. Estas são questões fundamentais que interferem na periodização do treino do maratonista, havendo duas posições quanto à sua estruturação: (1) a procura de um desenvolvimento simultâneo, em cada etapa, de todos os indicadores referidos incluindo a $vVO_2\max$ e outros indicadores relativizados ao limiar anaeróbio e ao $VO_2\max$, como a utilização fraccional do $VO_2\max$ correspondente à v_4 ($VO_2v_4 \times VO_2\max^{-1}$), a relação percentual existente entre a v_{maratona} e a v_4 ($v_{\text{maratona}} \times v_4^{-1}$), a percentagem da velocidade associada

ao $VO_2\text{max}$ ($vVO_2\text{max}$) a que ocorre a maratona ($v_{\text{maratona}} \times vVO_2\text{max}^{-1}$), a relação percentual entre a v_4 e o $vVO_2\text{max}$ ($v_4 \times vVO_2\text{max}^{-1}$); (2) ou contemplar um desenvolvimento individualizado e hierarquizado de cada um, considerando de formas distintas a evolução da eficiência, da capacidade e da potência aeróbias.

Entre grupos distintos de desempenho na maratona existem diferenças médias relevantes no consumo máximo de oxigénio, limiar anaeróbio e utilização fraccional do consumo máximo de oxigénio à velocidade da competição, identificando-se, por isso, estes indicadores como diferenciadores da *performance* desportivo-motora. A economia de corrida entre grupos heterogéneos de desempenho não assume um papel diferenciador.

O perfil funcional dos corredores de meio-fundo e fundo tem sido estudado por diversos autores utilizando vários indicadores fisiológicos, entre os quais o consumo máximo de oxigénio, a economia de corrida e o limiar anaeróbio. Alguns investigadores (Farrel et al., 1979; Conconi et al., 1982; Sjödín e Shele, 1982; Williams e Nute, 1983), utilizando os mesmos parâmetros em estudos efectuados com corredores de meio-fundo e fundo (entre os 3000 m e a meia-maratona), concluíram que o nível preditivo mais elevado pertencia ao limiar anaeróbio, uma vez que era o que apresentava as correlações mais elevadas com a *performance* (entre $r = 0.88$ e $r = 0.99$).

Outros estudos efectuados nesta área (Aunola, 1991; Brooks, 1985; Bunc, 1986; Coen, 1991; Fohrenbach et al., 1987; Helgerud, 1994; Joyner, 1991; Mader, 1991; Srimgeour et al., 1986; Tanaka et al., 1984; Yoshida, 1984) sugerem igualmente uma relevância especial do limiar anaeróbio em relação a outros parâmetros fisiológicos na calibração da carga e na predição da *performance*.

Alguns estudos entre os quais os de Tanaka et al. (1984), Sjödín e Svedenhag (1985), Jacobs (1986), Yoshida et al. (1990), Weltman et al. (1992), Bassett e Howley (2000) referem o limiar anaeróbio como o indicador fisiológico com nível preditivo mais elevado em relação à *performance*, quando comparado com o $VO_2\text{max}$ e a economia de corrida. Outros investigadores referem que a elevada correlação entre o limiar anaeróbio e a *performance* não se deve exclusivamente à capacidade funcional do sistema cardiovascular de transportar o oxigénio para o músculo, mas à capacidade deste na sua

utilização (ver por exemplo, Davis et al., 1979; Farrel et al., 1979). Em termos práticos podemos referir que um limiar anaeróbio baixo é resultante do funcionamento desadequado do metabolismo aeróbio. Um dos objectivos do treino é melhorar o limiar anaeróbio de forma progressiva, o que significa potenciar a capacidade de oxigenação da célula muscular. A velocidade correspondente ao limiar anaeróbio traduz o valor da capacidade aeróbia de cada atleta.

Apesar dos atletas de elite apresentarem, de uma maneira geral, valores elevados de $VO_2\text{max}$, superiores a $75 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ nos homens e a $70 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ nas mulheres, o seu valor preditivo é menor, principalmente porque um bom consumo de oxigénio não significa uma boa economia de corrida. De facto, como já referimos anteriormente, o corredor mais económico pode não ser o que possui o $VO_2\text{max}$ mais elevado, mas sim o que em competição tem uma menor utilização fraccional do consumo máximo de oxigénio, o que retira algum valor preditivo a este indicador.

Por sua vez, um valor elevado de economia de corrida (caracterizador de um atleta pouco económico) significa que uma grande quantidade de energia é utilizada a uma determinada intensidade de corrida, o que é sinónimo de produção de lactato também elevada. Continuando a analisar a economia de corrida nesta perspectiva, um atleta económico será aquele cujo custo energético na corrida é baixo, os níveis de solicitação do metabolismo dos hidratos de carbono é mínimo, assim como da glicólise, o que implica uma reduzida produção de lactato e, conseqüentemente, valores elevados da velocidade a que ocorre o limiar anaeróbio. Assim sendo, o nível de associação que o limiar anaeróbio e o $VO_2\text{max}$ estabelecem com a economia de corrida, considerando o custo energético por unidade de distância, faz a diferença quanto à qualidade e magnitude de cada preditor.

Por outro lado, o $VO_2\text{max}$ nos atletas de elite, no decorrer da época desportiva ou não se altera ou a sua alteração é pouco significativa entre 2 a 4%, segundo Anderson (1998) e Pfitzinger e Douglas (1999), o que não acontece com o limiar anaeróbio que, de acordo com a nossa experiência como treinador, ao longo de um ano pode ser melhorado substancialmente, entre 4 a 20 %, segundo Anderson (1998) e Pfitzinger e Douglas (1999). A economia de corrida também pode ser potenciada ao longo da época desportiva.

No nosso estudo, considerando a amostra global, os valores de correlação entre preditores e variável dependente (a *performance*) reflectem o seguinte: (1) entre a *performance* e o limiar anaeróbio a correlação é muito elevada e significativa, mas negativa, ($r = -0.944$; $p=0.00$), i.e., quanto maior é o valor da *performance* (maior o tempo gasto a correr a maratona) menor é a v_4 ; (2) quanto menor for o tempo dispendido na competição maior será o $VO_2\max$; (3) entre a *performance* e a economia de corrida à velocidade da maratona o valor de correlação é muito baixo e não significativo, o que significa que quanto maior é a *performance* menos económico é o atleta; (4) entre o $VO_2\max$ e o limiar anaeróbio o valor de correlação também é muito elevado e significativo ($r = 0.709$; $r^2 = 50\%$). O limiar anaeróbio explica 50% do valor de $VO_2\max$; (5) entre o $VO_2\max$ e a economia de corrida o valor de correlação é baixo mas significativo ($r = 0.327$; $r^2 = 11\%$) o que significa que a economia de corrida explica cerca de 11% do valor de $VO_2\max$; (6) entre o limiar anaeróbio e a economia de corrida o valor de correlação é negativo e não significativo, o que significa que quanto maior é a v_4 mais económico é o atleta (menor é o valor da economia de corrida).

Considerando a estimativa de variância comum de todas as variáveis preditoras analisadas em relação à *performance*, a mais importante é o limiar anaeróbio ($r^2 = 89\%$), seguida do $VO_2\max$ ($r^2 = 47\%$). A economia de corrida não parece estar substancialmente associada à variação da *performance*.

No entanto, conhecendo pelo estudo diferencial que o limiar anaeróbio, o $VO_2\max$ e a economia de corrida, possuem pesos diferentes na explicação do desempenho, para a predição da *performance* na maratona, necessitamos de um modelo de regressão múltipla que permita comparar o grau de importância de cada uma das variáveis preditoras. Dos preditores considerados no modelo, no sentido de encontrar as variáveis que mais contribuem para as diferenças no desempenho, só evidenciou resultado significativo ($p < 0.001$) o limiar anaeróbio. A economia de corrida e o $VO_2\max$, sem pesos beta muito baixos ($p > 0.730$), não parecem demonstrar qualquer importância nas diferenças interindividuais no desempenho da maratona.

São vários os investigadores que utilizaram modelos de natureza semelhante ao do nosso estudo, considerando as mesmas variáveis preditoras.

Farrel et al. (1979) num estudo efectuado com 18 corredores de meio fundo e fundo consideraram um modelo idêntico ao nosso, utilizando as mesmas variáveis preditoras, e o resultado da regressão múltipla utilizada, elegeu o limiar anaeróbio, neste estudo designado por OPLA (onset of plasma lactate accumulation), como responsável por 96% da variância do desempenho dos maratonistas da amostra. Este estudo revelou ainda que a velocidade da maratona, independente do nível funcional do atleta, apresenta uma elevada correlação com a velocidade correspondente ao limiar anaeróbio, o que sugeria que a sua melhoria se reflectia numa *performance* mais elevada.

Sjödin e Jacobs (1981) estudaram a *performance* na maratona considerando como variáveis preditoras a velocidade correspondente ao limiar anaeróbio, aqui designado por OBLA (onset of blood lactate accumulation), a percentagem de fibras de contração lenta, o volume de treino e a densidade capilar do músculo. Dos preditores observados, o OBLA, que ocorria a 87% da velocidade da maratona, explicava 92% das diferenças interindividuais do desempenho.

Di Prampero et al. (1986) consideram como variáveis preditoras da *performance* na maratona, o $VO_2\text{max}$, a economia de corrida, considerando o custo energético por unidade de distância ($\text{J.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$) e a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à velocidade da maratona. Apesar de terem avaliado a lactatemia no final da competição o seu valor não foi considerado como variável preditora. Concluíram que as três variáveis eram responsáveis por 70% da variância interindividual da velocidade da maratona.

Joyner (1991) estudou os factores limitativos da *performance* desportivo-motora através da modelação das marcas da maratona com base em várias combinações de valores referidos previamente na literatura como o $VO_2\text{max}$, o limiar anaeróbio e a economia de corrida de corredores de elite. Este autor considera que a economia de corrida interage com o $VO_2\text{max}$ e o limiar anaeróbio, para determinar a velocidade de corrida utilizada pelos maratonistas. Uma variedade de combinações destes indicadores resultou em estimativas de níveis de desempenho superiores ao actual recorde do mundo. Este autor elaborou um modelo fisiológico utilizando as referidas variáveis preditoras através da seguinte equação:

$$v_{\text{marat}} = \text{VO}_2\text{max (ml.kg}^{-1}\text{.min}^{-1}) \times \% \text{VO}_2\text{max à } v_4 \times \text{EC [VO}_2 \text{ (ml. kg}^{-1}\text{. min}^{-1}) \text{ à } v_{\text{marat}} \text{ (km. h}^{-1})$$

O tempo mais rápido que conseguiu prever com este modelo foi 117.07 min (1h 57min 58s) num sujeito hipotético, cujo VO_2max era de $84 \text{ ml.kg}^{-1}\text{.min}^{-1}$, o limiar anaeróbio correspondia a 85% do VO_2max e a economia de corrida era excepcional.

Billat et al. (2001) num estudo efectuado com maratonistas consideraram como variáveis preditoras do desempenho o VO_2max e a economia de corrida, considerando o custo em oxigénio por unidade de distância e a utilização fraccional do VO_2max à velocidade da maratona, tendo concluído que o VO_2max era a variável com maior índice preditivo ($r = -0.77$; $p = 0.007$), explicando 59% da variância total.

Concluimos que o que tem sido escrito é coincidente com os nossos resultados, exceptuando os estudos de di Prampero et al. (1986) e de Billat et al. (2001) que se preocuparam com a interacção da economia de corrida, do VO_2max e da utilização fraccional do VO_2max à velocidade da maratona no desempenho e não consideraram o limiar anaeróbio.

O VO_2max depende de parâmetros cardiovasculares centrais como o débito cardíaco e o volume sistólico, enquanto o limiar anaeróbio depende de indicadores periféricos como o tipo de fibra muscular e o número de mitocóndrias. A maratona utiliza uma percentagem elevada de VO_2max durante mais de duas horas solicitando os indicadores periféricos referidos, o que explica o maior valor preditivo do limiar anaeróbio.

Coyle e Holloszy (1995) sintetizam num modelo fisiológico um conjunto de indicadores fisiológicos que funcionam como variáveis preditoras da *performance* desportivo-motora. Estes autores consideram no seu modelo integrado de predição do desempenho outros indicadores que designam por componentes morfológicos, como a densidade capilar do músculo, o volume sistólico, a actividade aeróbia mitocondrial e o tipo de composição da fibra muscular. Nesse modelo, os autores consideram que a relação entre o VO_2max e a % de VO_2max correspondente ao limiar anaeróbio e o limiar anaeróbio, determinam aquilo que designam por *performance* VO_2 , i.e., a economia de corrida que é função de todas as variáveis anteriores e se assume como um parâmetro de saída que determina a *performance*.

Basset e Howley (1997, 2000) utilizam um modelo que considera o limiar anaeróbio como uma variável de saída que expressa nela própria, do ponto de vista fisiológico, o contributo de outras variáveis que estão correlacionadas entre si, como o $VO_2\text{max}$, que depende entre outros do volume sistólico e do débito cardíaco, a $\%VO_2\text{max}$ correspondente ao limiar anaeróbio, que depende da actividade das enzimas oxidativas e da densidade capilar do músculo e a economia de corrida.

Vários autores (Sjödin e Svedenhag, 1985; Helgerud et al., 1990; Cunningham, 1990; Farrell et al., 1993; Helgerud, 1994; Houmard et al., 1994; Brandon, 1995; Evans, 1995; Brisswalter e Legros, 1996; Sleivert e Rowlands, 1996; Billat et al., 1996; Tokmakidis, 1998; Bassett e Howley, 2000; Billat, 2001; Laursen e Rhodes, 2001; Millet et al., 2002) referem, como consequência do treino, alterações nos valores do limiar anaeróbio, da economia de corrida e do $VO_2\text{max}$, ou de outros indicadores relativizados ao $VO_2\text{max}$.

Em vários estudos as alterações pelo treino no $VO_2\text{max}$ ou não se registaram ou foram pouco significativas, ao contrário do limiar anaeróbio e da utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ correspondente ao limiar anaeróbio (Denis et al., 1982; Sjödin et al., 1982; Henritze, 1985; Belman e Gaesser, 1991; Weltman et al., 1992). Noutros estudos, apesar de se verificarem alterações no $VO_2\text{max}$ e no limiar anaeróbio, a alteração deste último é claramente superior (Hurley et al., 1984; Tanaka et al., 1986; Pierce 1990).

Helgerud et al. (1990) num estudo em que comparam maratonistas de ambos os sexos que possuem valores semelhantes de $VO_2\text{max}$, limiar anaeróbio e *performance*, concluem que as mulheres possuem uma pior economia de corrida que é compensada por uma utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ superior que ocorre pelo facto de treinarem o dobro, quer em volume quer em intensidade que os homens. Pela mesma ordem de ideias, um incremento no processo de treino nos homens poderia aumentar o nível do limiar anaeróbio.

Sjödin e Svedenhag (1985) referem num estudo efectuado com maratonistas ($n = 35$) que o $VO_2\text{max}$ explicava apenas 61% da variância total da *performance*, enquanto o $VO_2\text{max}$ associado com a economia de corrida, correspondente ao custo em oxigénio por unidade de distância a $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ e a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à velocidade da maratona explicam 98% do

valor da *performance*. Estas mesmas variáveis preditoras explicam 93% da variação do limiar anaeróbio e este por sua vez explica 92% da variação da *performance*.

Coyle et al. (1988) num estudo efectuado com ciclistas ($n = 14$) com o mesmo $VO_2\text{max}$, dividiram a amostra em dois subgrupos, os que possuíam um limiar anaeróbio elevado e os que apresentavam um valor moderado. Num teste até à exaustão efectuado pelos dois grupos, o que possuía um limiar anaeróbio mais elevado conseguiu uma *performance* substancialmente melhor (60.8 contra 29.1 min), o que reforça o valor preditivo deste indicador.

No nosso estudo pretendemos conhecer a associação entre a *performance* e cada um destes indicadores fisiológicos e verificar se o limiar anaeróbio é efectivamente o parâmetro mais associado com o rendimento.

Considerando a amostra total do estudo (quadro 58), a matriz de correlação entre *performance* e o limiar anaeróbio, consumo máximo de oxigénio e economia de corrida à velocidade da maratona expressa pelo custo em oxigénio por unidade de distância, o indicador fisiológico com a correlação mais elevada com a *performance* é o primeiro ($r = 0.94$; $p = 0.000$). O $VO_2\text{max}$ também apresenta uma correlação elevada ($r = 0.72$; $p = 0.000$) mas a *performance* na maratona não parece poder ser explicada pela economia de corrida com base no valor de correlação encontrado.

Analisando os maratonistas da amostra por categorias (quadros 60, 61 e 62), e cada um dos indicadores fisiológicos, verificamos um nível de associação diferenciado na sua relação com a *performance*. Para a globalidade da amostra (quadro 58), o limiar anaeróbio apresenta a correlação mais elevada com a *performance*, mas considerando o nível de associação por categoria, verificamos que o limiar anaeróbio e o $VO_2\text{max}$, que na amostra global evidenciavam uma correlação elevada com a *performance* da maratona, diminuíram o seu índice de correlação, que permaneceu significativa para o Lan e não significativa para o $VO_2\text{max}$. Este indicador apresenta um baixo índice de correlação com a *performance* considerando os maratonistas da amostra por categoria, uma vez que os valores do consumo máximo de oxigénio são muito próximos. Por outro lado, também a sua importância relativa com a *performance* difere de grupo para grupo. Por fim, observamos que a economia de corrida

apenas exibe um resultado significativo no grupo dos atletas mais lentos ($r = 0.537$; $p = 0.048$).

Quadro 87 *Correlações entre a performance desportiva na maratona e o consumo máximo de oxigénio*

Autor	n	amplitude	r	r ²
Foster et al. (1977)	23	143 - 248	0.86*	0.74
Farrell et al. (1979)	13	137 - 229	0.91*	0.83
Hagan et al. (1981)	50	139 - 298	0.63*	0.40
Maughan e Leiper (1983)	18	139 - 293	0.88*	0.77
Sjödin e Svedenhag (1985)	35	132 - 332	0.78*	0.61
Billat et al. (2001)	10	126 - 136	-0.77*	0.59
Nurmekivi et al. (2002)	5	137 - 165	-0.54◇	0.29
nosso estudo	50	129 - 212	0.72*	0.52

* Correlações significativas

◇ Correlação não significativa

O valor de correlação entre a *performance* na maratona e o consumo máximo de oxigénio do nosso estudo, quando comparados (quadro 87) com outros trabalhos, oscilam entre $r = 0.54$ e $r = 0.91$. Os valores mais elevados ocorreram nos estudos de Foster et al. (1977), Farrel et al. (1979) e Maughan e Leiper (1983) e o do nosso estudo situa-se num plano intermédio dos referidos por todos os investigadores.

O estudo de Billat et al. (2001) apresenta uma valor de correlação negativo, num grupo homogéneo de maratonistas, quanto à capacidade funcional e o de Nurmekivi et al. (2002) apresenta uma valor baixo que para além de negativo não é significativo, também num grupo homogéneo de maratonistas, no que se refere à *performance* desportivo-motora.

Costill (1972) referiu que, num grupo de atletas com *performances* semelhantes o valor da correlação entre o $VO_2\text{max}$ e a *performance* não é significativo. O estudo de Sjödin e Svedenhag (1985), como podemos observar no quadro 88, comprova esta afirmação, os valores da correlação entre o $VO_2\text{max}$ e a *performance* são significativos quando consideramos todos os elementos da amostra, mas em grupos homogéneos de desempenho (GEB) o valor da correlação não é significativo.

Ao analisarmos os dados que recolhemos no nosso estudo (quadro 89), verificamos igualmente que os valores da correlação entre o $VO_2\text{max}$ e a *performance* são elevados quando consideramos todos os elementos da

amostra, mas não são significativos quando consideramos grupos de atletas com nível funcional semelhante.

Quadro 88 Correlações entre a *performance* na maratona e o consumo máximo de oxigénio para a totalidade da amostra e em grupos homogénios em termos de *performance*.

Autor	Categorias	n	T (min)	r	r ²	p
Sjödin e Svedenhag (1985)	GEB	12	141	0.01	0.00	ns
Sjödin e Svedenhag (1985)	amostra global	35		0.78	0.61	< 0.001
nosso estudo	GEB	20	139	0.38	0.14	ns
nosso estudo	amostra global	50		0.72	0.52	0.000

Quadro 89 Valores de correlação entre a *performance* na maratona e o consumo máximo de oxigénio em grupos homogéneos em termos de *performance*.

Autor	Categorias	n	T (min)	r	r ²	p
nosso estudo	GEB	20	139	0.38	0.14	ns
nosso estudo	GM	16	166	0.13	0.02	ns
nosso estudo	GL	14	196	0.27	0.07	ns

Ainda assim, comparando o valor da correlação entre a *performance* na maratona e o limiar anaeróbio (quadro 90), verificamos que o nosso estudo apresenta um valor muito elevado, que está de acordo com a maioria das investigações anteriormente efectuadas. Apenas os trabalhos de Nurmekivi et al. (2002), Sjödín e Jacobs (1981) e Tanaka et al. (1984) referem valores de correlação inferiores

Quadro 90 Correlação entre a *performance* na maratona e o limiar anaeróbio. Estudos desenvolvidos com maratonistas de elite até ao momento.

Autor	n	Referência	Método	Designação	Amplitude	r *	r ²
Farrell et al. (1979)	13	Farrell et al. 1979	láctico	OPLA	137 - 229	0.98	0.96
Sjödin e Jacobs (1981)	18	Sjödin et al. 1979	láctico	OBLA	142 - 252	0.78	0.61
Conconi et al. (1982)	55	Conconi et al. 1982	cardíac	Lan	130 - 180	0.95	0.90
Rhodes e McKenzie (1984)	18	Wasserman 1973	ventilat	Lan	133 - 201	0.94	0.88
Tanaka et al. (1984)	12	Sjödin et al. 1979	láctico	OBLA	142 - 183	0.78	0.61
Sjödin e Svedenhag (1985)	35	Sjödin et al. 1979	láctico	OBLA	132 - 232	0.96	0.92
Fohrenbach et al. (1987)	11	Mader et al. 1976	láctico	Lan	130 - 170	0.98	0.96
Nurmekivi et al. (2002)	5	Wasserman 1973	ventilat	Lan	137 - 165	-0.95	0.90
nosso estudo	58	Mader et al. 1976	láctico	Lan	129 - 212	0.94	0.88

*Todas as correlações significativas.

Por outro lado, ao contrário do que acontece com o $VO_2\text{max}$, continua a verificar-se uma correlação elevada e significativa entre a *performance* na maratona e o limiar anaeróbio, mesmo quando consideramos grupos homogêneos de maratonistas (quadro 89). Com efeito, os nossos resultados evidenciaram um valor de correlação semelhante nos três grupos de maratonistas (quadro 90). Também Sjödin e Svedenhag (1995) descrevem correlações significativas em grupos homogêneos, mas o valor de correlação decresce à medida que aumenta a capacidade funcional média dos atletas.

No nosso estudo, observando o quadro 92 que organiza de forma diferente resultados já apresentados nos quadros 90 e 91, não existe correlação entre a economia de corrida à velocidade da maratona, considerando o custo em oxigénio por unidade de distância e a *performance*, quando consideramos todos os elementos da amostra. A mesma análise por categorias revelou apenas diferenças significativas no grupo dos atletas mais lentos, i.e., com *performances* superiores a 180.1 min ($r = 0.537$; $p < 0.05$).

Quadro 91 Correlação entre a *performance* na maratona e o limiar anaeróbio em função do nível desportivo dos maratonistas. Comparação entre o nosso estudo e o de Sjödin e Svedenhag (1985).

Autor	categorias	n	T min	r	r ²	p
Sjödin e Svedenhag (1985)	GEB	12	141	0.63	0.40	< 0.05
Sjödin e Svedenhag (1985)	GM	16	157	0.76	0.58	< 0.001
Sjödin e Svedenhag (1985)	GL	7	204	0.92	0.85	< 0.001
nosso estudo	GEB	28	139	0.59	0.35	0.001
nosso estudo	GM	15	166	0.59	0.35	0.020
nosso estudo	GL	15	196	0.64	0.41	0.011

Quadro 92 Correlação entre a *performance* da maratona e a economia de corrida considerando o custo em oxigénio por unidade de distância. Valores de correlação para a totalidade da amostra e para grupos homogêneos em termos de *performance*.

categorias	n	T min	r	r ²	p
GEB	20	139	0.33	0.11	ns
GM	16	166	0.13	0.02	ns
GL	14	196	0.54	0.29	0.048
GEB+GM+GL	50	160	-0.02	0.00	ns

Não existem muitos investigadores das ciências do desporto que tenham correlacionado a *performance* desportivo-motora na maratona com a economia de corrida, considerando o custo em oxigénio por unidade de distância ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$) ou o custo energético da corrida ($\text{J.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$). Uma das excepções foi protagonizada por Billat et al. (2001), considerando o custo em oxigénio por unidade de distância ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{km}^{-1}$), que numa amostra constituída por maratonistas de elite masculinos ($n = 10$) referem a existência de uma correlação negativa não significativa ($r = -0.44$; $p = 0.21$). A amostra utilizada por Billat et al. (2001) é constituída por atletas de excepção (< 132 min) e de elite ($132.1 < 136$ min).

Considerando a economia de corrida como o consumo de oxigénio correspondente a uma intensidade submáxima, os índices de correlação entre o VO_2 a intensidades submáximas e a *performance* da maratona, como podemos observar no quadro 93, são relativamente baixos.

Quadro 93 Valores da correlação entre a *performance* desportiva na maratona e a economia de corrida considerando o VO_2 a uma intensidade submáxima.

Autor	n	T min	VO_2 submax	r	p
Foster et al. (1977)	23	143 - 248	VO_2 13.8 km.h^{-1}	-0.36	ns
Farrell et al. (1979)	13	137 - 229	VO_2 16.1 km.h^{-1}	-0.49	$p < 0.05$
Svedenhag e Sjödín (1985)	35	132 - 232	VO_2 15 km.h^{-1}	-0.55	$p < 0.001$
nosso estudo	46	129-249	VO_2 17.4 km.h^{-1}	-0.15	ns

O estudo efectuado por Sjödín e Svedenhag (1985) corrobora a existência de baixos valores da correlação ou a sua inexistência, entre esta forma de economia de corrida e a *performance* na maratona (quadro 94).

Quadro 94 Valores da correlação entre a *performance* desportiva na maratona e a economia de corrida considerando o VO_2 à velocidade de 15 km.h^{-1} , num estudo efectuado por Sjödín e Svedenhag (1985)

Autor	categorias	n	T min	r	p
Sjödín e Svedenhag (1985)	GEB	12	141	-0.49	n.s.
Sjödín e Svedenhag (1985)	GEB+GM	28	141+157	-0.51	< 0.01
Sjödín e Svedenhag (1985)	GEB+GM+GL	35	141+157+204	-0.55	< 0.01

A *performance* na maratona pode ser melhor explicada a partir da variação encontrada no limiar anaeróbio. As grandes variações do $VO_2\text{max}$ entre atletas com uma capacidade funcional idêntica e vice-versa, isto é, as pequenas diferenças interindividuais em atletas de elite, retiram algum nível preditivo a este indicador.

A elevada correlação existente entre a *performance* desportivo-motora na maratona e o limiar anaeróbio, confirma que este é o indicador fisiológico com melhor índice preditivo para a maratona. Esta lógica é reforçada pela dependência evidenciada pelo limiar anaeróbio de outros indicadores como o $VO_2\text{max}$, a utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à velocidade da maratona e a economia de corrida à velocidade da maratona. O avanço da curva para a direita na relação lactato-velocidade, explicado pelo efeito da poupança de glicogénio induzido pelo treino, é resultado da correcta interrelação entre os conteúdos do treino que permitem lactatemias mais baixas para o mesmo valor de utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ e uma cada vez mais elevada percentagem do consumo máximo de oxigénio correspondente ao limiar anaeróbio. Nesta perspectiva, como podemos ver no quadro 95, os valores da utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ correspondente à velocidade da maratona, não estão de acordo com o perfil funcional dos maratonistas da nossa amostra [82.17% para os maratonistas com uma *performance* média superior a 180.1 min, 86.19% para os atletas com uma *performance* média situada entre 150.1 e 180 min e 85.61 % nos atletas de elite (< 150 min)]. Também a percentagem da velocidade da maratona em relação à v_4 é maior nos atletas de elite (90.11%) que nos maratonistas lentos (83.72%).

Quadro 95 Velocidade correspondente ao limiar anaeróbio, utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à velocidade da maratona e percentagem da velocidade da maratona em relação à velocidade correspondente ao limiar anaeróbio, correspondentes ao nível funcional dos maratonistas do nosso estudo.

categorias	n	T média min	$FVO_2.v_4$	$Fv_{\text{mar}.v_4}$	v_4 m.s ⁻¹
GEB	29	139	82.17±16.38	90.11±17.76	5.42
GM	16	166	86.19±7.98	88.36±3.30	4.80
GL	14	196	85.61±6.66	83.72±4.79	4.31

O limiar anaeróbio revela-se assim como o indicador a privilegiar no controlo do treino, na calibração da intensidade da carga e na predição da *performance* na maratona. No entanto, um processo de treino parcimonioso deverá considerar a evolução de outros indicadores relativizados ao $VO_2\text{max}$, assim como a EC. Uma questão importante que decorre do acima exposto é saber de que forma podemos otimizar o $VO_2\text{max}$ e outros indicadores a si relativizados, a economia de corrida expressa pelo custo em oxigénio por unidade de distância e o limiar anaeróbio. A correcta calibração da carga pressupõe conhecer a evolução de cada um destes indicadores fisiológicos ao longo do processo de treino e qual o seu efeito na *performance*. No entanto, a elevada associação entre o limiar anaeróbio e a *performance* permite-nos afirmar que este indicador é o que apresenta maior índice de treinabilidade.

Enquanto o $VO_2\text{max}$ se mantém praticamente inalterável ao longo da época desportiva, o limiar anaeróbio pode ser melhorado em 20%. O consumo máximo de oxigénio não se altera significativamente nos atletas muito experientes, uma vez que o ventrículo esquerdo após ter atingido o seu volume máximo não consegue melhorar a sua capacidade de bombear sangue oxigenado. A relativa estabilidade desta variável cardiovascular em atletas experientes não significa que a sua potenciação deva ser banida do processo de treino.

Um grande número de investigadores das ciências do desporto, entre os quais Tanaka et al. (1984) e Jacobs (1985), Forenbach et al. (1987) e Mader et al. (1991), referiram o limiar anaeróbio como o indicador fisiológico com maior índice preditivo individual. O $VO_2\text{max}$ é um preditor menor, que não contém nenhuma informação válida para o processo de treino, incapaz de refractar o índice de economia de corrida. O mesmo não acontece com outros indicadores a si relativizados, capazes de caracterizar a eficácia do atleta pelo seu nível de economia de corrida, expressa pelo consumo de oxigénio correspondente, por exemplo, à velocidade da maratona ou pelo seu custo em oxigénio por unidade de distância. O maratonista mais económico é aquele cujo custo em oxigénio por unidade de distância é menor, o que implica um menor custo energético e um limiar anaeróbio mais elevado. Ainda assim, parece-nos pertinente conhecer o valor preditivo de outros indicadores relativizados ao $VO_2\text{max}$ e ao limiar anaeróbio, como a percentagem da $VO_2\text{max}$ correspondente à v_4 , como a

percentagem da v_4 e do $VO_2\text{max}$ utilizadas na maratona, a velocidade a que ocorre o $VO_2\text{max}$ ($vVO_2\text{max}$) e a percentagem da v_4 e da velocidade da maratona em relação ao $vVO_2\text{max}$.

Resumindo, as adaptações ao treino reflectem-se no limiar anaeróbio ou na utilização fraccional do $VO_2\text{max}$ à velocidade da competição e muito pouco ou nada no $VO_2\text{max}$, daí que o limiar anaeróbio tenha um maior poder preditivo da *performance*.

Sugerimos um estudo fraccionado por subgrupos de rendimento distintos, que permita detectar a existência de problemas de restrição da amplitude dos dados face à diminuição da amplitude da variação do desempenho.

Alguns investigadores, entre os quais Forenbach et al. (1987) e Mader (1991) desenvolveram testes com protocolos por incrementos, a efectuar no terreno ou em tapete rolante, que permitiram estabelecer relações entre as concentrações sanguíneas de lactato e as velocidades da corrida. A partir do conhecimento da dinâmica deste metabolito [como já referimos anteriormente, segundo Anderson (1998) o Lan pode melhorar entre 4 e 20%] passou a ser possível caracterizar com maior acuidade o perfil aeróbio dos atletas, aferir a intensidade da carga, avaliar o impacto do treino e predizer a *performance*. Um grande número de artigos científicos (Davis et al., 1979; Farrel et al., 1979; Sjodin e Jacobs, 1981; Yoshida et al., 1987; Weltman, 1995), efectuados na sua maioria com corredores de meio-fundo e fundo, contribuiu para a validação prática deste indicador fisiológico. Forenbach et al. (1987), Mader (1991), di Prampero et al. (1986), Helgerud (1994) e Billat et al. (2001) são alguns dos investigadores mais importantes, que estudaram a capacidade aeróbia de maratonistas utilizando o limiar anaeróbio para a predição da *performance* e a calibração da carga do treino.

Segundo Basset e Howley (1997) a velocidade correspondente ao limiar anaeróbio integra as variáveis, $VO_2\text{max}$, $\%VO_2\text{max}$ e EC, quando pretendemos predizer a *performance*.

Por outro lado, Coen et al., (1991) afirmam que a intensidade ideal para melhorar a resistência oscila entre 85-92% do Lan. Os mesmos autores observaram que intensidades entre 116-120% do Lan correspondem a lactatemias de 6 a 9 mmol.l⁻¹.

No nosso estudo, considerando o valor global da amostra, verificamos que os valores médios (quadro 64) da velocidade de corrida correspondente às concentrações de lactato de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l⁻¹, obtidas no teste de terreno por incrementos (Mader, 1976), sugerem que a velocidade média da maratona (4.30 m.s⁻¹) corresponde a uma lactetemia inferior a 1.5 mmol.l⁻¹.

Observando a amostra por categorias dos maratonistas do nosso estudo, os valores médios da velocidade de corrida correspondente às concentrações de lactato de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l⁻¹ (quadro 66) e a velocidade média da maratona para o GEB (5.05 m.s⁻¹), GM (4.21 m.s⁻¹) e GL (3.59 m.s⁻¹), concluímos que para o grupo de maratonistas mais rápidos a velocidade da competição se situa entre as velocidades correspondentes a lactatemias de 1.5 e 2 mmol.l⁻¹, enquanto para o GM e GL as velocidades mantêm-se, como para o valor global da amostra, abaixo da velocidade correspondente a uma lactetemia de 1.5 mmol.l⁻¹.

Analisando o valor global da amostra, a correlação (quadro 66) entre a *performance* e a velocidade de corrida correspondente às concentrações de lactato de 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5, mmol.l⁻¹, verificamos que a correlação mais elevada ($r = 0.95$) ocorre nas velocidades correspondentes às lactatemias de 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l⁻¹.

Observando os valores de correlação por categorias de maratonistas (quadros 67, 68 e 69), no GEB, o valor mais elevado ($r = 0.62$) é o correspondente à velocidade determinada por uma concentração de lactato de 5 mmol.l⁻¹, enquanto no GM o valor de correlação mais elevado ($r = 0.68$) corresponde à velocidade identificada por uma lactetemia de 2 mmol.l⁻¹ e para o GL o valor de correlação mais elevada ocorre na velocidade correspondente a uma concentração de lactato de 4.5 mmol.l⁻¹. Ainda assim, foram observadas correlações não significativas entre a velocidade da maratona e as velocidades correspondentes a lactatemias de 1.5 mmol.l⁻¹ em todos os grupos de maratonistas (GEB, GM e GL). Considerando o valor global da amostra, a correlação entre a *performance* e as velocidades correspondentes às lactatemias de 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l⁻¹ explicam 88-90% do desempenho. Por outro lado, considerando a amostra por categorias, para os maratonistas mais rápidos (GEB) o valor da correlação entre a $p(t)$ e as velocidades

correspondentes a lactatemias de 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5 e 5.5 mmol.l⁻¹ explicam apenas 35 a 38% do desempenho, para o GM entre 36-45% e para o GL entre 42-45%.

Quadro 96 Correlação entre a *performance* desportivo-motora e o limiar anaeróbio. Estudos desenvolvidos com maratonistas de elite até ao momento.

Autor	n	amplitude	r	r²
Farrell et al. (1979)	13	137 - 229	0.98	96%
Sjödín e Jacobs (1981)	18	142 - 252	0.78	61%
Conconi et al. (1982)	55	130 - 180	0.95	90%
Rhodes e McKenzie (1984)	18	133 - 201	0.94	88%
Tanaka et al. (1984)	12	142 - 183	0.78	61%
Sjödín e Svedenhag (1985)	35	132 - 232	0.96	92%
Fohrenbach et al. (1987)	11	130 - 170	0.98	96%
Nurmekivi et al. (2002)	5	137 - 165	0.54	29%
nosso estudo	58	129 - 212	0.94	88%

Como já referimos anteriormente, vários estudos desenvolvidos com maratonistas apresentam valores elevados de correlação entre a *performance* desportivo-motora e o limiar anaeróbio (quadro 96). No entanto, atendendo à duração da competição, sempre superior a duas horas, sabemos que a intensidade da maratona deverá ser inferior ao limiar anaeróbio.

Alguns estudos semelhantes ao nosso, efectuados com diferentes amostras de maratonistas permitem a confrontação dos resultados com os de outros investigadores.

Mader (1991) referiu que a velocidade correspondente a uma concentração de 2.5 mmol.l⁻¹ de lactato era a que apresentava o valor mais elevado de correlação ($r = 0.96$) com a velocidade da maratona. Por isso, em sua opinião a velocidade da maratona deveria ser inferior à velocidade correspondente a uma lactatemia de 3 mmol.l⁻¹, devendo a intensidade ideal situar-se na faixa correspondente às velocidades de concentrações de lactato entre 2 e 3 mmol.l⁻¹. Forenbach et al. (1987) encontraram valores elevados de correlação entre a velocidade da maratona e as correspondentes a concentrações de lactato de 4 mmol.l⁻¹ ($r = 0.98$), 3 mmol.l⁻¹ ($r = 0.99$) e 2.5

mmol.l⁻¹ ($r = 0.99$), corroborando a opinião de Mader (1991) de que a intensidade ideal para a maratona estaria entre as velocidades correspondentes a lactatemias de 2.5 e 3 mmol.l⁻¹.

A análise directa da concentração de lactato efectuada no final da maratona revela concentrações médias de lactato abaixo do limiar anaeróbio (quadro 97). Por outro lado, um estudo recente de Billat et al. (2001) realizado em dois grupos de maratonistas muito experientes, uns excepcionais ($n = 5$; *performance* média 129 ± 2) e outros de elite ($n = 5$; *performance* média 133 ± 1), num teste de 10 km à velocidade da maratona revelaram valores muito elevados de lactatemia, superior a 10 mmol.l⁻¹ para o grupo de maratonistas excepcionais e acima das 7 mmol.l⁻¹ para os de elite.

Quadro 97 Valores da lactatemia (Lac) no final da competição em maratonistas

Autores	n	p(t) (min)	Lac final (mmol.l ⁻¹)
di Prampero (1986)	12	188.9	1.0±0.5
Costill e Fox (1969)	6	-	2.1
Maron et al. (1975)	6	-	1.9
Forenbach et al. (1987)	5	150.9	3.22
Billat et al. (2001)	5	129.83	10.0±3.0
Billat et al. (2001)	5	133.25	7.0±1.2
Helgerud (1994)	6	159.72	1.58±0.02

De regresso ao nosso estudo, considerando o valor global da amostra, encontramos valores de correlação elevados (entre $r=0.94$ e $r=0.95$) para quase todas as velocidades (v_2 , $v_{2.5}$, v_3 , $v_{3.5}$, v_4 , $v_{4.5}$, v_5 e $v_{5.5}$), o que significa que todas têm um nível preditivo elevado. Por outro lado, se analisarmos os valores de correlação de cada um dos grupos de maratonistas, observamos níveis de associação heterogéneos se considerarmos apenas o valor mais elevado: para o grupo dos atletas mais evoluídos (GEB) o valor de correlação mais elevado ocorre na velocidade correspondente a uma lactatemia de 5 mmol.l⁻¹, para o GM acontece na velocidade correspondente a uma lactatemia de 2 mmol.l⁻¹ e para o GL na velocidade correspondente a uma concentração sanguínea de 4.5 mmol.l⁻¹ de lactato. No entanto, considerando que os valores médios de

lactatemia máxima observados no final das maratonas por alguns investigadores (quadro 97), exceptuando os valores encontrados por Billat et al (2001) e Forenbach et al. (1987), observamos que os do nosso estudo, considerando o valor global da amostra ou por categorias, são relativamente próximos.

Perante o exposto, podemos concluir que para a amostra global e para os GEB e GM os valores de correlação mais elevados correspondem a intensidades superiores a concentrações de lactato de 4 mmol.l⁻¹.

A validação prática do teste de terreno que utiliza o protocolo de Mader (1976) e estabelece uma relação entre as concentrações sanguíneas de lactato e a velocidade de corrida como critério para determinar as alterações da capacidade aeróbia, parece-nos adequado a partir do momento em que se utiliza apenas o valor da v4 encontrado e não os valores das v1.5, v2, v2.5, v3, v3.5, v4, v4.5, v5 e v5.5 resultantes do modelo de regressão simples aplicado.

A validação prática deste teste de terreno efectuada em estudos semelhantes na tentativa de predizer a *performance* na maratona (Föhrenbach et al., 1987) e na meia-maratona (Santos, 1995; Santos e Maia, 2002), apresentou entre os maratonistas como correlação mais elevada ($r=0.98$) correspondente às velocidades associadas a concentrações de lactato de 2.5 e 3.0mmol.l⁻¹. Santos (1995) e Santos e Maia (2002) encontraram uma correlação elevada entre as velocidades obtidas no teste de terreno para as lactatemias situadas entre 3.0 e 5.5mmol/l (r variou entre 0.86 e 0.90) e a velocidade da meia-maratona. As correlações mais elevadas ($r=0.90$) correspondem às concentrações entre 4.5 e 5.5mmol.l⁻¹. Os valores de r^2 encontrados explicam 80% (v4.5) e 81% (v5.0 e V5.5) da *performance*, mas os valores de v3.0 (73%), v3.5 (73%), e v4.0 (79%), por serem muito próximos, não podem ser desprezados.

Alguns investigadores consideram ser possível não só predizer a *performance* desportivo-motora, mas também, caracterizar o perfil aeróbio do atleta, calibrar a intensidade da carga, avaliar o impacto do treino a partir daquele ou qualquer outro teste de terreno, desde que determinada velocidade de corrida expresse uma concentração sanguínea de lactato correspondente ao limiar anaeróbio (Föhrenbach et al., 1987; Föhrenbach, 1991; Mader, 1991).

Föhrenbach et al. (1987) utilizando a v2.5 do teste de terreno, em que utilizou o protocolo de Mader (1976) como indicador exclusivo de predição, verifica num dos elementos da amostra um erro mínimo de 0.37 min para a *performance* de 136.72 min, mas para outro maratonista a margem de erro foi muito superior, menos 6.17 min que o tempo final obtido (135.68 min), o que revela a pouca fiabilidade desta forma de predizer a *performance*. Föhrenbach et al. (1987) não justificam no seu estudo porque adoptaram os valores de 2.5-3.0mmol.l⁻¹ como os mais adequados para a predição da *performance* na maratona, para além de não referirem os resultados encontrados para concentrações iguais ou superiores a 3.5 mmol.l⁻¹.

Tokmakidis et al. (1998), num estudo efectuado com maratonistas, correlacionaram as velocidades correspondentes a concentrações de lactato de 3, 5, 6, 7 e 8 mmol.l⁻¹ com a *performance* e obtiveram um resultado semelhante ao do estudo anterior, respectivamente $r = 0.907$, $r = 0.917$, $r = 0.915$, $r = 0.913$, $r = 0.911$.

Estes exemplos, para além de porem em causa a validação prática da metodologia utilizada, reforçam a necessidade da utilização de mais que um indicador na predição da *performance*, uma vez que esta é o resultado de um conjunto complexo e multidisciplinar de parâmetros.

Os estudos de Santos (1995) e Santos e Maia (2002) também registam correlações elevadas, mas com mínimas diferenças entre si, para todas as velocidades correspondentes a cada uma das concentrações sanguíneas de lactato, o que implica que cada uma das v3.0, v3.5, v4.0, v4.5, v5.0 e V5.5 permitem elevados níveis de previsão. Paradoxalmente, os mesmos autores na prática encontraram erros na predição final da *performance* de 3,27 min e concluíram que a metodologia utilizada permite pouca eficácia preditiva, apresentando por isso pouca aplicabilidade prática.

A replicação destes trabalhos efectuada no nosso estudo, numa tentativa de validação cruzada, independentemente das idiosincrasias próprias da amostra, permite-nos sugerir o seguinte:

(1) Os atletas não correm em equilíbrio, mas sim em regime de acumulação progressiva de lactato, quer na meia-maratona quer na maratona. Nesta, não é possível correr a velocidades superiores à v4, assumindo uma percentagem deste valor (90%v4) um padrão de intensidade razoável a utilizar

no treino e na competição. A predição da *performance* pode ser efectuada a partir da velocidade correspondente a uma lactemia de 4 mmol.l^{-1} e não à velocidade a que teoricamente se poderá correr a maratona correspondente a uma lactatemia encontrada por correlação simples a partir deste valor, i.e., torna-se necessário determinar com precisão a intensidade a que se pode efectuar a maratona, realizando um contra-teste em que o atleta corre pelo menos durante 1h à velocidade da maratona e se confirma se a concentração de lactato sanguíneo é inferior à v_4 .

(2) O conhecimento da dinâmica deste metabolito a partir dos doseamentos de lactato sanguíneo pode assim constituir-se como um indicador extremamente fiável na caracterização do perfil aeróbio dos atletas (um maratonista com uma v_4 superior a outro teoricamente obterá uma melhor *performance*), aferir a intensidade da carga a utilizar no treino para potenciar o limiar aeróbio, avaliar o impacto do treino conhecendo se o valor da v_4 evoluiu, diminuiu ou se manteve inalterável, i.e., utilizar a v_4 como critério para determinar as alterações da capacidade aeróbia e ainda predizer a *performance* sabendo que, de acordo com determinado volume de treino, o atleta pode efectuar a maratona a determinado valor percentual do limiar anaeróbio.

(3) Sugerimos ainda que o teste de terreno a utilizar, adaptado a partir do de Mader (1976), inclua patamares de 4000m, que nos parecem mais ajustados para os maratonistas, na medida em que ajudam a estabelecer uma relação individual lactato-velocidade de corrida com maiores diferenças entre si.

Através da hipótese 4 pretendemos conhecer se a variação da *performance* na maratona pode ser explicada, não só pela forma como é estruturado o plano de treino, mas também a partir da variabilidade encontrada em alguns parâmetros caracterizadores da duração, intensidade e frequência da carga.

O processo de treino desportivo induz mecanismos de adaptação no organismo que permitem aumentar a capacidade de suportar cargas de treino e competição cada vez mais elevadas.

Um plano de treino parcimonioso não pode contemplar um volume de km desnecessário, nem intensidades muito elevadas que comprometam o incremento da forma desportiva. A possibilidade de fazer interagir os conteúdos

do treino, na tentativa de otimizar o estímulo capaz de aumentar o nível de desempenho, pressupõe desenvolver cada um de forma equilibrada e multidisciplinar para minimizar a fadiga, evitar o aparecimento de lesões e a possibilidade de entrar em sobretreino. A sobrecarga a implementar deve estar adequada aos objectivos que se pretendem atingir, tendo sempre em consideração o nível inicial do sujeito.

A utilização de cada um dos indicadores do treino poderá diferenciar a *performance* da maratona, mas não sabemos se o incremento de um implica a melhoria de outros, ou vice-versa. As combinações possíveis destas variáveis podem contribuir para um melhor conhecimento dos seus factores limitativos, importando saber se os excelentes níveis de uma implicam a exclusão de valores excepcionais da outra variável.

A relação dose-resposta entre os indicadores caracterizadores da carga e a *performance* pode servir como instrumento de investigação e aferição desta dinâmica e ainda avaliar este processo em vários momentos da época desportiva, calibrar a carga e, a partir da quantidade e qualidade do treino efectuado, predizer a *performance*.

Perante o exposto, a probabilidade de alcançar um objectivo depende da especificidade dos conteúdos do treino a utilizar em cada UT no que se refere à sua duração, intensidade e frequência.

Na tentativa de esclarecer o quadro de relações entre os parâmetros caracterizadores da carga do treino e entender a sua estrutura, foram considerados como variáveis predictoras da *performance*, para o volume, o número total de km percorridos ou os km percorridos a uma velocidade inferior à maratona, e para a intensidade, o número de km percorridos à velocidade da maratona, os km percorridos à velocidade correspondente ao limiar anaeróbio, o número de km percorridos à velocidade dos 10000m e os km percorridos à velocidade dos 3000m.

Westgarth-Taylor et al. (1997), Weston et al. (1997), Acevedo e Golfarb (1989) descrevem a dificuldade que os investigadores das ciências do desporto têm tido na elaboração de modelos que especifiquem e quantifiquem a relação dose-resposta. A inexistência de um *design* experimental com protocolos e procedimentos standardizados nos variados estudos efectuados com

maratonistas, contribui para alguma imprecisão na descrição das metodologias de treino utilizadas, tornando difícil a sua quantificação e comparação.

A correcta prescrição da carga de treino do maratonista implica um conhecimento prévio da idade de treino, da sua experiência neste tipo de competição e ainda do seu nível condicional inicial, que pode ser avaliado pelo número de unidades de treino efectuadas por semana (UT.sem⁻¹), pelo número de km percorridos por semana (km.sem⁻¹) e pela média de km efectuados na UT mais longa (km UT+Longa).

No nosso estudo (quadro 98) são evidentes as diferenças nestes parâmetros entre cada uma das categorias da amostra. O grupo de maratonistas mais rápidos (GEB) efectua, em média, praticamente o dobro do número de UT.sem⁻¹ de cada um dos outros grupos (GEB: 11.92±1.12 UT; GM: 7.85±1.46 UT; GL: 6.57±1.16 UT). Consequentemente, a discrepância de valores entre os grupos, quanto à média dos km.sem⁻¹, é idêntica (GEB:190.64±34.78 km; GM:111.54±16.12 km; GL: 92.79±20.17 km). A média de km efectuados na UT mais longa apresenta o valor mais elevado no grupo dos melhores; 7 e 5 km mais que para GM e GL, respectivamente (GEB: 32.44±4.75 km; GM: 25.65±4.63 km; GL: 27.07±7.62 km).

Quadro 98 Resultados da ANOVA por categorias dos maratonistas do nosso estudo nos valores médios ± (DP) das variáveis: *performance* (p[t]), número de unidades de treino por semana (UT.sem⁻¹), número de km percorridos por semana (km.sem⁻¹), número de km da UT mais longa (km UT+Longa).

	GEB	n	GM	n	GL	n
p[t]	139.33±5.22 (137.38-141.28)	30	166.95±7.64 (162.88-171.02)	16	196.01±8.36 (191.38-200.64)	15
UT.sem ⁻¹	11.92±1.12 (11.46-12.38)	30	7.85±1.46 (6.97-8.73)	16	6.57±1.16 (5.90-7.24)	15
km.sem ⁻¹	190.64±34.78 (176.28-205.00)	30	111.54±16.12 (101.80-121.28)	16	92.79±20.17 (81.14-104.43)	15
km UT+Longa	32.44±4.75 (30.48-34.40)	30	25.65±4.63 (22.85-28.45)	16	27.07±7.62 (22.67-31.47)	15

Perante este quadro parece ser evidente que o nível de desempenho está directamente relacionado com o volume de treino. Inúmeros autores (Glover e Shepherd, 1977; Pollock, 1977; Foster et al., 1977; Daniels et al., 1978; Young, 1978; Conley et al., 1981; Hartung e Squires, 1982; Shelley e Donovan,

1982; Dotan et al., 1983; Scrimgeour et al., 1986; Helgerud et al., 1990; Sjodin e Jacobs, 1981; Sjodin e Svedenhag, 1985; Bale et al., 1985; McKelvie et al. 1985; Kyrolainen, 2000), ao analisarem o contributo individual de cada conteúdo do treino no nível de desempenho, observaram que a grande quantidade de volume de treino efectuado pelos maratonistas é responsável por adaptações metabólicas e cardiovasculares, tendo concluído que existe uma relação directa entre o volume de treino e a *performance*.

Hewson e Hopkins (1996), Campbell (1985), Marti et al. (1981) e McKelvie et al. (1985) concluem que os atletas com melhores *performances* são aqueles que efectuam maior volume de treino a intensidade moderada.

Outros autores encontraram níveis de correlação elevados entre o número de km efectuados por semana e a *performance* (Slovic, 1977; $r=0.65$; Hagan et al., 1981; $r=0.67$; Sjodin e Jacobs, 1981; $r=0.94$; Sjodin e Svedenhag, 1985; $r=0.85$; Maughan, 1990; $r= -0.54$), enquanto Dotan et al. (1983) observaram que a distância percorrida nos 2 a 3 meses que precedem a maratona permite prever a *performance*.

No nosso estudo ($n=52$) também observámos níveis de correlação elevados entre a *performance* e o volume total de km efectuados por semana ($r=-0.77$) e entre a *performance* e o número de km percorridos semanalmente a uma intensidade inferior à maratona ($r=-0.68$).

Segundo Karikosk (1989), nos últimos 50 anos, o volume do treino dos maratonistas aumentou substancialmente, cerca de 15 a 25 vezes, atingindo valores que oscilam, em atletas de elite, entre 5900 e 10000 km anuais (113 -192 km.sem⁻¹).

Daniels (1998) propõe uma metodologia de treino para a maratona em que sugere 136, 152 e 112 km.sem⁻¹, para as etapas de seis semanas que antecedem a realização da maratona.

Pfitzinger e Douglas (2001) sugerem 136, 150, 146 e 71 km.sem⁻¹ nas etapas que precedem a maratona.

Se observarmos o volume de treino semanal de alguns atletas excepcionais (quadro 99) verificamos que os mais antigos, Hannes Kolehmainen, Barry Magee e Leonard Edelen, realizavam por semana apenas 55 km (Noakes, 1991), 90 km (Lydiard e Gilmour, 1978) e 160 km (Noakes, 1991), respectivamente. Em todos os outros verificamos diferenças

assinaláveis no volume semanal de treino, apesar de possuírem um nível de desempenho muito próximo, que varia entre 126.6 e 129.4 min. Robert de Castella, Steve Jones (Sandrock, 1996), Carlos Lopes e António Pinto (segundo as comunicações pessoais dos seus treinadores) não corriam, em média, mais que 200 km por semana. Bill Rodgers (Sandrock, 1996) e Frank Shorter (Sandrock, 1996) efectuavam 210 km.sem⁻¹. Dereck Clayton (Noakes, 1991) e Manuel Matias (comunicação pessoal do seu treinador) percorriam 260 km.sem⁻¹. Gelindo Bordin (Gigliotti, 1991; Faraggiana, 1991; Lenzi, 1987) e Domingos Castro (comunicação pessoal do seu treinador) efectuavam 280 km.sem⁻¹ de corrida contínua, enquanto que todos os outros, Juma Ikaanga (Sandrock, 1996), Toshihiko Seko (Sandrock, 1996) e Takeyuki Nakayama (Usami, 1988) cumpriam 350 km de corrida, em média, por semana.

Quadro 99 Volume de treino efectuado por semana por alguns atletas excepcionais (Lydiard e Gilmour, 1978; Lenzi, 1987; Noakes, 1991; Sandrock, 1996)

Atleta	km.sem ⁻¹	p[t]	Autor
Hannes Kolehmainen	110*+55◊	152.6	Noakes, 1991
Barry Magee	90	137.3	Lydiard e Gilmour, 1978
Leonard Edelen	160	134.6	Noakes, 1991
Dereck Clayton	260	128.6	Noakes, 1991
Robert de Castella	200	128.3	Sandrock, 1996
Steve Jones	200	128.1	Sandrock, 1996
Carlos Lopes	200	127.2	comunicação pessoal treinador
Bill Rodgers	210	129.4	Sandrock, 1996
Frank Shorter	210	132.2	Sandrock, 1996
Juma Ikaanga	350	128.0	Sandrock, 1996
Toshihiko Seko	350	128.4	Sandrock, 1996
Takeyuki Nakayama	350	128.2	Usami, 1988
Gelindo Bordin	280	129.4	Lenzi, 1987
Manuel Matias	260	126.6	comunicação pessoal treinador
António Pinto	200	128.5	comunicação pessoal treinador
Domingos Castro	280	127.8	comunicação pessoal treinador

*marcha
◊corrida

Bergh (1982) afirma que o VO₂max estabiliza nos atletas de elite com um volume elevado de CC. Sjodin e Svedenhag (1985) sugerem que, em maratonistas, o volume de treino acima dos 120 km.semana⁻¹ não afecta o VO₂max. Os mesmos autores afirmam que um volume elevado de treino a

intensidades submáximas não é suficiente para uma boa *performance* desportivo-motora na maratona. Por sua vez, Costill et al. (1988) observam que um incremento adicional ao volume de treino efectuado a intensidades submáximas não altera os indicadores fisiológicos de atletas bem treinados. Os mesmos autores sugerem que existe um limiar máximo de volume de treino com impacto positivo na *performance* que, quando ultrapassado, tem um efeito contrário.

Analisando os resultados da nossa amostra, a predição da *performance* efectuada a partir de um modelo de regressão múltipla que reuniu os indicadores caracterizadores do treino (quadro 72) revelou que o número de km efectuados a uma velocidade inferior à maratona e o número de km efectuados à velocidade da maratona, são os preditores que explicam as diferenças interindividuais na maratona.

No entanto, considerando todos os elementos da amostra, a partir da regressão múltipla entre o tempo gasto na corrida e o volume do treino expresso pelo número de km percorridos por semana (figura 18), podemos observar que, à medida que o número de km aumenta, o tempo gasto na maratona vai declinando até se atingir um ponto em que o impacto positivo na *performance* estabiliza. Existe um limite, situado entre 180 e 220 km, a partir do qual o número de km percorridos por semana não parece ser relevante no desempenho.

O mesmo acontece se considerarmos apenas os km percorridos semanalmente a uma velocidade inferior à maratona (figura 20).

Se a análise for feita por categorias, observamos que para o grupo dos melhores atletas (figura 19) é irrelevante efectuarem pouco menos de 100km ou mais de 200 km. O mesmo acontece para o GM e o GL, o que evidencia que o número de km percorridos por semana não é a variável mais importante para explicar as diferenças que ocorrem no desempenho. Os resultados sugerem que existirão outros aspectos relacionados com a qualidade de treino que diferenciam a *performance*.

Perante este quadro emerge a ideia de que o volume total de km realizados por semana não é a chave para uma melhor *performance* na maratona, parecendo evidente a existência de um limiar abaixo ou acima do qual não ocorre qualquer adaptação. O volume de treino realizado representa,

no entanto, a bitola a partir da qual podemos determinar como utilizar outros conteúdos de treino com diferentes níveis de duração, intensidade e frequência, capazes de otimizar a *performance* desportivo-motora.

Laursen e Jenkins (2002) afirmam que há um grande caminho a percorrer na optimização da carga, principalmente quando se utiliza o método dos intervalos com intensidades elevadas.

Billat (1998) corrobora esta ideia afirmando que estamos ainda muito longe de poder identificar os efeitos imediatos e crónicos de qualquer tipo de treino efectuado a intensidades elevadas pelo método dos intervalos.

Wenger e Bell (1986), Santiago (1987), Swain et al. (1995), Hewson e Hopkins (1996) afirmam que existem limiares mínimos e máximos de frequência, de duração e intensidade da carga, abaixo e acima dos quais não ocorre qualquer incremento da forma desportiva. Por exemplo, o treino para potenciar o $VO_2\text{max}$ com uma frequência superior a 3 vezes por semana tem efeito nulo ou insignificante na *performance* e aumenta a vulnerabilidade do atleta para as infecções víricas e o aparecimento de lesões.

Stepito et al. (1998), Smith et al. (1999), Laursen e Jenkins (2002) referem que a utilização de formas de treino pelo método dos intervalos com intensidades elevadas, correspondentes aos indicadores relativizados ao $VO_2\text{max}$, permitem a optimização da *performance*.

Korborov e Volkov (1983), Lenzi (1987), Daniels (1998), Nurmekivi et al. (2002) sugerem que o plano de treino do maratonista deve proporcionar um desenvolvimento parcimonioso e individualizado, por mesociclo, de cada um dos indicadores fisiológicos responsáveis pelo perfil aeróbio do sujeito (EC, $VO_2\text{max}$ e limiar anaeróbio).

Billat et al. (2001) observaram que os parâmetros diferenciadores da *performance* desportivo-motora na maratona, em atletas de elite, eram os parâmetros caracterizadores da qualidade do treino, i.e., o volume de trabalho efectuado à intensidade correspondente às velocidades dos 3000m e 10000m.

Quando analisamos no nosso estudo os maratonistas por categorias, no grupo dos melhores atletas (GEB), o modelo de regressão múltipla utilizado permite-nos comparar o grau de importância de cada uma das variáveis predictoras que mais contribuem para as diferenças no desempenho (a distância semanal percorrida a uma velocidade inferior à da maratona

($\text{km}\cdot\text{sem}^{-1} @ < v_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade da maratona ($\text{km}\cdot\text{sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$), a distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio ($\text{km}\cdot\text{sem}^{-1} @ v_4$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros ($\text{km}\cdot\text{sem}^{-1} @ v_{10000}$), a distância semanal percorrida à velocidade dos 3000 metros ($\text{km}\cdot\text{sem}^{-1} @ v_{3000}$), tendo evidenciado resultados significativos a distância semanal percorrida à velocidade da maratona, a distância semanal percorrida à velocidade do limiar anaeróbio e a distância semanal percorrida à velocidade dos 10000 metros, aspectos qualitativos do treino que não têm nada a ver com a quantidade. Considerando os valores relativos aos grupo 2 (GM) e 3 (GL), o modelo de regressão múltipla não evidencia resultados significativos, o que significa que nenhuma das variáveis possui qualquer valor preditivo. O facto de nestas categorias existirem poucos ou nenhuns maratonistas a utilizarem os métodos de treino que contemplam intensidades elevadas (figuras 5, 6, 7 e 8), reflecte-se na ausência de significância dos indicadores associados à qualidade do treino e por sua vez justifica os níveis baixos de desempenho dos elementos dos grupos GM e GL, assim como dos seus indicadores fisiológicos.

O volume do treino destes grupos, expresso pelo número de km percorridos a uma velocidade inferior à maratona, não é a variável mais importante para a interpretação das diferenças que ocorrem no desempenho. Se analisarmos cada um dos indicadores da intensidade do treino individualmente e por categoria, o número de $\text{km}\cdot\text{sem}^{-1} @ v_{\text{maratona}}$ (figura 22), o número de $\text{km}\cdot\text{sem}^{-1} @ v_4$ (figura 23) o número de $\text{km}\cdot\text{sem}^{-1} @ v_{10000}$ (figura 24) e o número de $\text{km}\cdot\text{sem}^{-1} @ v_{3000}$ (figura 25), verificamos que há muitos maratonistas que não efectuam qualquer treino a estas intensidades. Por outro lado, a figura 24 sugere que um volume exagerado de treino à v_{10000} pode induzir alguma redução na capacidade de desempenho, o que só acontece no GEB.

A idêntica conclusão chegaram Velikorodnih et al. (1987) quando afirmam que, na etapa de competição do maratonista, o treino pelo método dos intervalos efectuado a intensidade elevada, anula a possibilidade de uma boa *performance*. Também Glimov e Kulakov (1992) concluíram que a utilização na etapa competitiva de uma intensidade superior ao limiar anaeróbio

correspondente a 20% do volume total do treino, é responsável pelo fracasso na maratona.

Glimov e Kulakov (1992) observaram que os maratonistas de elite utilizam 6-12% do volume total de treino em corrida pelo método contínuo ou dos intervalos a uma intensidade igual ou superior ao limiar anaeróbio (v_4), 30% a $85\%v_4$ e os restantes 58-64% em corrida contínua lenta. Os mesmos autores referem que 30 maratonistas que efectuaram 8-12% do treino a intensidade igual ou superior ao limiar anaeróbio não obtiveram boas *performances*.

Entre a bibliografia publicada sobre a metodologia de treino da maratona, parece ser consensual a utilização de vários tipos de intensidade do treino. Lenzi (1987) sugere para um maratonista de elite um volume total de treino de 280 km por semana, dos quais 85% (238km) são para a corrida contínua lenta, 10% (28km) para cargas de treino de intensidade média e 5% (14km) para a corrida rápida. Nos microciclos orientados para a intensidade, o trabalho efectuado para uma lactatemia entre 2 e 4 mmol.l^{-1} não excede os 15% (42 km) e o treino mais intenso (acima de 4 mmol.l^{-1}) não ultrapassa 28 km, o que reduz para 75% o volume de treino efectuado em corrida contínua lenta (210 km). Este autor sugere para o desenvolvimento da capacidade aeróbia sessões que utilizam o método de duração (12 a 16 km) ou o método dos intervalos (3x7 km) a uma intensidade de 99% da v_4 . Lenzi (1987) sugere ainda sessões de 8x1000m a uma intensidade correspondente a $100\%v_4$ com recuperação de 3 a 4 min efectuada à velocidade da maratona, ou seja, a 93% da velocidade correspondente ao limiar anaeróbio. Este autor utiliza também três níveis de CC a velocidade inferior à da maratona correspondentes a 80%, 85% e 90% da v_4 . O trabalho mais intenso é efectuado pelo método dos intervalos a uma intensidade correspondente a 103% da v_4 com tempos de recuperação entre 3 e 4 min.

Na metodologia de treino para a maratona de Daniels (1998), a corrida contínua de duração (efectuada a uma intensidade correspondente a 65 a 70% VO_2max) representa cerca de 76% do volume total do treino. O treino a uma intensidade correspondente ao limiar anaeróbio efectuado sob a forma de corrida contínua (duração não superior a 20 min) ou pelo método dos intervalos (3 a 8 mn de duração e um tempo de recuperação de 1min) ocupa na etapa

dois cerca de 9.5% do volume total do treino, na etapa três 4.8% e na etapa final 21%. No treino pelo método dos intervalos para potenciar o $VO_2\text{max}$, com repetições não superiores a 5min, os autores sugerem uma rácio de 1:1 entre o tempo de exercitação e o tempo de recuperação. Este tipo de treino realizado à intensidade da $vVO_2\text{max}$ em tempos acumulados (por repetições) é muito mais eficaz que se efectuado sob a forma de esforço contínuo. O seu volume total deve corresponder a 8% dos km percorridos semanalmente. Este tipo de treino é efectuado só na etapa três e representa cerca de 15% do total de UT do mesociclo. O treino pelo método repetitivo contempla repetições efectuadas a uma intensidade entre 100 e 110% $vVO_2\text{max}$, com uma duração entre 30 a 90 s e um tempo de recuperação 4 a 6 vezes superior ao tempo de exercitação. O somatório das repetições não deve exceder 5% do número de km percorridos na semana nem ultrapassar os 20min de duração. Este tipo de treino é efectuado só na etapa dois e representa cerca de 15% do total de UT do mesociclo. A corrida à velocidade da maratona também é considerada nesta metodologia de treino e representa cerca de 5% do número de UT. Daniels (1995, 1998) desenvolve em cada uma das etapas um objectivo específico (EC, Lan ou $VO_2\text{max}$) não negligenciando outros, mas enquanto o Lan é desenvolvido nas etapas 2, 3 e 4 a EC só o é na etapa 2 e o $VO_2\text{max}$ na etapa 3.

Pfitzinger e Douglas (2001) potenciam o limiar anaeróbio nas duas primeiras etapas, apesar de contemplarem apenas 5% do número total de UT em cada uma. O $VO_2\text{max}$ é apenas potenciado na etapa 3, mas também numa percentagem muito baixa (3.3%) do total de UT. O treino ao ritmo da maratona apenas ocorre 1 vez nas etapas 2, 3 e 4.

Os requisitos energéticos e o suporte metabólico que contribuem para a optimização da *performance* desportivo-motora na maratona parecem ser função da intensidade da carga a suportar no treino. Apesar da sua complexidade, o interesse prático do limiar anaeróbio, da velocidade associada ao $VO_2\text{max}$ e da EC é permitir uma correcta interpretação do impacto do treino e a formulação de múltiplas hipóteses de calibração da intensidade da carga do treino e a velocidade de competição adequada.

Os dados do nosso trabalho e os da literatura são escassos, razão pela qual é necessária investigação adicional que proporcione outro tipo de conclusões ou reforce as existentes.

7. Conclusões

Para responder ao problema central do nosso estudo, sabendo que grupos distintos de desempenho na maratona evidenciam diferenças médias relevantes num conjunto de variáveis preditoras dos domínios fisiológico e do treino, foram estabelecidos dois grandes objectivos: (1) determinar o grau de dependência da *performance* desportivo-motora na maratona relativamente a um conjunto de indicadores fisiológicos - consumo máximo de oxigénio, economia de corrida e limiar anaeróbio; (2) determinar a relação entre a *performance* desportivo-motora na maratona e um conjunto de variáveis preditoras do domínio do treino, caracterizadoras da dinâmica da carga. A partir destes objectivos formulamos 4 hipóteses fundamentais.

A primeira pretendia conhecer se o consumo máximo de oxigénio, a economia de corrida e o limiar anaeróbio, são indicadores diferenciadores da *performance* desportivo-motora na maratona. Esta hipótese foi parcialmente confirmada atendendo que os valores das estatísticas obtidas confirmam a qualidade dos resultados apenas para o $VO_2\max$ e o limiar anaeróbio. A EC não diferencia a *performance* considerando a heterogeneidade global da amostra. A EC pode explicar alguma da variabilidade observada no desempenho em categorias homogéneas de maratonistas.

A segunda hipótese mencionava que entre o consumo máximo de oxigénio, a economia de corrida e o limiar anaeróbio, a *performance* na maratona pode ser melhor explicada a partir da variação encontrada no limiar anaeróbio. Esta segunda hipótese foi confirmada, o limiar anaeróbio foi o indicador fisiológico com o valor preditivo mais elevado de todas as variáveis estudadas.

Com a terceira hipótese pretendíamos verificar se a *performance* na maratona pode ser predita, com uma margem de erro reduzida, a partir das velocidades de corrida correspondentes a lactatemias de 2.5 e 3.0 mmol.l⁻¹ (V2.5 e V3.0) determinadas num teste de terreno incremental. Foram encontradas correlações elevadas mas com mínimas diferenças entre si, para todas as velocidades correspondentes a cada uma das concentrações sanguíneas de lactato, o que implica que cada uma das v3.0, v3.5, v4.0, v4.5, v5.0 e V5.5 permitem elevados níveis de previsão. Concluimos que a metodologia utilizada permite pouca eficácia preditiva, apresentando por isso pouca aplicabilidade prática. No entanto, o conhecimento da velocidade

correspondente ao limiar anaeróbio permite caracterizar o perfil aeróbio do atleta, calibrar a intensidade da carga e avaliar o impacto do treino.

Com a quarta hipótese pretendíamos verificar se a variação da *performance* na maratona pode ser explicada, não só pela forma como é estruturado o plano de treino, mas também a partir da variabilidade encontrada em alguns parâmetros caracterizadores do volume e da intensidade da carga. Esta hipótese foi confirmada, atendendo a que os valores das estatísticas confirmam a qualidade dos resultados e sugerem uma forte plausibilidade para a variação dos parâmetros caracterizadores da carga. Os indicadores do volume de treino, o número de km percorridos por semana e o número de km percorridos por semana a uma velocidade inferior à maratona, não são diferenciadores da *performance* desportivo-motora na maratona. Os indicadores qualitativos do treino do maratonista, i.e., o número de km percorridos à velocidade da maratona, o número de km percorridos à velocidade do limiar anaeróbio e o número de km percorridos à velocidade dos 10000 metros explicam as diferenças no desempenho.

8. Bibliografia

Acevedo, E.O.; Goldfarb, A.H. (1989). Increased training intensity effects on plasma lactate, ventilatory threshold, and endurance. Med. Sci. Sports Exerc., 21(5): 563-568.

Ahmaidi, S.; Collomp, K.; Caillaud, C.; Prefau, C. (1992). Maximal and functional aerobic capacity as assessed by two graduated field methods in comparison to laboratory exercise testing in moderately trained subjects. Sports Med., 13(3): 243-248.

Allen, W.K.; Seals, D.R.; Hurley, B.F.; Ehsani, A.A.; Hagberg, J.M. (1985). Lactate threshold and distance-running performance in young and older endurance athletes. J. Appl. Physiol., 58(4):1281-1284.

Allor, K.M.; Pivarnik, J.M.; Sam, L.J.; Perkin, C.D. (2000). Treadmill economy in girls and women matched for height and weight. J Appl. Physiol., 89(2): 512-516.

Alway S.E, Winchester P.K, Davis M.E, Gonyea W.J. (1989). Regionalized adaptations and muscle fibre proliferation in stretch induced enlargement. J Appl. Physiol., 66: 771-781.

American College of Sports Medicine (1991). Guidelines for exercise testing and prescription. Lea & Febiger, Philadelphia.

American College of Sports Medicine. (1995). Guidelines for Graded Exercise Testing and Exercise Prescription. Lea & Febiger, Philadelphia.

American College of Sports Medicine (1998). Exercise and physical activity for older adults. Med. Sci. Sports Exerc., 30(6): 992-1008.

Anderson, O. (1994). To optimise your performance, train "à la Véronique". Running Res., 10: 1-4.

Anderson, O. (1998). Lactate lift-off. SSS Publishing Inc. Lansing, Michigan.

Anderson, T. (1996). Biomechanics and running economy. Sports Med. 22 (2): 76-89.

Anderson, T.; Tesh, W. (1994). Running economy, anthropometric dimensions and kinematic variables. Med. Sci. Sports Exerc., 26 (5supl): S 170.

Argentieri, M.P.; Ennis, P.; Piper, L. (1988). Deflection velocities in heart rate and end-tidal oxygen graphs during incremental exercise on a windload trainer. In: E.R. Burke; M.M. Newsom (eds.): Medical and scientific aspects of cycling. Human Kinetics, Champaign, Illinois.

- Ariens, G.A.; van Mechelen, W.; Kemper, H.C.; Twisk, J.W. (1997). The longitudinal development of running economy in males and females aged between 13 and 27 years: the Amsterdam Growth and Health Study. Eur. J. Appl. Physiol., 76(3): 214-220.
- Aro, T.A.; Kelly, J.M.; Street, G.M.: Can the lactate steady state be determined by the heart rate-running velocity relationship? Med. Sci. Sports Exerc., 21: S5.
- Ascensão, A.; Santos, P.J. (2000). Determinação do estado de equilíbrio máximo de lactato sanguíneo em jovens corredores do sexo masculino. Rev. Port. Med. Desportiva, 18: 59-66.
- Åstrand, P.O. (1952). Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Ejnar Munksgaard, Copenhagen.
- Åstrand, P.O.; Ryhming, I. (1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. J. Appl. Physiology., 64: 304-308.
- Åstrand, P.O.; Rodahl, K. (1970). Textbook of work physiology. McGraw-Hill Book Co. New York.
- Åstrand, P.O. (1973). Physiology of exercise and physical conditioning in normals. Schweiz Med. Wochenschr., 103(2): 41-45.
- Åstrand, P.O.; Rodahl, K. (1987). Textbook of work physiology. Physiological bases of exercise. McGraw-Hill, New York.
- Aunola, S.; Rusko, H. (1984). Reproducibility of aerobic and anaerobic thresholds in 20-50 year old men. Eur. J. Appl. Physiol., 53(3): 260-266.
- Aunola, S.; Rusko, H. (1992). Does anaerobic threshold correlate with maximal lactate steady-state? J. Sports Sci., 10(4): 309-323.
- Bale, P.; Rowell, S.; Colley, E. (1985). Anthropometric and training characteristics of female marathon runners as determinants of distance running performance. J. Sports Sci., 3(2):115-26.
- Bale, P.; Bradbury, D.; Colley, E. (1986). Anthropometric and training variables related to 10km running performance. Br. J. Sports Med., 20(4):170-173.

Bailey, D.M.; Davies, B.; Romer, L.; Castell, L.; Newsholme, E.; Gandy, G. (1998). Implications of moderate altitude training for sea-level endurance in elite distance runners. Eur. J. Appl. Physiol., 78(4): 360-368.

Bailey, S.; Pate, R. (1991). Feasibility of improving running economy. Sports Med., 12: 228-236.

Bailey, S.P.; Messier, S.P. (1991). Variations in stride length and running economy in male novice runners subsequent to a seven-week training program. Int. J. Sports Med. 12 (3): 299-304.

Baldari, C.; Guidetti, L. (2000). A simple method for individual anaerobic threshold as predictor of max lactate steady state. Med. Sci. Sports Exerc., 32(10): 1798-1802.

Balke, B.; Ware, R.; (1959). An experimental study of Air Force personnel. S.S. Armed Forces Medical Journal, 10: 675-678.

Bale, P.; Bradbury, D.; Colley, E. (1986). Anthropometric and training variables related to 10 km running performance. Br. J. Sports Med., 20(4): 170-173.

Balke, B. (1963). A simple field test for the assessment of physical fitness. Civil Aeromedical Research Institute Report., 63(6): 1-8.

Balke, B.; Nagle, F.J.; Daniels, J. (1965). Altitude and maximum performance in work and sports activity. JAMA, 194(6): 646-649.

Ballarin, E.; Borsetto, C.; Cellini, M.; Patracchini, M.; Vitiello, P.; Ziglio, P.G.; Conconi, F. (1989). Adaptation of the "Conconi test" to children and adolescents. Int. J. Sports Med., 10(5): 334-338.

Ballarin, E.; Sudhues, U.; Borsetto, C.; Casoni, I.; Grazzi, G.; Guglielmini, C.; Manfredini, F.; Mazzoni, G.; Conconi, F. (1996). Reproducibility of the Conconi test: test repeatability and observer variations. Int. J. Sports Med., 17(7): 520-524.

Bangsbo, J. (1993). The Physiology of Soccer with special reference to intense intermittent exercise. August Krogh Institute, University of Copenhagen, Denmark.

Bangsbo, J. (1996). Physiological factors associated with efficiency in high intensity exercise. Sports Med., 22(5): 299-305.

Bangsbo, J. (2000). Muscle oxygen uptake in humans at onset of and during intense exercise. Acta Physiol. Scand., 168(4): 457-464.

- Banister, E.W.; Calvert, T.W.; Savage, M.V.; Bach, T.M. (1975). A systems model of training for athletic performance. Aust. J. Sports Med., 7: 57-61.
- Banister, E.W.; Calvert, T.W. (1980). Planning for future performance: implications for long term training. Can. J. Appl. Sport Sci., 5(3):170-176.
- Banister E.W.; Hamilton C.L.(1985). Variations in iron status with fatigue modelled from training in female distance runners. Eur. J. Appl. Physiol., 54(1):16-23.
- Banister, E.W.; Good, P.; Holman, G.; Hamilton, C.L. (1986). Modeling the training response in athletes. In: D.M. Landers (ed.), Sport and elite performers. The 1984 Olympic Scientific Congress Proceedings, Vol. 3. pp. 7-23., Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- Banister, E.W. (1991). Modeling elite athletic performance. In: J.C. MacDougall; H.A. Wenger, H.J.Green (eds.), Physiological and Testing of High Performance Athlete. pp. 103-129. Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- Baraldi, E.; Zanconato, S.; Santuz, P.A.; Zacchello, F. (1989). A comparison of two non invasive methods in the determination of the anaerobic threshold in children. Int. J. Sports Med., 10: 132-134.
- Bassett, D.R.; Howley, E.T. (1997). Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints. Med. Sci. Sports Exerc., 29(5): 591-603.
- Bassett, D.R.; Howley, E.T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. Med. Sci. Sports Exerc., 32(1): 70-84.
- Beaver, W.L.; Wasserman, K.; Whipp, B.J. (1985). Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. J. Appl. Physiol., 9(6): 1936-1940.
- Beaver, W.L.; Wasserman, K.; Whipp, B.J. (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. J. Appl. Physiol., 60(6): 2020-2027.
- Belman, M.J.; Gaesser, G.A. (1991). Exercise training below and above the lactate threshold in the elderly. Med. Sci. Sports Exerc., 23: 562-568.
- Beneke, R.; Hofmann, C.; Straub, N.; Hartwig, K.; Hofmann, K.; Behn, C. (1993). Maximal lactate steady state depends on sports discipline. Med. Sci. Sports Exec., 25: S66.

Beneke, R.; Boldt, F.; Richter, T.; Kress, A.; Leithauser, R.; Behn, C. (1994). Lactate measurement in sports medicine: comparison of three devices. Dtsch. Z. Sportmed., 45: 60-64.

Beneke, R.; Hutler, M.; Leithauser, R.M. (2000). Maximal lactate-steady-state independent of performance. Med. Sci. Sports Exerc., 32(6): 1135-1139.

Beneke, R.; Leithauser, R.M.; Hutler, M. (2001). Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. Br. J. Sports Med., 35(3): 192-196.

Benson, H.; Frankel, F.H.; Apfel, R.; Daniels, M.D.; Schniewind, H.E.; Nemiah, J.C.; Sifneos, P.E.; Crassweller, K.D.; Greenwood, M.M.; Kotch, J.B.; Arns, P.A.; Rosner, B. (1978). Treatment of anxiety: a comparison of the usefulness of self-hypnosis and a meditational relaxation technique. An overview. Psychother. Psychosom., 30(3-4): 229-242.

Bergh, U.; Ekblom, B.; Astrand, P.O. (2000). Maximal oxygen uptake "classical" versus "contemporary" viewpoints. Med. Sci. Sports Exerc., 32(1):85-88.

Bergh, U.; Sjodin, B.; Forsberg, A.; Svedenhag, J. (1991). The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. Med. Sci. Sports Exerc., 23(2): 205-211.

Berglund, B. (1992). High-altitude training. Aspects of haematological adaptation. Sports Med., 14(5): 289-303.

Berthoin, S.; Gerbeaux, M.; Turpin, E.; Guerrin, F.; Lensele-Corbeil, G.; Vandendorpe, F. (1994). Comparison of two field tests to estimate maximum aerobic speed. J. Sports Sci., 12(4): 355-362.

Berthoin, S.; Manteca, F.; Gerbeaux, M.; Lensele-Corbeil, G. (1995). Effect of a 12-week training programme on Maximal Aerobic Speed (MAS) and running time to exhaustion at 100% of MAS for students aged 14 to 17 years. J. Sports Med. Phys. Fitness, 35(4): 251-256.

Berthoin, S.; Pelayo, P.; Lensele-Corbeil, G.; Robin, H.; Gerbeaux, M. (1996). Comparison of maximal aerobic speed as assessed with laboratory and field measurements in moderately trained subjects. Int. J. Sports Med., 17(7): 525-529.

Berthoin, S.; Baquet, G.; Rabita, J.; Blondel, N.; Lensele-Corbeil, G.; Gerbeaux, M. (1999). Validity of the University of Montreal Track Test to assess the velocity

- associated with peak oxygen uptake for adolescents. J. Sports Med. Phys. Fitness, 39(2): 107-112.
- Berthon, P.; Fellmann, N.; Bedu, M.; Beaune, B.; Dabonneville, M.; Coudert, J.; Chamoux, A. (1997). A 5-min running field test as a measurement of maximal aerobic velocity. Eur. J. Appl. Physiol., 75(3): 233-238.
- Bhattacharya, A.; McCutcheon, E.P.; Shvartz, E.; Greenleaf, J.E. (1980). Body acceleration distribution and O₂ uptake in humans during running and jumping. J. Appl. Physiol., 49(5): 881-887.
- Billat, V. (1991). Course de fond et performance. Editions Chiron, Paris.
- Billat, V.; Bernard, O.; Pinoteau, J.; Petit, B.; Koralsztein, J.P. (1994a). Time to exhaustion at VO₂max and lactate steady state velocity in sub elite long-distance runners. Arch. Int. Physiol. Biochim. Biophys., 102(3): 215-219.
- Billat, V. J.C.; Renoux, J.; Pinoteau, B.; Petit, JP.; Koralsztein. (1994b). Validation d'une épreuve maximale de temps limite à VMA (vitesse maximale aérobie) et à VO₂max. Science & Sports. 9: 145-153.
- Billat, V.; Renoux, J.C.; Pinoteau, J.; Petit, B.; Koralsztein, J.P. (1994c). Reproducibility of running time to exhaustion at VO₂max in subelite runners. Med. Sci. Sports Exerc., 26(2): 254-257.
- Billat, V.; Renoux, J.C.; Pinoteau, J.; Petit, B.; Koralsztein, J.P. (1994d). Times to exhaustion at 100% of velocity at VO₂max and modelling of the time-limit/velocity relationship in elite long-distance runners. Eur. J. Appl. Physiol., 69(3): 271-273.
- Billat, V.; Dalmay, F.; Antonini, M.T.; Chassain, A.P. (1994e). A method for determining the maximal steady state of blood lactate concentration from two levels of submaximal exercise. Eur. J. Appl. Physiol., 69: 196-202.
- Billat, V. (1995). Les repères de la charge d'entraînement utilisés par les entraîneurs français et de demi-fond dans le contexte general de leur action et de leur metodologie de l'entraînement (1^{ère} partie). AEFA, 138: 27-33.
- Billat, V.; Renoux, J.C.; Pinoteau, J.; Petit, B.; Koralsztein, J.P. (1995). Times to exhaustion at 90, 100 and 105% of velocity at VO₂max (maximal aerobic speed) and critical speed in elite long-distance runners. Arch. Physiol. Biochem., 103(2): 129-135.
- Billat, V. (1996). Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. Sports Med., 22(3): 157-175.

- Billat, V.; Koralsztein, J.P. (1996). Significance of the velocity at VO₂max and time to exhaustion at this velocity. Sports Med., 22(2): 90-108.
- Billat, V.; Beillot, J.; Jan, J.; Rochcongar, P.; Carre, F. (1996). Gender effect on the relationship of time limit at 100% VO₂max with other bioenergetic characteristics. Med. Sci. Sports Exerc., 28(8): 1049-1055.
- Billat, V. (1998). Physiologie et Methodologie de L'Entrainement, de la Theorie à la Pratique. De Boeck Université, Paris.
- Billat, V.; Bouquet, V. (1999). Analyse bionergétique du nouveau record du monde féminin de marathon. Science & Sports 14:180-82.
- Billat, V.; Flechet, B.; Petit, B.; Muriaux, G.; Koralsztein, J.P. (1999). Interval training at VO₂max: effects on aerobic performance and overtraining markers. Med. Sci. Sports Exerc., 31(1): 156-163.
- Billat, V.; Demarle, A.; Slawinski, J.; Paiva, M.; Koralsztein, JP. (2001). Physical and training characteristics of top-class marathon runners. Med. Sci. Sports Exerc., 33(12): 2089-2097.
- Billat, V. (2001). Interval training for *performance*: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part II: anaerobic interval training. Sports Med., 31(2):75-90.
- Bishop, P.A.; May, M.; Smith, J.F.; Kime, J.; Mayo, J.; Murphy, M. (1992). Influence of blood handling techniques on lactic acid concentrations. Int. J. Sports Med., 13(1): 56-59.
- Black, W. (1982). Training for 400 m. Track Thecnique. 102: 3243-3245.
- Blumenthal, J.A.; Babyak, M.A.; Moore, K.A.; Craighead, W.E.; Herman, S.; Khatri, P.; Waugh, R.; Napolitano, M.A.; Forman, L.M.; Appelbaum, M.; Doraiswamy, P.M.; Krishnan, K.R. (1999). Effects of exercise training on older patients with major depression. Arch. Intern. Med. 25; 159(19): 2349-2356.
- Blumenthal, J.A.; Williams, R.S.; Williams, R.B. Jr.; Wallace, A.G. (1980). Effects of exercise on the Type A (coronary prone) behavior pattern. Psychosom. Med. 42(2): 289-296.
- Bodner, M.E.; Rhodes, E.C.; Langill, R.H. (1999). Heart rate threshold: relationship to steady state cycling at ventilatory threshold in trained cyclists [abstract]. Med. Sci. Sports Exerc., 31 (Suppl): 1561.

- Bodner, M.E.; Rhodes, E.C. (2000). A review of the concept of the heart rate deflection point. Sports Med., 30(1): 31-46.
- Boileau, R.A.; Mayhew, J.L.; Riner, W.F.; Lussier, L. (1982). Physiological characteristics of elite middle and long distance runners. Can. J. Appl. Sport Sci., 7(3):167-172.
- Borsetto, C.; Ballarin, E.; Casoni, I.; Cellini, M.; Vitiello, P.; Conconi, F. (1989). A field test for determining the speed obtained through anaerobic glycolysis in runners. Int. J. Sports Med., 10(5): 339-345.
- Bosco, C. (1982). Stretch-shortening cycle in skeletal muscle function with special reference to elastic energy and potentiation of myoelectrical activity. Studies in Sport, Physical Education and Health, 15, University of Jyväskylä, Finland.
- Bosco, C.; Montanari, G.; Ribacchi, R. et al. (1987). Relationship between the efficiency of muscular work during jumping and the energetics of running. Eur. J. Appl. Physiol., 56: 138-143.
- Bosco, C.; Tarkka, I.; Komi, P.V. (1982). Effect of elastic energy and myoelectric potentiation of triceps surae during stretch-shortening cycle exercise. Int. J. Sports Med. 3: 137-140.
- Bouchard, C.; Malina, R.M. (1983). Genetics for the sport scientist: selected methodological considerations. Exerc. Sport. Sci. Rev., 11: 275-305.
- Bouchard, C. (1986). Genetics of aerobic power and capacity. In: R. Malina; C. Bouchard (eds). Sport and human genetics, pp. 59-88. Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- Bouchard, C. (1988). Gene-environment interaction in human adaptability. In: R.B. Malina and H.M. Echert (eds), The Academy Papers, pp. 56-66. Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- Bouchard, C. (1992). Genetics determinants of endurance performance. In: R. Shephard, P-O. Åstrand (eds). Endurance in Sport. Encyclopaedia of sports medicine, Vol. II, pp. 146-162, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Bourdin, M.; Pastene, J.; Germain, M.; Lacour, J.R. (1993). Influence of training, sex, age and body mass on the energy cost of running. Eur. J. Appl. Physiol., 66(5): 439-444.

Bourdon, P. (2000). Blood lactate transition thresholds: concepts and controversies. In: Gore C.J. (ed) Physiological tests for elite athletes, pp. 50-65. Human Kinetics, Champaign, Illinois.

Bourgois, J.; Vrijens, J. (1998). The Conconi test: a controversial concept for the determination of the anaerobic threshold in young rowers. Int. J. Sports Med., 19(8): 553-559.

Brandon, L.J. (1995). Physiological factors associated with middle distance running performance. Sports Med., 19(4): 268-277.

Brikci, A.; Dekkar, N. (1987). Course à pied. Caractéristiques morfo-fonctionnelles et pronostic. Medicine du Sport, 61: 194-199.

Brikci, A.; Dekkar, N. (1989). Validité de la course de 5 minutes pour l'estimation de VO₂max chez le coureur à pied. Science et Motricité, 8: 31-37.

Brisswalter, J.; Legros, P. (1994a). Daily stability in energy cost of running, respiratory parameters and stride rate among well-trained middle distance runners. Int. J. Sports Med., 15(5): 238-241.

Brisswalter, J.; Legros, P. (1994b). Variability in energy cost of running during one training season in high level runners. J. Sports Med. Phys Fitness., 34(2): 135-140.

Brisswalter, J.; Legros, P.; Durand, M. (1996). Running economy, preferred step length correlated to body dimensions in elite middle distance runners. J. Sports Med. Phys. Fitness, 36(1):7-15.

Brisswalter, J.; Fougeron, B.; Legros, P. (1998). Variability in energy cost and walking gait during race walking in competitive race walkers. Med. Sci. Sports Exerc., 30(9): 1451-1455.

Brooke, J.D.; Hamley, E.J.; Thomason, H. (1968). The relationship of heart-rate to physical work. J. Physiol., 197: 61-3P.

Brooke, M.H.; Kaiser, K.K. (1970a). Muscle fiber types: how many and what kind? Arch.Neurol. (Chicago), 23: 369-379.

Brooke, M.H.; Kaiser, K.K. (1970b). Three myosin ATPase systems: the nature of their pH liability and sulphhydryl dependence. J. Histochem. Cytochem., 18: 670-672.

- Brooks, G.A.; Fahey, T.D.; White, T. (1996). Exercise physiology. Mayfield Publishing Company, Palo Alto, California.
- Brooks, G.A.; Fahey, T.D.; White, T. (1996). Exercise Physiology: Human Bioenergetics and its Applications. Macmillan Publishing, New York.
- Brouha, L.; Graybiel, A.; Health, C.W. (1943). The step test: a simple method of measuring physical fitness and for hard muscular work in adult man. Revue Canadienne de Biologie, 2: 86-92.
- Bruce, R.A.; Kusumi, F.; Hosmer, D. (1973). Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. Am. Heart J., 85(4): 546-562.
- Brue, F. (1985). Une variante du test progressif et maximal de Léger et Boucher. Le teste de VMA derriere cycliste. Coloque à Toulouse médico-technique de la FFA, 25-30.
- Brue, F.; Montmeyer, A. (1988a). Interêt de la relation vitesse-lactatemie dans les testes de course progressifs et maximaux. Fédération Française d'Athletisme. Coloque Médico-Thecnique National, 38-48.
- Brue, F.; Montmeyer, A. (1988b). Les testes de terrain d'aptitude aérobie. Fédération Française d'Athletisme. Coloque Médico-Thecnique National, 200-205.
- Bruce, J.C.; Atchou, G.; Capelli, C.; Duvallet, A.; Barrault, D.; Jouselin, E.; Rieu, M.; di Prampero, P.E.(1991). The energy cost of running increases with the distance covered. Eur. J. Appl. Physiol., 62(6): 385-389.
- Buchfuhrer, M.J.; Hansen, J.E.; Robinson, T.E.; Sue, D.Y.; Wasserman, K.; Whipp, B.J. (1983). Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. J. Appl. Physiol., 55(5): 1558-1564.
- Bunc, V.; Heller, J.; Nowak, J.; Leso, J. (1982). Determination of the individual anaerobic threshold. Proceedings of XXIInd World Congress on Sports Med. Vienna 1982.
- Bunc, V.; Heller, J. (1989). Energy cost of running in similarly trained men and women. Eur. J. Appl. Physiol., 59(3): 178-183.
- Bunc, V.; Heller, J. (1991). Ventilatory threshold and work efficiency on a bicycle and paddling ergometer in top canoeists. J. Sports Med. Phys. Fitness., 31(3): 376-379.

- Bunc, V.; Heller, J. (1993). Ventilatory threshold in young and adult female athletes. J. Sports Med. Phys. Fitness, 33(3): 233-238.
- Bunc, V.; Heller, J. (1994). Energy cost of running in young and adult female athletes. Ergonomics, 37(1): 167-174.
- Bunc, V.; Hofmann, P.; Leitner, H.; Gaisl, G. (1995). Verification of the heart rate threshold. Eur. J. Appl. Physiol., 70(3): 263-269.
- Burkett, L.N.; Kohrt, W.M.; Buchbinder, R. (1985). Effects of shoes and foot orthotics on VO₂ and selected frontal plane knee kinematics. Med. Sci. Sports Exerc., 17(1): 158-163.
- Bushman, B.A.; Flynn, M.G.; Andres, F.F.; Lambert, C.P.; Taylor, M.S.; Braun, W.A. (1997). Effect of 4 wk of deep water run training on running performance. Med. Sci. Sports Exerc., 29(5): 694-699.
- Buskirk, E.R.; Kollias, J.; Akers, R.F.; Prokop, E.K.; Reategui, E.P. (1967). Maximal performance at altitude and on return from altitude in conditioned runners. J. Appl. Physiol., 23(2): 259-266.
- Busso, T.; Carasso, C.; Lacour, J.R. (1991). Adequacy of a systems structure in the modeling of training effects on performance. J. Appl. Physiol., 71(5): 2044-2049.
- Busso, T.; Candau, R.; Lacour, J.R. (1994). Fatigue and fitness modelled from the effects of training on performance. Eur. J. Appl. Physiol., 69(1): 50-54.
- Cadarette, B.S.; Hoffman, J.W.; Caudill, M. (1982). Effects of the relaxation response on selected cardiorespiratory responses during physical exercise [Abstract]. Med. Sci. Sports, 14: 117.
- Cade, R.; Packer, D.; Zauner, C.; Kaufmann, D.; Peterson, J.; Mars, D.; Privette, M.; Hommen, N.; Fregly, M.J.; Rogers, J. (1992). Marathon running: physiological and chemical changes accompanying late-race functional deterioration. Eur. J. Appl. Physiol., 65(6): 485-491.
- Caiozzo, V.J.; Davis, J.A.; Ellis, J.F.; Azus, J.L.; Vandagriff, R.; Prietto, C.A.; McMaster, W.C. (1982). A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. J. Appl. Physiol., 53(5): 1184-1189.

Caird, S.J.; McKenzie, A.D.; Sleivert, G.G. (1999). Biofeedback and relaxation techniques improves running economy in sub-elite long distance runners. Med. Sci. Sports Exerc. 31(5): 717-722.

Calvert, T.W.; Banister, E.W.; Savage, M.V.; Bach, T.A. (1976). Systems model of the effects of training on physical performance. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. SMC – 6: 94-102.

Cameron, E.A.; Howald, H. (1989). Conconi test for swimmers: a new way to evaluate performance capacity and to plan training. Thesis. Research Institute of the Swiss School for Physical Education and Sports, CH - 2532 Magglingen, Switzerland.

Campbell, M.J.(1985). Predicting running speed from a simple questionnaire. Br. J. Sports Med., 19(3):142-4.

Camus, G. (1992). Relationship between record time and maximal oxygen consumption in middle distance running. Eur. J. Appl. Physiol., 64: 534-537.

Camus, G.; Juchmes, J.; Thys, H. et al. (1988). Relation entre le temps limite et la consommation maximale d'oxygene dans la course supramaximale. J. Physiol., (Paris) 83: 26-31.

Capelli, C. (1999). Physiological determinants of best performances in human locomotion. Eur. J. Appl. Physiol., 80: 298-307.

Cappozzo, A. (1983a). Force actions in the human trunk during running. J. Sports Med. Phys. Fitness, 23(1): 14-22.

Cappozzo, A. (1983b). The forces and couples in the human trunk during level walking. J. Biomech., 16(4): 265-277.

Carroll, D.; McGovern, M. (1983). Cardiac, respiratory and metabolic changes during static exercise and voluntary heart rate acceleration. Biol. Psychol., 17(2-3): 121-130.

Carter, H.; Jones, A.M.; Doust, J.H. (1999). Effect of 6 weeks of endurance training on the lactate minimum speed. J. Sports Sci., 17(12): 957-967.

Casaburi, R.; Storer, T.W.; Sullivan C.S.; Wasserman, K. (1995). Evaluation of blood lactate elevation as an intensity criterion for exercise training. Med. Sci. Sports Exerc., 27(6): 852-862.

Catlin, M.E.; Dressendorfer, R.H. (1979). Effect of shoe weight on the energy cost of running.[abstract] Med. Sci. Sport, 11: 80.

Cavagna, G.A.; Saibene, F.B. ; Margaria, R. (1964). Mechanical work in running. J. Appl. Physiol., 19: 249-256.

Cavanagh, P.R.; Pollock, M.J.; Landa, J. (1977). A biomechanical comparison of elite and good distance runners. Ann. N.Y. Acad. Sci., 301: 328-345.

Cavanagh, P.R.; Williams, K.R. (1982). The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. Med. Sci. Sports Exerc., 14(1): 30-35.

Cavanagh, P.R.; Kram, R. (1985). An approach to biomechanical profiling of elite distance runners. Int. J. Sports Med., 1: 36-62.

Cavanagh, P.R.; Kram, R. (1989). Stride length in distance running: velocity, body dimensions and added mass effects. In: Cavanagh P.R (ed.) Biomechanics of distance running, pp. 35-63. Human Kinetics, Champaign, Illinois.

Cellini, M.; Vitiello, P.; Nagliati, A; Ziglio, P.G.; Martinelli, S.; Ballarin, E.; Conconi, F. (1986). Noninvasive determination of the anaerobic threshold in swimming. Int. J. Sports Med., 7(6): 347-351.

Chapman, R.F.; Stray-Gundersen, J.; Levine, B.D. (1998). Individual variation in response to altitude training. J. Appl. Physiol., 85(4): 1448-1456.

Chassain, A.P. (1986). Méthodes d'appréciation objective de la tolérance de l'organisme à l'effort: application à la mesure des puissances critiques de la fréquence cardiaque et de la lactémie. Science et Sport, 1: 41-48.

Chicharro, J.L.; Arce, J.C. (1991). Umbral anaeróbico. Bases fisiológicas y aplicaciones. Interamericana. McGraw-Hill, Madrid.

Chwalbinska-Moneta, J.; Hanninen, O. (1989). Effect of active warming-up on thermoregulatory, circulatory and metabolic responses to incremental exercise in endurance trained athletes. Int. J. Sports Med., 10: 25-29.

Clement, D.; Taunton, J.; Wiley, J.P. (1984). The effects of corrective orthotics on oxygen uptake during running. Proceedings of the world congress of sport medicine. Vienna 1984.

Clough, M.; Martin, D.T.; Pyne, D.; Kearns, A.; Lee, H.; Ryan, R.; Ashenden, M.; Hahn, A. (1997). Interpretation of accusport blood lactate results. How do they compare with YSI 2300. Stat values? Australian Conference in Science and

Medicine in Sport. Sports Med. Australia, Bruce, ACT 2616 Australia, pp 82-83 [Abstract].

Coen, B.; Urhausen, A.; Kindermann, W. (1988). Value of the Conconi test for determination of the anaerobic threshold. Int. J. Sports Med., 9: 372 [Abstract].

Coen, B.; Schwarz, L.; Urhausen, A.; Kindermann, W. (1991). Control of training in middle- and long-distance running by means of the individual anaerobic threshold. Int J Sports Med., 12(6): 519-524.

Coleman, C.E.; Rumball, W.M. (1973). The fatigue coefficient. Track Technol., 53: 1694-1695.

Conconi, F.; Ballarin, E.; Borsetto, C.; Cellini, M.; Casoni, I.; Vitiello, P. Use of the heart rate deflection point to assess the anaerobic threshold. Letter to the editor . J. Apply Physiol., 64: 1758-1760.

Conconi, F.; Ferrari, M.; Ziglio, P.G.; Droghetti, P.; Codeca, L. (1980). Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field in man. Boll. Soc. Ital. Biol. Sper., 56(23): 2504-2510.

Conconi, F.; Ferrari, M.; Ziglio, P.G.; Droghetti, P.; Codeca, L. (1982). Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. J. Appl. Physiol., 52(4): 869-873.

Conconi, F.; Grazi, G.; Casoni, I.; Guglielmini, C.; Borsetto, C.; Ballarin, E.; Mazzoni, G.; Patracchini, M.; Manfredini, F. (1996). The Conconi test: methodology after 12 years of application. Int. J. Sports Med., 17(7): 509-519.

Conley, D.L.; Krahenbuhl, G.S. (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. Med. Sci. Sports Exerc., 12(5): 357-360.

Conley, D.L.; Krahenbuhl, G.S.; Burkett, L.N. (1981). Training for aerobic capacity and running economy. Phys. Sports Med., 9: 107-115.

Conley, D.; Krahenbuhl, G.; Burket, L.; Millar, A. (1984). Following Steve Scott: physiological changes accompanying training. Physician Sportmed., 12: 103-106.

Convertino, V.A. (1991). Blood volume: its adaptation to endurance training. Med. Sci. Sports Exerc., 23(12): 1338-1348.

Cook, S.D.; Kester, M.A.; Brunet, M.E. (1985a). Shock absorption characteristics of running shoes. Am. J. Sports Med., 13(4): 248-253.

- Cook, S.D.; Kester, M.A.; Brunet, M.E.; Haddad, R.J. Jr. (1985b). Biomechanics of running shoe performance. Clin. Sports Med., 4(4): 619-626.
- Cooper, K.H. (1968). A means of assessing maximal oxygen intake. Journal of the American Medical Association, 203: 135-138.
- Costill, D.L.; Fox, E.L. (1969). Energetics of marathon running. Med. Sci. Sports. Exerc., 1: 81-86.
- Costill, D.L.; Branam, G.; Eddy, D.; Sparks, K. (1971). Determinants of marathon running success. Internationale Zeitschrift für Angewandte Physiologie Einschliesslich Arbeitsphysiologie, 29: 249-254.
- Costill, D.L.; Thomason, H.; Roberts, E. (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. Med. Sci. Sports. Exerc., 5(4): 248-252.
- Costill, D.L. (1986). Inside running: basics of sports physiology. Benchmark Press, Indianapolis.
- Costill, D.L.; Fink, W.J.; Flynn, M.; Kirwan, J. (1987). Muscle fiber composition and enzyme activities in elite female distance runners. Int. J. Sports Med., (8 Suppl), 2: 103-106.
- Costill, D.L.; Flynn, M.G.; Kirwan, J.P.; Houmard, J.A.; Mitchell, J.B.; Thomas, R.; Park, S.H. (1988) Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. Med. Sci. Sports Exerc., 20(3):249-54.
- Coudert, J.; Van Praagh, E. (2000). Endurance exercise training in the elderly: effects on cardiovascular function. Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care, 3(6): 479-483.
- Cox, M.H. (1991). Exercise training programs and cardiorespiratory adaptation in N. DiNubile (ed.) Clinics in Sport Medicine, The Exercise Prescription, pp. 19-32. WB Saunders Company, Philadelphia.
- Coyle, E.F.; Martin, W.H.; Ehsani, A.A.; Hagberg, J.M.; Bloomfield, S.A.; Sinacore, D.R.; Holloszy, J.O. (1983). Blood lactate threshold in some well-trained ischemic heart disease patients. J. Appl. Physiol., 54: 18-23.
- Coyle, E.F.; Martin, W.H. 3d, Sinacore, D.R.; Joyner, M.J.; Hagberg, J.M.; Holloszy, J.O. (1984). Time course of loss of adaptations after stopping prolonged intense endurance training. J. Appl. Physiol., 57(6): 1857-1864.

Coyle, E.F.; Coggan, A.R.; Hopper, M.K.; Walters, T.J. (1988). Determinants of endurance in well-trained cyclists. J. Appl. Physiol., 64: 2622-2630.

Coyle, E.F.; Feltner, M.E.; Kautz, S.A.; Hamilton, M.T.; Montain, S.J.; Baylor, A.M.; Abraham, L.D.; Petrek, G.W. (1991). Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. Med. Sci. Sports Exerc., 23: 93-107.

Coyle, E.F.; Sidossis, L.S.; Horowitz, J.F.; Beltz, J.D. (1992). Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. Med. Sci. Sports Exerc., 24(7): 782-788.

Craib, M.W.; Mitchell, V.A.; Fields, K.B.; Cooper, T.R.; Hopewell, R.; Morgan, D.W. (1996). The association between flexibility and running economy in sub-elite male distance runners. Med. Sci. Sports Exerc., 28(6): 737-743.

Craig, I.S.; Morgan, D.W. (1998). Relationship between 800-m running performance and accumulated oxygen deficit in middle-distance runners. Med. Sci. Sports Exerc., 30(11): 1631-1636.

Crews, D.J. (1992). Psychological state and running economy. Med. Sci. Sports Exerc., 24(4): 475-482.

Crews, D.J.; Landers, D.M. (1987). A meta-analytic review of aerobic fitness and reactivity to psychosocial stressors. Med. Sci. Sports Exerc., 19(5 Suppl): S114-120.

Cunningham, D.A.; Paterson, D.H.; Blimkie, C.J.; Donner, A.P. (1984). Development of cardiorespiratory function in circumpubertal boys: a longitudinal study. J. Appl. Physiol., 56(2): 302-307.

Cunningham, L.N. (1990). Relationship of running economy, ventilatory threshold, and maximal oxygen consumption to running performance in high school females. Res. Q. Exerc. Sport., 61: 369-374.

Cureton, K.J.; Sparling, P.B.; Evans, B.W.; Johnson, S.M.; Kong, U.D.; Purvis, J.W. (1978). Effect of experimental alterations in excess weight on aerobic capacity and distance running performance. Med. Sci. Sports. 10(3): 194-199.

Cureton, K.J.; Sloniger, M.A.; Black, D.M.; McCormack, W.P.; Rowe, D.A. (1997). Metabolic determinants of the age-related improvement in one-mile run/walk performance in youth. Med. Sci. Sports Exerc., 29(2): 259-267.

Currie, A.; Potts, S.G.; Donovan, W.; Blackwood, D. (1999). Illness behaviour in elite middle and long distance runners. Br. J. Sports Med., 33(1): 19-21.

Daniels, J.; Oldridge, N. (1970). The effects of alternate exposure to altitude and sea level on world-class middle-distance runners. Med. Sci. Sports. 2(3): 107-112.

Daniels, J.T. (1974). Running with Jim Ryun: A five year study. The Physician and Sportsmedicine. Vol.2, McGraw-Hill, Inc.

Daniels, J.; Krahenbuhl, G.; Foster, C.; Gilbert, J.; Daniels, S. (1977). Aerobic responses of female distance runners to submaximal and maximal exercise. In: P. Milvy (ed.), Marathon: physiological, medical, epidemiological and psychological studies, New York, New York Academy of Sciences, 1977, Part 8, pp. 726-733. Conference on the Marathon: Physiological, Medical, Epidemiological, and Psychological Studies, New York Academy of Sciences, 1976.

Daniels, J.; Yarbrough, R.; Foster, C. (1978a). Changes in VO_2 max and running performance with training. Eur J Appl Physiol., 39: 249-254.

Daniels, J.; Fitts, R.; Sheehan, G. (1978b). Training for distance running, the scientific aspects. John Willey & Sons, New York.

Daniels, J.; Oldridge, N.; Nagle, F.; White, F. (1978c). Differences and changes in VO_2 among young runners 10 to 18 years of age. Med. Science Sports, 10(3): 200-203.

Daniels, J.; Gilbert, J. (1979). Oxygen Power: Performance Tables for Distance Runners. Tempe, AZ; Oxygen Power, POB 26287.

Daniels, J.; Scardina, N.; Hayes, J.; Foley, P. (1984). Elite and subelite female middle and long distance runners. In: D.M. Landers (ed.) Sport and Elite Performers, pp. 57-72. Human Kinetics, Champaign, Illinois.

Daniels, J. (1985). A physiologist's view of running economy. Med. Sci. Sports Exerc., 17(3): 332-338.

Daniels, J.; Daniels, N. (1992). Running economy of elite male and female runners. Med.Sci.Sports Exerc., 24(4): 483-489.

Daniels, J. (1993). World's best peaking program. Runners World, 28(6): 42-46.

- Daniels, J. (1995). Training Distance Runners. Track and Field Coaches Review. 95 (2): 29-33.
- Daniels, J. (1998). Daniel's Running Formula. Human Kinetics. Champaign, Illinois.
- Davies, C.T.M.; Thompson, M.W. (1979). Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. Eur. J. Appl. Physiol., 41: 233-245.
- Davies, C.T.M. (1980). Effects of wind assistance and resistance of the forward motion of a runner. J. Appl. Physiol., 48(4): 702-709.
- Davies, C.T.M.; Thompson, M.W. (1986). Physiological responses to prolonged exercise in ultramarathon athletes. J. Appl. Physiol., 61: 611-617.
- Davies, M.J.; Dalsky, G.P. (1997). Economy of mobility in older adults. J. Orthop Sports Phys. Ther., 26(2): 69-72.
- Davis, H.A.; Bassett, J.; Hughes, P.; Gass, G.C. (1983). Anaerobic threshold and lactate turnpoint. Eur. J. Appl. Physiol., 50(3): 383-392.
- Davis, J.A.; Vodak, P.; Wilmore, J.H.; Vodak, J.; Kurtz, P. (1976). Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. J. Appl. Physiol., 41(4): 544-550.
- Davis, J.A.; Frank, M.H.; Whipp, B.J.; Wasserman, K. (1979). Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. J. Appl. Physiol., 46: 1039-1046.
- Davis, J.A.; Caiozzo, V.J.; Lamarra, N.; Ellis, J.F.; Vandagriff, R.; Prietto, C.A.; McMaster, W.C. (1983). Does the gas exchange anaerobic threshold occur at a fixed blood lactate concentration of 2 or 4 mM? Int. J. Sports Med., 4(2): 89-93.
- Davis, J.A. (1995). Direct determination of Aerobic Power. In: P.J. Maud; C. Foster, (eds.), Physiological assessment of human fitness. Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- Davis, M.A.; Williams, P.E.; Cherrington, A.D. (1995). Effect of glucagon on hepatic lactate metabolism in the conscious dog. Am. J. Physiol. 248: E463-E470.
- de Wit, M.J.; der Weduwe, C.J.; Wolfhagen, P.J.; Hollander, A.P. (1997). Validity of peak oxygen uptake calculations from heart rate deflection points. Int. J. Sports Med., 18(3): 201-207.

Deason, J.; Powers, S.K.; Lawler, J.; Ayers, D.; Stuart, M.K. (1991). Physiological correlates to 800m running performance. J. Sports Med. Phys. Fitness, 31: 499-504.

DeJaeger, D.; Willems, P.A.; Heglund, N.C. (2001). The energy cost of walking in children. Pflugers Arch., 441(4): 538-543.

deMar, C. (1937) DeMar Life Story. The New England Press of Shelburne, Vermont.

De Maere, J.M.; Ruby, B.C. (1997). Effects of deep water and treadmill running on oxygen uptake and energy expenditure in seasonally trained cross country runners. J. Sports Med. Phys. Fitness, 37(3): 175-181.

Dempsey, J.A.; Hanson, P.G.; Henderson, K.S. (1984). Exercise-induced arterial hypoxaemia in healthy human subjects at sea level. J. Physiol., 355: 161-175.

Denis, C., Foquet, R., Poty, P., Geysant, A., Lacour, J.R. (1982) Effect of 40 weeks of endurance training on the anaerobic threshold. Int. J. Sports Med., 4(3) 208-214.

Desnus, B.; Fraisse, F.; Handschuh, R.; Jousselin, E.; Legros, P. (1990). Exploration du métabolisme énergétique chez le sportif de haut niveau. Collection Médecine et Sport, INSEP-Publications, Paris.

Desplanches, D.; Hoppeler, H.; Linossier, M.T.; Denis, C.; Claassen, H.; Dormois, D.; Lacour, J.R.; Geysant, A. (1993). Effects of training in normoxia and normobaric hypoxia on human muscle ultrastructure. Pflugers Arch., 425(3-4): 263-7.

di Prampero, P.E. (1985). Metabolic and circulatory limitations to VO_2 max at the whole animal level. J. Exp. Biol., 115: 319-31.

di Prampero, P.E. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. Int. J. Sports Med., 7: 55-72.

di Prampero, P.E.; Atchou, G.; Bruckner, J.C. (1986). The energetics of endurance running. Eur. J. Appl. Physiol., 55(3): 259-266.

di Prampero, P.E. (1989). Energetics of world records in human locomotion. In: K. Wieser ; L. Gaigner (eds.), pp. 248-253. Energy transformations in cells and organisms. Wieser et Gnaiger Elsevier, Amsterdam.

- di Prampero, P.E.; Ferretti, G. (1990). Factors limiting maximal oxygen consumption in humans. Respir. Physiol., 80(2-3): 113-127.
- di Prampero, P.E. (1992). An analysis of the factors limiting maximal oxygen consumption in healthy subjects. Chest, 101, (5 Suppl): 188S-191S.
- di Prampero, P.E. (1999). A brief comment on the factors limiting maximal oxygen consumption in humans. Eur. J. Appl. Physiol. 80(5): 516-517.
- Dick, F.W. (1992). Training at altitude in practice. Int. J. Sports Med. (13 Suppl) 1: S203-6.
- Dickstein, K.; Barvik, S.; Aarstrand, T.; Snapinn, S.; Millerhagen, J. (1990). Validation of a computerized technique for detection of the gas exchange anaerobic threshold in cardiac disease. Am. J. Cardiol., 66(19): 1363-1367.
- Dill, D.B. (1971). Maximal oxygen uptake at sea level and at 3090 m altitude in high school champion runners. J. Appl. Physiol., 30(6): 854-859.
- Dillman, C.J. (1975). Kinematic analysis of running. Exerc. Sport Sci. Rev., 3: 193-218.
- Donovan, C.M.; Pagliassotti, M.J. (1989). Endurance training enhances lactate clearance during hyperlactatemia. Am. J. Physiol., 257(5 Pt 1): E782-9.
- Donovan, C.M.; Pagliassotti, M.J. (1990). Enhanced efficiency of lactate removal after endurance training. J. Appl. Physiol., 68(3): 1053-1058.
- Donovan, C.M.; Pagliassotti, M.J. (2000). Quantitative assessment of pathways for lactate disposal in skeletal muscle fiber types. Med. Sci. Sports Exerc., 32(4): 772-777.
- Dotan, R.; Bar-Or, O. (1983). Load optimization for the Wingate Anaerobic Test. Eur. J. Appl. Physiol., 51(3): 409-417.
- Dotan, R.; Rotstein, A.; Dlin, R.; Inbar, O.; Kofman, H.; Kaplansky, Y. (1983). Relationships of marathon running to physiological, anthropometric and training indices. Eur. J. Appl. Physiol., 51: 281-293.
- Dressendorfer, R.H. (1991). Acute reduction in maximal oxygen uptake after long-distance running. Int. J. Sports Med., 12(1): 30-33
- Droghetti, P.; Borsetto, C.; Casoni, I.; Cellini, M.; Ferrari, M.; Paolini, A.R.; Ziglio, P.G.; Conconi, F. (1985). Noninvasive determination of the anaerobic threshold in

canoeing, cross-country skiing, cycling, roller, and ice-skating, rowing, and walking. Eur. J. Appl. Physiol., 53(4): 299-303.

Duggan, A.; Tebbutt, S.D. (1990). Blood lactate at 12 km.h⁻¹ and vOBLA as predictors of run performance in non-endurance athletes. Int. J. Sports Med., 11: 111-115.

Ebelling, C.B.; Ward, A.; Puleo, E.M.; Widrick, J.; Rippe, J.M. (1991). Development of a single stage submaximal treadmill walking test. Med. Sci. Sport Exerc., 23: 966-973.

Eckardt, K.U.; Boutellier, U.; Kurtz, A.; Schopen, M.; Koller, E.A.; Bauer, C. (1989). Rate of erythropoietin formation in humans in response to acute hypobaric hypoxia. J. Appl. Physiol., 66(4): 1785-1788.

Edgerton, V.R.; Saltin, B.; Essen, B.; Simpson, D.R. (1975). Glycogen depletion in specific types of human skeletal fibres in intermittent and continuous exercise. In: H. Howald, J. Poortmans (eds.), Metabolic Adaptations to prolonged physical exercise. Birhauser Verlag. Basel. Switzerland.

Eklom, B. (1986). Factors determining maximal aerobic power. Acta Physiologica Scandinavica., 128: 15-19.

Elleby, B.; Knudsen, L.F.; Brown, B.H.; Crofts, C.E.; Woods, M.J.; Trowbridge, E.A. (1990). Electrical impedance assessment of muscle changes following exercise. Clin. Phys. Physiol. Meas., 11(2): 159-166.

Emonson, D.L.; Aminuddin, A.H.; Wight, R.L.; Scroop, G.C.; Gore, C.J. (1997). Training-induced increases in sea level VO₂max and endurance are not enhanced by acute hypobaric exposure. Eur. J. Appl. Physiol., 76(1): 8-12.

Ennis, P. (1985). Do-it-yourself test Conconi. Velo-news: A journal of bicycle racing, 14: 6-7.

Ettema, J.H. (1966). Limits of human performance and energy-production. Int. Z. Angew Physiol. Einschl Arbeitsphysiol., 22: 45-54.

Evans, S.L.; Davy, K.P.; Stevenson, E.T.; Seals, D.R. (1995). Physiological determinants of 10 km performance in highly trained female runners of different ages. Appl. Physiol., 78(5): 1931-1941.

Eyestone, E.D.; Fellingham, G.; George, J.; Fisher, A.G. (1993). Effect of water running and cycling on maximum oxygen consumption and 2-mile run performance. Am. J. Sports Med. 21(1): 41-44.

Faraggiana, D. (1991). Evaluation of the state of efficiency of marathon runners. New Studies in Athletics, 6(4): 71-100.

Farrel, P.A.; Wilmore, J.H.; Coyle, E.F.; Billing, J.E.; Costill, D.L. (1979). Plasma lactate accumulation and distance running performance. Med. Sci. Sports, 11(4): 338-344.

Farrell, S.W.; Ivy, J.L. (1987). Lactate acidosis and the increase in V_e/V_{O_2} during incremental exercise. J. Appl. Physiol. 62(4): 1551-1555.

Farrell, P.A.; Wilmore, J.H.; Coyle, E.F.; Billing, J.E.; Costill, D.L. (1993). Plasma lactate accumulation and distance running performance 1979. Med. Sci. Sports Exerc. 25(10): 1091-1097; discussion 1089-1090.

Faulkner, J.A.; Daniels, J.T.; Balke, B.(1967). Effects of training at moderate altitude on physical performance capacity. J. Appl. Physiol., 23(1): 85-89.

Faulkner, J.A.; Kollias, J.; Favour, C.B.; Buskirk, E.R.; Balke, B. (1968). Maximum aerobic capacity and running performance at altitude. J. Appl. Physiol., 24(5): 685-691.

Fay, L.; Londeree, B.R.; LaFontaine, T.P.; Volek, M.R. (1989). Physiological parameters related to distance running performance in female athletes. Med. Sci. Sports Exerc., 21(3): 319-324.

Ferretti, G.; di Prampero, P.E. (1995). Factors limiting maximal O_2 consumption: effects of acute changes in ventilation. Respir. Physiol., 99(2): 259-271.

Fillingham, R.B.; File, M.A. (1986). The effects of internal versus external information processing on symptom perception in an exercise setting. Health Psychol., 5: 115-123.

Fink, W.J.; Costil, D.L.; Pollock, M.L. (1992). Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners. Part II. Muscle fiber composition and enzyme activities. Annals of New York Academy of Sciences. 301: 323-327.

Fitz-Clarke, J.R.; Morton, R.H.; Banister, E.W. (1991). Optimizing athletic performance by influence curves. J. Appl. Physiol., 71(3): 1151-1158.

Fleg, J.; LaKatla, E.; (1988). Role of muscle loss in the age-associated reduction in VO_{2max} . J. Appl. Physiol., 65: 1147-1151.

- Fleg, J.L.; O'Connor, F.; Gerstenblith, G.; Becker, L.C.; Clulow, J.; Schulman, S.P.; Lakatta, E.G. (1995). Impact of age on the cardiovascular response to dynamic upright exercise in healthy men and women. J. Appl. Physiol., 78(3): 890-900.
- Fletcher, W.M.; Hopkins, F.G. (1907). Lactic acid in amphibian muscle. J. Physiol. (London), 35: 247-309.
- Flynn, M.G.; Carroll, K.K.; Hall, H.L.; Bushman, B.A.; Brolinson, P.G.; Weideman, C.A. (1998). Cross training: indices of training stress and performance. Med. Sci. Sports Exerc., 30(2): 294-300.
- Fohrenbach, R.; Mader, A.; Hollmann, W. (1987). Determination of endurance capacity and prediction of exercise intensities for training and competition in marathon runners. Int. J. Sports Med., 8(1): 11-18
- Foster, C.; Daniels, J.T.; Yarbrough, R.A. (1977). Physiological and training correlates of marathon running performance. Aust. J. Sports Med., 9: 58-61.
- Foster, C.; Hector, L.L.; Welsh, R.; Schragar, M.; Green, M.A.; Snyder, A.C. (1995a). Effects of specific versus cross-training on running performance. Eur. J. Appl. Physiol., 70(4): 367-372.
- Foster, C.; Crowe, M.P.; Holum, D.; Sandvig, S.; Schragar, M.; Snyder, A.C.; Zajakowski, S. (1995b). The bloodless lactate profile. Med. Sci. Sports Exerc., 27: 927-933.
- Foxdal, P.; Sjodin, A.; Ostman, B.; Sjodin, B. (1991). The effect of different blood sampling sites and analyses on the relationship between exercise intensity and 4 mmol.l⁻¹ blood lactate concentration. Eur. J. Appl. Physiol., 63(1): 52-54.
- Foxdal, P.; Sjodin, A.; Sjodin, B. (1996). Comparison of blood lactate concentrations obtained during incremental and constant intensity exercise. Int. J. Sports Med., 17(5): 360-365.
- Franch, J.; Madsen, K.; Djurhuus, M.S.; Pedersen, P.K. (1998). Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. Med. Sci. Sports Exerc., 30(8): 1250-1256.
- Francis, A.W. (1943). Running records. Science, 93: 315-316.
- Francis, K. (1989). Anaerobic Threshhold. Comput. Biol. Med., 19: 1-6.
- Frangolias, D.D.; Rhodes, E.C. (1996). Metabolic responses and mechanisms during water immersion running and exercise. Sports Med., 22(1): 38-53.

- Franklin, B.A.; Fletcher, G.F.; Gordon, Noakes. T.D.; Ades, P.A.; Balady, G.J. (1997). Cardiovascular evaluation of the athlete. Sports Med., 2(2): 97-119.
- Frederick, E.C. (1977). A statistical model of endurance in running. Can. J. Appl. Sport Sci., 2: 127-132.
- Frederick, E.C.; Clarke, T.E.; Larsen, J.L.; Cooper, L.B. (1983). The effect of shoe cushioning on the oxygen demands of running. In: B. Biggs; B. Kerr (eds.), Biomechanical aspects of sport shoes and playing surfaces, pp. 107-114. University of Calgary Printing Press, Calgary, Alberta.
- Frederick, E.C. (1985). Synthesis, experimentation, and the biomechanics of economical movement. Med. Sci. Sports Exerc., 17(1): 44-47.
- Frederick, E.C. (1986). Kinematically mediated effects of sport shoe design: a review. J. Sports Sci., 4(3): 169-184
- Frederick, W.S.F. (1959). Physiological aspects of human fatigue. Arch. Industr. Hlth., 20: 297-302.
- Fredrikson, M.; Engel, B.T. (1985). Learned control of heart rate during exercise in patients with borderline hypertension. Eur. J. Appl. Physiol., 54(3): 315-320.
- Friden, J.; Sjostrom, M.; Ekblom, B. (1984). Muscle fibre type characteristics in endurance trained and untrained individuals. Eur. J. Appl. Physiol., 52(3): 266-271.
- Fulco, C.S.; Rock, P.B.; Cymerman, A. (2000). Improving athletic performance: is altitude residence or altitude training helpful? Aviat. Space Environ Med., 71(2): 162-171.
- Gadoury, C.; Leger, L. (1986). Validité de l'épreuve de course navette de 20 mètres avec paliers de 1 minute et du physistest canadien pour prédire le VO₂max des adultes. Sciences et Thecniques des Activités Physiques et Sportives, 7: 57-68.
- Gaesser, G.; Brooks, G. (1984). Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. Med. Scisports Exerc., 16: 29-43.
- Gaesser, G.A.; Poole, D.C. (1986). Lactate and ventilatory thresholds: disparity in time course of adaptations to training. J. Appl. Physiol., 61(3): 999-1004.

- Gaesser, G.A.; Poole, D.C. (1988). Blood lactate during exercise: time course of training adaptation in humans. Int. J. Sports Med., 9(4):284-288.
- Gaisl, G.; Wiesspeiner, G. (1987). A noninvasive method of determining the anaerobic threshold in children. Int. J. Sports Med., 8: 41-44.
- Gehring, M.M.; Keller, B.A.; Brehm, B.A. (1997). Water running with and without a flotation vest in competitive and recreational runners. Med. Sci. Sports Exerc., 29(10): 1374-1378.
- Gigliotti, L. (1991). Marathon training - Gelindo Bordin's programme. New Studies in Athletics, 6(4): 71-100.
- Glance, B.W.; McHugh, M.P.; Gleim, G.W. (1998). Effects of a 2-hour run on metabolic economy and lower extremity strength in men and women. J. Orthop. Sports Phys. Ther., 27(3): 189-196.
- Gleim, G.W.; McHugh, M.P. (1997). Flexibility and its effects on sports injury and performance. Sports Med., 24(5): 289-299.
- Gleim, G.W.; Stachenfeld, N.S.; Nicholas, J.A. (1990). The influence of flexibility on the economy of walking and jogging. J. Orthop. Res., 8(6): 814-823.
- Gleser, M.A.; Vogel, J.A. (1973). Endurance capacity for prolonged exercise on the bicycle ergometer. J. Appl. Physiol., 34: 438-442.
- Glimov, A; Kulakov V. (1992). The anaerobic threshold in marathon training. Modern Athlete and Coach. 30(2): 3-7.
- Glover, B.; Shepherd, J. (1977). The runner's handbook. Penguin. Harmondsworth.
- Golding, L.A.; Meyers, C.R.; Sinning, W.E. (1989). Y's way to physical fitness: the complete guide to fitness testing and instruction (3d ed.). Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- Gollnick, P.D. (1985). Metabolism of substrates: energy substrate metabolism during exercise and as modified by training. Fed. Proc., 44: 353-356.
- Gonin, B. (1985). Course à pied de 100 km. Étude des répercussions physique, bilogique et électrocardiographique. Détermination d'une réponse diététique à cet effort. Médecine du Sport, 59(5): 271-277.

- Gonyea, W.J., Sale D.G, Gonyea F.B, Mikesky A. (1986). Exercise induced increases in muscle fibre number: Eur. J. Appl. Physiol., 55: 137-141.
- Gore, C.J.; Hahn, A.G.; Watson, D.B. et al. (1995). VO₂max and arterial O₂ saturation at sea level and 610m. Med. Sci. Sports Exerc., 27: (Suppl) S7.
- Gorostiaga, E.M.; Walter, C.B.; Foster, C.; Hickson, R.C. (1991). Uniqueness of interval and continuous training at the same maintained exercise intensity. Eur. J. Appl. Physiol., 63(2): 101-107.
- Grant, S.; Craig, I.; Wilson, J.; Aitchison, T. (1997). The relationship between 3 km running performance and selected physiological variables. J. Sports Sci., 15(4):403-410.
- Grazzi, G.; Alfieri, N.; Borsetto, C.; Casoni, I.; Manfredini, F.; Mazzoni, G.; Conconi, F. (1999). The power output/heart rate relationship in cycling: test standardization and repeatability. Med. Sci. Sports Exerc., 31(10): 1478-1483.
- Green, H.J. (1986). Muscle power: fiber type, recruitment, metabolism and fatigigue. In: N.L. Jones; N. McCartney; A.J. McComas; M.B Macmaster (eds.), Human Muscle Power. Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- Green, H.J.; Hughson, R.L.; Orr, G.W.; Ranney, D.A. (1983). Anaerobic threshold, blood lactate, and muscle metabolites in progressive exercise. J. Appl. Physiol., 54(4): 1032-1038.
- Green, H.J.; Sutton, J.R.; Coates, G.; Ali, M.; Jones, S. (1991). Response of red cell and plasma volume to prolonged training in humans. J. Appl. Physiol., 70(4): 1810-1815.
- Grosse-Lordemann, H.; Muller, E.A. (1937). Der einfluss der leistung und der arbeitgeschwindigkeit auf das arbeitsmaximum und den wirkungsgrad beim radfahren. Arbeitsphysiol., 9: 454-475.
- Grover, R.F.; Reeves, J.T. (1966). Exercise performance of athletes at sea level and 3100 meters altitude. Med. Thorac., 23(3): 129-143.
- Grover, R.F.; Weil, J.V.; Reeves, J.T. (1986). Cardiovascular adaptation to exercise at high altitude. Exerc. Sport Sci. Rev., 14: 269-302.
- Guezennec, C.Y.; Vallier, J.M.; Bigard, A.X.; Durey, A. (1996). Increase in energy cost of running at the end of a triathlon. Eur. J. Appl. Physiol., 73(5): 440-445.

- Hagan, R.D.; Smith, M.G.; Gettman, L.R. (1981). Marathon performance in relation to maximal aerobic power and training indices. Med. Sci. Sports Exerc., 13(3): 185-189.
- Hagan, R.D.; Upton, S.J.; Duncan, J.J.; Gettman, L.R. (1987). Marathon performance in relation to maximal aerobic power and training indices in female distance runners. Br. J. Sports Med., 21(1): 3-7.
- Hagberg, J.M.; Coyle, E.F. (1983). Physiological determinants of endurance performance as studied in competitive racewalkers. Med. Sci. Sports Exerc., 15: 287-289.
- Hagberg, J.M. (1987). Effect of training on the decline of VO_2 max with aging. Fed. Proc., 46: 1830-1833.
- Hagberg, J.M.; Graves, J.; Limacher, M.; Woods, D.; Leggett, S.; Cononie, J.; Gruber, J.; Pollock, M. (1989). Cardiovascular responses of 70 to 79 years old men and women to exercise training. J. Appl. Physiol., 66: 2589-2594.
- Hagberg, J.M.; King, D.S.; Rogers, M.A.; Montain, S.J.; Jilka, S.M.; Kohrt, W.M.; Heller, S.L. (1990). Exercise and recovery ventilatory and VO_2 responses of patients with McArdle's disease. J. Appl. Physiol., 68(4): 1393-1398.
- Hagerman, F.C. (1992). Energy metabolism and fuel utilization. Med. Sci. Sports Exerc., 24(9 Suppl): S309-14.
- Hagerman, F.C.; Walsh, S.J.; Staron, R.S.; Hikida, R.S.; Gilders, R.M.; Murray, T.F.; Toma, K.; Ragg, K.E. (2000). Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. I - Strength, cardiovascular, and metabolic responses. J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci., 55(7): B336-346.
- Hansen, J.E.; Vogel, J.A.; Stelter, G.P.; Consolazio, C.F. (1967). Oxygen uptake in man during exhaustive work at sea level and high altitude. J. Appl. Physiol., 23(4): 511-522.
- Hardy, C.J.; McMurray, R.G.; Robert, S. (1989). A/B types and psychosocial responses to exercise stress. J. Sports Exerc. Psychol., 11: 141-151.
- Harnish, C.R.; Swensen, T.C.; Pate, R.R. (2001). Methods for estimating the maximal lactate steady state in trained cyclists. Med. Sci. Sports Exerc., 33(6): 1052-1055.

- Harrison, J.R.; Dawson, B.T.; Lawrence, S.; Blansky, B.A. (1992). Non-invasive and invasive determinations of the individual anaerobic threshold in competitive swimmers. J. Swimming Res., 8: 11-17.
- Hartmann, U.; Nunner, B.; Korber, C.; Rau, G. (1991). Where should the cooling rate be determined in an extended freezing sample? Cryobiology, 28(2):115-130.
- Hartung, G.H.; Squires, W.G. (1982). Physiological measures and marathon running performance in young and middle-aged males. Int. J. Sports Med., 22: 366-370.
- Haskell, W. (1994). Health consequences of physical activity: understanding and changes regarding dose-response. Med. Sci Sports Exerc., 26: 649-660.
- Hassmen, P.; Ceci, R.; Backman, L. (1992). Exercise for older women: a training method and its influences on physical and cognitive performance. Eur. J. Appl. Physiol., 64: 460-466.
- Hauswirth, C.; Bigard, A.X.; Berthelot, M.; Thomaidis, M.; Guezennec, C.Y. (1996). Variability in energy cost of running at the end of a triathlon and a marathon. Int. J. Sports Med., 17(8): 572-579.
- Hauswirth, C.; Bigard, A. X.; Guezennec, C.Y. (1997). Relationships between running mechanics and energy cost of running at the end of a triathlon and a marathon. Int. J. Sports Med., 18(5): 330-339.
- Hauswirth, C.; Lehenaff, D. (2001) Physiological demands of running during long distance runs and triathlons. Sports Med., 31(9):679-689.
- Hawley, J.A.; Stepto, N.K. (2001). Adaptations to training in endurance cyclists: implications for performance. Sports Med., 31(7):511-20.
- Heath, G.; Hagberg, A.; Eshani, A.; Holloszy, J. (1981). A physiological comparison of young and old endurance athletes. J.Appl. Physiol., 51: 634-640.
- Heck, H.; Mader, A.; Hess, G.; Mücke, S.; Müller, R.; Hollmann, W. (1985). Justification of the 4mmol/l lactate threshold. Int. J. Sports Med., 6: 117-130.
- Heck, H.; Beckers, K.; Lammerschmidt, W.; Pruin, E.; Hess, G.; Hollmann, W. (1989). Identification, objectivity and validity of Conconi threshold by cycle stress test. Dtsch. Ztschr. Sportmed., 40(1): 388-402.
- Heck, H. (1990). Laktat in der Leistungsdiagnostik. Schorndorf: Hofmann.

Heglund, N.C.; Fedak, M.A.; Taylor, C.R.; Cavagna, G.A. (1982). Energetics and mechanics of terrestrial locomotion. IV. Total mechanical energy changes as a function of speed and body size in birds and mammals. J. Exp. Biol., 97: 57-66.

Heinert, L.D.; Serfass, R.C.; Stull, G.A. (1988). Effect of stride length variation on oxygen uptake during level and positive grade treadmill running. Res. Q. Exerc. Sport, 59: 127-130.

Heise, G.D.; Martin, P.E. (2001). Are variations in running economy in humans associated with ground reaction force characteristics? Eur. J. Appl. Physiol., 84(5): 438-442.

Heitkamp, H.C.; Holdt, M.; Scheib, K. (1991). The reproducibility of the 4 mmol/l lactate threshold in trained and untrained women. Int. J. Sports Med., 12(4): 363-368.

Helgerud, J.; Ingjer, F.; Stromme, SB. (1990). Sex differences in performance-matched marathon runners. Eur J Appl Physiol., 61(5-6): 433-439.

Helgerud, J. (1994). Maximal oxygen uptake, anaerobic threshold and running economy in women and men with similar performances level in marathons. Eur J Appl Physiol., 68(2): 155-161.

Henritze, J.; Weltman, A.; Schurrer, R.L.; Barlow, K. (1985). Effects of training at and above the lactate threshold on the lactate threshold and maximal oxygen uptake. Eur. J. Appl. Physiol., 54(1): 84-88.

Henry, F.M.; Farmer, D.S. (1949). Condition ratings and endurance measures. Res. Q., 20: 126-133.

Henry, F.M. (1954). Time-velocity equations and oxygen requirements of "all-out" and "steady-state" running. Res Q., 25: 164-177.

Herren, D.; Charriere, I.; Howald, H. (1987). Conconi Test und anaerobe Schwelle. Schweiz Z. Sportmed., 35: 107-111.

Hersey, W.C.; Graves, J.E.; Pollock, M.L.; Gingerich, R.; Shireman, R.B.; Heath, G.W.; Spierto, F.; McCole, S.D.; Hagberg, J.M. (1994). Endurance exercise training improves body composition and plasma insulin responses in 70- to 79-year-old men and women. Metabolism, 43(7): 847-54.

Hewson, D.J.; Hopkins, W.G. (1996). Specificity of training and its relation to the performance of distance runners. Int J Sports Med., 17(3):199-204.

- Hickson, R.C.; Hagberg, J.M.; Ehsani, A.A.; Holloszy, J.O. (1981). Time course of the adaptive responses of aerobic power and heart rate to training. Med. Sci. Sports Exerc., 13(1): 17-20.
- Hickson, R.C.; Rosenkoetter, M.A. (1981). Reduced training frequencies and maintenance of increased aerobic power. Med. Sci. Sports Exerc., 13(1): 13-16.
- Hickson, R.C.; Kanakis, C.; Davis, J.R.; Moore, A.M.; Rich, S. (1982). Reduced training duration effects on aerobic power, endurance, and cardiac growth. J. Appl. Physiol., 53(1): 225-229.
- Hickson, R.C.; Foster, C.; Pollock, M.L.; Galassi, T.M.; Rich, S. (1985). Reduced training intensities and loss of aerobic power, endurance, and cardiac growth. J. Appl. Physiol., 58(2): 492-499.
- Hill, A.V.; Lupton, H. (1923). Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen. Q. J. Med., 16: 135-171.
- Hill, A.V.; Long, N.H.; Lupton, H. (1924). Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen: parts VII-VIII. Proc. Roy. Soc. B., 97: 155-176.
- Hill, A.V. (1927). Muscular movement in man. McGraw-Hill, New York.
- Hill, D.W.; Rowell, A.L. (1996). Running velocity at VO_2 max. Med. Sci. Sports Exerc., 28 (1), 114-119.
- Hill, D.W.; Rowell, A.L. (1997). Responses to exercise at the velocity associated with VO_2 max. Med. Sci. Sports Exerc., 29(1):113-116.
- Hill, D.W.; Ferguson, C.S. (1999). A physiological description of critical velocity. Eur. J. Appl. Physiol., 79(3): 290-293.
- Hill, D.W.; Smith, J.C. (1999). Determination of critical power by pulmonary gas exchange. Can. J. Appl. Physiol., 24(1): 74-86.
- Hinrichs, R.N. (1987). Upper extremity function in running. II: Angular momentum considerations. Int. J. Sports Biomech., 16: 265-277.
- Hirvonen, J.; Nummela, A.; Rusko, H.; Rehnunen, S.; Harkonen, M. (1992). Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. Can. J. Sport Sci., 17(2): 141-144.

Hoff, J.; Helgerud, J.; Wisloff, U. (1999). Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. Med. Sci. Sports Exerc., 31(6): 870-877.

Hofmann, P.; Pokan, R.; Preidler, K.; Leitner, H.; Szolar, D.; Eber, B.; Schwabberger, G. (1994). Relationship between heart rate threshold, lactate turn point and myocardial function. Int. J. Sports Med., 15(5): 232-237.

Hofmann, P.; Pokan, R.; Schmid, P.; Zweiker, R.; Schwabberger, G.; Preidler, W.; Leitner, H.; Eber, B.; Fruhwald, F. (1996). Load dependent myocardial function and heart rate performance curve in healthy young and older male subjects. Int. J. Sports Med., 17: 13 [Abstract].

Hofmann, P.; Pokan, R.; von Duvillard, S.P.; Schmid, P. (1997a). The Conconi test. Int. J. Sports Med., 18(5): 397-399.

Hofmann, P.; Pokan, R.; von Duvillard, S.P.; Seibert, F.J.; Zweiker, R.; Schmid, P. (1997b). Heart rate performance curve during incremental cycle ergometer exercise in healthy young male subjects. Med. Sci. Sports Exerc., 29(6): 762-768.

Hollmann, W. (1961). Zur Frage der Dauerleistungsfähigkeit. Fortschr. Med., 25: 439-453.

Hollmann, W.; Liesen, H.; Mader, A.; Heck, H.; Rost, R.; Dufaux, B.; Schürch, P.; Lagerström, D.; Föhrenbach, R. (1981). Zur höchst- und dauerleistungsfähigkeit der deutschen fußball-spitzenspieler. Deutsch. Zschr. Sportmed., 52: 113-120.

Holly, R.G. (1993). Fundamentals of cardiorespiratory exercise testing. In: Resource manual for guidelines for exercise testing and prescription, pp. 247-257. American College of Sports Medicine.

Holt, K.G.; Hammil, J.; Andres, R.O. (1990). The force-driven harmonic oscillator as a model for human locomotion. Hum. Mov. Sci., 9: 55-68.

Hoppeler, H. (1986). Exercise-induced ultrastructure changes in skeletal muscle. Int. J. Sports Med., 7: 187-204.

Houmard, J.A.; Kirwan, J.P.; Flynn, M.G.; Mitchell, J.B. (1989). Effects of reduced training on submaximal and maximal running responses. Int. J. Sports Med., 10(1): 30-33.

Houmard, J.A.; Craib, M.W.; O'Brien, K.F.; Smith, L.L.; Israel, R.G.; Wheeler, W.S. (1991). Peak running velocity, submaximal energy expenditure, VO_2 max and 8 km distance running performance. J. Sports Med. Phys. Fitness, 31: 345-350.

- Houmard, J.A.; Hortobagyi, T.; Johns, R.A.; Bruno, N.J.; Nute, C.C.; Shinebarger, M.H.; Welborn, J.W. (1992). Effect of short-term training cessation on performance measures in distance runners. Int. J. Sports Med., 13(8): 572-576.
- Houmard, J.A.; Johns, R.A. (1994). Effects of taper on swim performance. Practical implications. Sports Med., 17(4): 224-232.
- Houmard, J.A.; Scott, B.K.; Justice, C.L.; Chenier, T.C. (1994). The effects of taper on performance in distance runners. Med. Sci. Sports Exerc., 26(5): 624-631.
- Howald, H. (1986). Methodes de mesures indirectes: la zone de transition aerobie-anaerobie. VI^{eme} seminaire de bioenergetique, Paris 20-21.
- Hubley, C.L.; Kozey, J.W.; Stanish, W.D. (1984). The effects of static exercises and stationary cycling on range of motion at the hip joint. J. Orthop. Sports Physiol. Ther., 6: 104-109.
- Hughson, R.L.; Green, H.J. (1982). Blood acid-base and lactate relationships studied by ramp work tests. Med. Sci. Sports Exerc., 14: 297-302.
- Hughson, R.L.; Weisiger, K.H.; Swanson, G.D. (1987). Blood lactate concentration increases as a continuous function in progressive exercise. J. Appl. Physiol., 62: 1975-1981.
- Hurley, B.F.; Hagberg, J.M.; Allen, W.K.; Seals, D.R.; Young, J.C.; Ciddihee, R.W.; Holloszy, J.O. (1984). Effect of training on blood lactate levels during submaximal exercise. J. Appl. Physiol: Respir. Environ. Exec. Physiol., 56: 1260-1264.
- Issekutz, B.; Shaw, W.A.S.; Issekutz, A.C. (1976). Lactate metabolism in resting and exercise dogs. J. Appl. Physiol., 40: 312-319.
- Ivy, J.L.; Withers, R.T.; van Handel, P.J.; Elger, D.H.; Costill, D.L. (1980). Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. J. Appl. Physiol., 48(3): 523-527.
- Jackson, C.G.; Sharkey, B.J. (1988). Altitude, training and human performance. Sports Med., 6(5): 279-284.
- Jacobs, I. (1986). Blood lactate. Implications for training and sports performance. Sports Med., 3: 10-25.
- Jacobs, S.J.; Berson, B.L.; (1986). Injuries to runners: a study of entrants to a 10000 meter race. Am. J. Sports Med., 14(2): 151-155.

Jakob, E.; Berlis, G.; Huber, G.; Glittenberg, K.; Keul, J. (1987). Determining the anaerobic threshold by means of the Conconi Test in laboratory and field experiments. Int. J. Sports Med., 8: 133.

Janeira, MA. (1994). Funcionalidade e estrutura de exigências em basquetebol. Um estudo univariado e multivariado em atletas seniores de alto nível. Dissertação de doutoramento (não publicada). Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto.

Jensen, K.; Johansen, L.; Karkkainen, O.P. (1999). Economy in track runners and orienteers during path and terrain running. J. Sports Sci., 17(12): 945-950.

Jensen, K.; Nielsen, T.S.; Fiskestrand, A.; Lund, J.O.; Christensen, N.J.; Secher, N.H. (1993). High-altitude training does not increase maximal oxygen uptake or work capacity at sea level in rowers. Scandinavian Journal of Medicine Science and Sports, 3: 56-62.

Jervell, O. (1929). Investigation on the concentration of lactic acid in blood and urine. Acta Medica Scandinavica (Suppl.) 24.

Jessup, J.V.; Lowenthal, D.T.; Pollock, M.L.; Turner, T. (1998). The effects of endurance exercise training on ambulatory blood pressure in normotensive older adults. Geriatr. Nephrol. Urol. 8(2): 103-109.

Jeukendrup, A.E.; Hesselink, M.K.; Kuipers, H.; Keizer, H.A. (1997). The Conconi test. Int. J. Sports Med., 18(5): 393-396.

Jones, N.L.; Ehrsour, R.E. (1982). The anaerobic threshold. Exerc and Sports Sci Rev., 10: 49-53.

Jones, B.H.; Toner, M.M.; Daniels, W.L.; Knapik, J.J. (1984). The energy cost and heart-rate response of trained and untrained subjects walking and running in shoes and boots. Ergonomics, 27(8): 895-902.

Jones, B.H.; Knapik, J.J.; Daniels, W.L.; Toner, M.M. (1986). The energy cost of women walking and running in shoes and boots. Ergonomics, 29(3): 439-443.

Jones, A.M.; Doust, J.H. (1997). The Conconi test is not valid for estimation of the lactate turnpoint in runners. J. Sports Sci., 15(4): 385-394.

Jones, A.M. (1998). A five year physiological case study of an Olympic runner. Br. J. Sports Med., 32(1): 39-43.

Jones, AM.; Doust, JH. (1998). The validity of the lactate minimum test for determination of the maximal lactate steady state. Med. Sci. Sports Exerc., 30(8): 1304-1313.

Jones, A.M.; Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. Sports Med., 29(6): 373-386.

Jooste, P.L.; van der Linde, A.; Shapiro, C.H.; Strydom, N.B. (1981) Metabolism of ultra-long-distance running. In: Poortmans, J; Niset, T. (eds.) Biochemistry of exercise IV-A. University Park Press, Baltimore.

Jorfeldt, L. (1970). Metabolism of L(+)-lactate in human skeletal muscle during exercise. Acta Physiol. Scand., [Suppl] 338.

Jousselin, E.; Handschuh, R.; Barrauly, D.; Rieu, M. (1984). Maximal aerobic power of french top level competitors. J. Sports Med., 24, 175-182.

Jousselin, E.; Desnus, B.; Fraisse, F.; Handschuh, R.; Legros, P.; Sradly, M.; Thomaidis M, (1990). La consommation maximale d'oxygène des équipes nationales françaises de 1979 à 1988 (sportifs plus de 20 ans). Science et Sport., 5, 39-45.

Joyner, M.J. (1991). Modeling: optimal marathon performance on the basis of physiological factors. J. Appl. Physiol., 70(2): 683-687.

Joyner, M.J. (1993). Physiological limiting factors and distance running: influence of gender and age on record performances. In: J.O. Holloszy (ed.), pp. 103-134. Exercise and sports sciences reviews (21), Williams and Wilkins, Baltimore.

Kalis, J.K.; Freund, B.J.; Joyner, M.J.; Jilka, S.M.; Nittolo, J.; Wilmore, J.H. (1988). Effect of beta-blockade on the drift in O₂ consumption during prolonged exercise. J. Appl. Physiol., 64(2): 753-758.

Kaneko, M. (1990). Mechanics and energetics in running with special reference to efficiency. J. Biomech., (23 Suppl.) 1: 57-63.

Kaneko, M.; Matsumotto, M.; Ito, A.; Fuchimoto, T. (1987). Optimum step frequency in constant speed running. In: B. Jonsson (ed), Biomechanics X-B. pp. 803-807. Human Kinetics, Champaign, Illinois.

Katch, V.; Weltman, A.; Sady, S.; Freedson, P. (1978). Validity of the relative percent concept for equating training intensity. Eur. J. Appl. Physiol., 39: 219-227.

- Keefer, D.J.; Tseh, W.; Caputo, J.L.; Craig, I.S.; Martin, P.E.; Morgan, D.W. (2000). Stability of running economy in young children. Int. J. Sports. Med., 21(8): 583-585.
- Keith, S.P.; Jacobs, I.; McLellan, T.M. (1992). Adaptations to training at the individual anaerobic threshold. Eur. J. Appl. Physiol., 65(4): 316-323.
- Keller, J.B. (1973). A theory of competitive running. Physics Today., 26: 42-47.
- Keller, T.S.; Weisberger, A.M.; Ray, J.L.; Hasan, S.S.; Shiavi, R.G.; Spengler, D.M. (1996). Relationship between vertical ground reaction force and speed during walking, slow jogging, and running. Clin. Biomech., (Bristol, Avon), 11(5): 253-259.
- Kennely, A.E. (1906). An approximate law of fatigue in the speeds of racing animals. Proc. Am. Acad. Arts Sci., 42(15): 275-331.
- Kenney, W.L.; Hodgson, J.L. (1985). Variables predictive of performance in elite middle-distance runners. Br. J. Sports Med., 19(4): 207-209.
- Keren, G.; Epstein, Y.; Magazanik, A.; Sohar, E. (1981). The energy cost of walking and running with and without a backpack load. Eur. J. Appl. Physiol., 46(3): 317-324.
- Keul, J.; Haralambie, G.; Bruder, M.; Gottstein, H.J. (1978). The effect of weight lifting exercise on heart rate and metabolism in experienced weight lifters. Med. Sci. Sports., 10(1): 13-15.
- Keul, J.; Simon, G.; Berg, A.; Dickhuth, H.; Goertler, I.; Kübel, R. (1979). Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung. Dtsch. Z. Sportmed., 30(7): 212-218.
- Kindermann, W.; Simon, G.; Keul, J. (1978). Dauertraining - Ermittlung der optimalen Trainingsherzfrequenz und Leistungsfähigkeit. Leistungssport, 8(1): 34-39.
- Kindermann, W.; Simon, G.; Keul, J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of workload intensities during endurance training. Eur. J. Appl. Physiol., 42: 25-34.
- Klausen, K.; Robinson, S.; Micahel, E.D.; Myhre, L.G. (1966). Effect of high altitude on maximal working capacity. J. Appl. Physiol., 21(4): 1191-1194.

- Kline, G.M.; Porcari, J.P.; Hintermeister, R.; Freedson, P.S.; Ward, A.; McCarron, R.F.; Ross, J.; Rippe, J.M. (1987). Estimation of VO_2 max from a one-mile track walk, gender, age, and body weight. Med. Sci. Sports Exerc., 19(3): 253-259.
- Klissouras, V.; Pirnay, F.; Petit, J.M. (1973). Adaptation to maximal effort: genetics and age. J. Appl. Physiol., 35(2): 288-293.
- Knapik, J.; Wright, J.; Welch, M.; Sharp, M.; Mello, R.; Patton, J. (1990). Metabolic and cardiorespiratory parameters during three consecutive days of exhaustive running. J. Sports Med. Phys. Fitness., 30(2):132-137.
- Kobasa, S.C.; Maddi, S.R.; Puccetti, M.C. (1982). Personality and exercise as buffers in the stress-illness relationship. J. Behav. Med., 5(4): 391-404.
- Kohrt, W.M.; Malley, M.T.; Coggan, A.R.; Spina, R.J.; Ogawa, T.; Ehsani, A.A.; Bourey, R.E., Martin, W.H. 3d.; Holloszy, J.O.(1991) Effects of gender, age, and fitness level on response of VO_2 max to training in 60-71 yr olds. J. Appl. Physiol. 71(5):2004-2011.
- Koike, A.; Weiler-Ravell, D.; McKenzie, D.K.; Zanconato, S.; Wasserman, K. (1990). Evidence that the metabolic acidosis threshold is the anaerobic threshold. J. Appl. Physiol., 68(6): 2521-2526.
- Kolias, J.; Buskirk, E.R. (1974). Exercise and altitude. In: W.R. Johnson, E.R. Buskirk, (eds), Science and Medicine of Exercise and Sport, pp. 211-227. Harper and Row, New York.
- Krahenbuhl, G.S.; Pangrazi, R.P. (1983). Characteristics associated with running performance in young boys. Med. Sci. Sports Exerc., 15: 488-490.
- Krahenbuhl, G.S.; Morgan, D.W.; Pangrazi, R.P. (1989). Longitudinal changes in distance-running performance of young males. Int. J. Sports Med., 10(2): 92-96.
- Krahenbuhl, G.S.; Williams, T.J. (1992). Running economy: changes with age during childhood and adolescence. Med. Sci. Sports Exerc., 24(4): 462-466.
- Kram, R.; Taylor, C. (1990). Energetics of running: a new perspective. Nature, 346: 265-267.
- Krieder, R.B.; Miller, G.W.; Williams, M.H. (1990). Effects of phosphate loading on oxygen uptake, ventilation anaerobic threshold, and run performance. Med. Sci. Sports Exerc., 22:250-256.

- Krüger, J.; Mortier, R.; Heck, H.; Hollmann, W. (1988). Relationship between the Conconi threshold and lactic acid at endurance workload on the turning crank ergometer. Int. J. Sports Med., 9: 367.
- Kuipers, H.; Keizer, H.A.; de Vries, T.; van Rijthoven, P.; Wijts, M. (1988). Comparison of heart rate as a non-invasive determinant of anaerobic threshold with the lactate threshold when cycling. Eur. J. Appl. Physiol., 58(3): 303-306.
- Kuipers, H.; Keizer, H.A. (1988). Overtraining in elite athletes. Review and directions for the future. Sports Med., 6(2): 79-92.
- Kumagai, S.; Tanaka, K.; Matsuura, Y.; Matsuzaka, A.; Hirakoba, K.; Asano, K. (1982) Relationship of the anaerobic threshold with the 5km, 10km and 10 mile races. Eur. J. Appl. Physiol. 49:13-23.
- Kyle, C.R. (1979). Redution of wind resistance and power output of racing cyclists and runners travelling in groups. Ergonomics, 22: 387-397.
- Kyrolainen, H.; Pullinen, T.; Candau, R.; Avela, J.; Huttunen, P.; Komi, P.V. (2000). Effects of marathon running on running economy and kinematics. Eur. J. Appl. Physiol., 82(4): 297-304.
- Lacour, J.R.; Padilla, S.; Denis, C. (1987). L'inflexion de la courbe fréquence cardiaque-puissance n'est pas un témoin du seuil anaérobie. Science et Motricité, 1: 58-59.
- Lacour, J.R.; Padilla-Magunacelaya, S.; Barthelemy, J.C.; Dormois, D. (1990). The energetics of middle-distance running. Eur. J. Appl. Physiol., 60(1): 38-43.
- Lacour, J.R.; Padilla-Magunacelaya, S.; Chatard, J.C.; Arsac, L.; Barthelemy, J.C. (1991). Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. Eur. J. Appl. Physiol., 62(2): 77-82.
- Lacour, J.R.(1996). Influence of body dimensions, sex and training on the energy cost of running. In: P. Marconnet.; B. Saltin; P. Komi; J. Poortmans (eds.), pp. 32-43. Human Muscular Function. Karger, Basel.
- Lajoie, C.; Laurencelle, L.; Trudeau, F. (2000). Physiological responses to cycling for 60 minutes at maximal lactate steady state. Can. J. Appl. Physiol., 25(4): 250-261.
- Lake, M.J.; Cavanagh, P.R. (1996). Six weeks of training does not change running mechanics or improve running economy. Med. Sci. Sports Exerc., 28(7): 860-869.

- Landy, F.; Zedeck, S. (1983). Introduction. In: F. Landy, S. Zedeck, J. Cleveland (eds.), Performance Measurement and Theory, pp. 1-10. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale.
- Larish, D.D.; Martin, P.E.; Mungiole, M. (1987). Characteristic patterns of gait in the healthy old. Ann. N. Y. Acad. Sci., 515: 18-32.
- Laursen, P.B.; Rhodes, E.C. (2001). Factors affecting *performance* in an ultraendurance triathlon. Sports Med., 31(3):195-209.
- Laursen, P.B.; Jenkins, D.G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. Sports Med., 32(1): 53-73.
- Léger, L.; Boucher, R. (1980). An indirect continuous running multistage fieldtest. The University of Montreal Field Test. Can. J. Appl. Sports Sci., 5: 77-84.
- Léger, L.; Lambert, L. (1982). A maximal multistage 20m shuttle run test to predict VO_2 max. Eur. J. Appl. Physiol., 49: 1-12.
- Léger, L.; Mercier, D. (1983). Coût énergétique de la course sur tapis roulant et sur piste. Une synthèse des courbes publiées. Motricité Humaine, 2: 66-69.
- Léger, L.; Mercier, D. (1984). Gross energy cost of horizontal treadmill and track running. Sports Med., 1: 270-277.
- Léger, L.; Mercier, D.; Gauvin, L. (1984). The relationship between % VO_2 max and running performance time. In: D.M. Landers (ed.), Sport and Elite Performers, pp. 113-119. Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- Léger, L.; Tokmakidis, S. (1987). Validité externe de la méthode de Conconi pour déterminer le seuil anaérobie en fonction de la fréquence cardiaque lors d'efforts triangulaires. Science Sports, 2: 309-310.
- Léger, L.; Tokmakidis, S. (1988). Use of the heart rate deflection point to assess the anaerobic threshold. Letter to the editor. J. Appl. Physiol., 64: 1758-1760.
- Léger, L.; Lambert, L.; Boucher, R.; Mercier, D. (1988). The multistage 20 meter shuttle run test for aerobic fitness. J. Sport Sci., 62: 93-101.
- Lehmann, M., Berg, A.; Kapp, R.; Wessnhage, T.; Keul, J. (1983). Correlations between laboratory testing and distance running performance in marathoners of similar performance ability. Int. J. Sports Med. 4:226-230.

Lemura, L.M.; von Duvillard, S.P.; Mookerjee, S. (2000). The effects of physical training of functional capacity in adults. Ages 46 to 90: a meta-analysis. J. Sports Med. Phys. Fitness, 40(1): 1-10.

Lenzi, G. (1987). The marathon race: modern training methodology. New Studies in Athletics, 2: 41-50.

Leventhal, H.; Everhart, D. (1986). Emotion, pain and physical illness. In: C.E. Izard (ed.), Emotions in Personality and Psychopathology of Sports. Plenum, New York.

Levine, B.D.; Stray-Gundersen, J. (1992). A practical approach to altitude training: where to live and train for optimal performance enhancement. Int. J. Sports Med., (13 Suppl) 1: S209-212.

Levine, B.D.; Stray-Gundersen, J. (1992b). Exercise at high altitudes. In: J.S. Torg, R.S. Shepard (eds.), pp. 588-593. Current Therapy in Sports Medicine. MO Mosby-Year Book, St. Louis.

Levine, B.D.; Stray-Gundersen, J. (1997). "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. J. Appl. Physiol., 83(1): 102-112.

Lewis, D.A.; Kamon, E.; Hodgson, J.L. (1986). Physiological differences between genders. Implications for sports conditioning. Sports Med., 3(5): 357-369.

Lewis, S.F.; Haller, R.G. (1986). The pathophysiology of McArdle's disease: clues to regulation in exercise and fatigue. J. Appl. Physiol., 61(2): 391-401.

Lieber, D.C.; Lieber, R.L.; Adams, W.C. (1989). Effects of run-training and swim-training at similar absolute intensities on treadmill VO_2max . Med. Sci. Sports Exerc., 21(6): 655-661.

Lietzke, M.H. (1956). Consistent set of running times. Science, 124: 178-179.

Lloyd, B.B. (1966). The energetics of running: an analysis of world records, Adv. Sci., 22: 515-530.

Lo, C.R.; Johnston, D.W. (1984). The self-control of the cardiovascular response to exercise using feedback of the product of interbeat interval and pulse transit time. Psychosom Med., 46(2): 115-125.

- Londeree, B.R. (1986). The use of laboratory test results with long distance runners. Sports Med. 3(3):201-213.
- Londeree, B.R. (1997). Effect of training on lactate ventilatory threshold: a meta analysis. Med. Sci. Sports Exerc., 29: 837-843.
- Loy, S.F.; Hoffmann, J.J.; Holland, G.J. (1995). Benefits and practical use of cross-training in sports. Sports Med., 19(1): 1-8.
- Lydiard, A.; Gilmour, G. (1978). Running the Lydiard way. Hodder & Stoughton, Auckland.
- MacDougall, J.D.; Reddan, W.; Layton, C.; Dempsey, J. (1974). Effects of metabolic hyperthermia on performance during heavy prolonged exercise. J. Appl. Physiol., 36: 538-544.
- MacDougall, J.D. (1992). Hypertrophy or hyperplasia. In: P.V. Komi (ed.), pp. 230-238. Strength and Power in Sport. Blackwell Scientific Publication, Oxford.
- MacDougall, J.D.; Ward, G.R.; Sale, D.G.; Sutton, J.R. (1977). Biochemical adaptation of human skeletal muscle to heavy resistance training and immobilization. J. Appl. Physiol., 43(4): 700-703.
- MacRae, H.S.; Dennis, S.C.; Bosch, A.N.; Noakes, T.D. (1992). Effects of training on lactate production and removal during progressive exercise in humans. J. Appl. Physiol., 73(5): 2205-2207.
- Mader, A.; Liesen, H.; Heck, H.; Philippi, H.; Rost, R.; Schürch, P.; Hollmann, W. (1976a). Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit im Labor. Sportarzt. Sportmed., 26(5):109-112.
- Mader, A.; Liesen, H.; Heck, H.; Philippi, H.; Schürch, P.; Hollmann, W. (1976b). Zur Beurteilung der sportartspezifischen Ausdauerleistungsfähigkeit. Sportarzt. Sportmed. 27: 80-112.
- Mader, A.; Heck, H. (1986) A theory of the metabolic origin of "anaerobic threshold". Int. J. Sports Med., 1(7): 45S-65S.
- Mader, A. (1991). Evaluation of the endurance performance of marathon runners and theoretical analysis of test results. J. Sports Med. Phys. Fitness, 31(1): 1-19.
- Madsen, O.; Lohberg, M. (1987). The lowdown on lactates. Swimming Technique, May-July: 21-28.

Maffulli, N.; Sjodin, B.; Ekblom, B. (1987). A laboratory method for non invasive anaerobic threshold determination. J. Sports Med. Phys. Fitness, 27(4): 419-423.

Maffulli, N.; Capasso, G.; Lancia, A. (1991). Anaerobic threshold and performance in middle and long distance running. J. Sports Med. Phys. Fitness., 31: 332-338.

Maia, J. (2001). A modelação da performance desportivo-motora. Treino Desportivo. 10-18.

Maksud, M.G.; Coutts, K.D. (1971). Comparison of a continuous and discontinuous graded treadmill test for maximal oxygen uptake. Med. Sci. Sports., 3(2): 63-65.

Malina, R.M.; Harper, A.B.; Avent, H.H. (1971). Physique of female track and field athletes. Med. Sci. Sports, 3: 32-38.

Margaria, R. (1963). Biochemistry of muscular contraction and recovery. J. Sports Med. Phys. Fitness., 3: 145-156.

Margaria, R.; Cerretelli, P.; Aghemo, P.; Sassi, J. (1963). Energy cost of running. J. Appl. Physiol., 18: 367-370.

Margaria, R.; Aghemo, P.; Pinera, Limas. F. (1975). A simple relation between performance in running and maximal aerobic power. J. Appl. Physiol., 38: 351-352.

Maritz, J.S.; Morrison, J.F.; Peter, J.; Strydom, N.B.; Wyndham, C.H. (1961). Submaximal tests to estimate maximal oxygen intake. Can. Med. Assoc. Journal, 96: 736-742.

Maron, M.B.; Horvath, S.M. (1988). Maximal aerobic power after competitive marathon running. Can. J. Sport. Sci., 13(1): 50-55.

Marques, A.T. (1997). O sistema de competições na preparação de prospectiva de crianças e jovens. Lição de síntese. Provas de agregação. Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física, Universidade do Porto.

Maron, M.B.; Horvath, S.M.; Wilkerson, J.E.; Gliner, J.A. (1976). Oxygen uptake measurements during competitive marathon running. J. Appl. Physiol., 40(5): 836-838.

- Marti, B.; Abelin, T.; Minder, C.E. (1988). Relationship of training and life-style to 16-km running time of 4000 joggers. The '84 Berne "Grand-Prix" Study. Int. J. Sports Med., 9(2):85-91.
- Martin, D.; Vroon, D.; May, D. (1986). Physiological changes in elite male distance runners training for Olympic competition. Physician Sports Med. 14: 152-168.
- Martin, J.J.; Craib, M.; Mitchell, V. (1995). The relationships of anxiety and self-attention to running economy in competitive male distance runners. J. Sports Sci., 13(5): 371-376.
- Martin, P.E. (1985). Mechanical and physiological responses to lower extremity loading during running. Med. Sci. Sports Exerc., 17(4): 427-433.
- Martin, P.E.; Morgan, D.W. (1992). Biomechanical considerations for economical walking and running. Med. Sci. Sport Exerc., 24(4): 467-474.
- Martin, W.H.; Montgomery, J.; Snell, P.G.; Corbett, J.R.; Sokolov, J.J.; Buckey, J.C.; Maloney, D.A.; Blomqvist, C.G. (1987). Cardiovascular adaptations to intense swim training in sedentary middle-aged men and women. Circulation, 75(2): 323-330.
- Martin, W.H.; Holloszy, J.O. (1991). Effects of gender, age, and fitness level on response of VO_2 max to training in 60-71 yr olds. J. Appl. Physiol., 71(5): 2004-2011.
- Maughan, R.J.; Leiper, J.B. (1983). Aerobic capacity and fractional utilisation of aerobic capacity in elite and non-elite male and female marathon runners. Eur. J. Appl. Physiol., 52(1): 80-87.
- Maughan, R.J. (1990). Marathon running. In: T. Reilly, N. Secher, P. Snell, C. Williams (Eds.), Physiology of Sports. Chapman and Hall. London.
- Mayers, N.; Gutin, B. (1979). Physiological characteristics of elite prepubertal cross-country runners. Med. Sci. Sports., 11(2): 172-176.
- Mazzeo, R.S.; Wolfel, E.E.; Butterfield, G.E.; Reeves, J.T. (1994). Sympathetic response during 21 days at high altitude (4300 m) as determined by urinary and arterial catecholamines. Metabolism, 43(10): 1226-1232.
- McArdle, W.; Katch, F.I.; Pechar, G.S.; Jacobson, L.; Ruck, S. (1972). Reliability and interrelationships between maximal oxygen intake, physical work capacity and step-test scores in college women. Med. Sci. Sports., 4: 182-186.

McArdle, W.; Katch, F.I.; Pechar, G.S. (1973). Comparison of continuous and discontinuous treadmill and bicycle test for VO_2 max. Med. Sci. Sports., 5: 156-160.

McArdle, W.; Katch, F.I.; Katch, V.L. (1986). Exercise physiology: exercise, nutrition and human performance. Lea &Febiger, Philadelphia.

McCormack, W.P.; Cureton, K.J.; Bullock, T.A.; Weyand, P.G. (1991). Metabolic determinants of 1-mile run/walk performance in children. Med. Sci. Sports Exerc., 23(5): 611-617.

McKelvie, S.J.; Valliant, P.M.; Asu, M.E. (1985). Physical training and personality factors as predictors of marathon time and training injury. Percept. Mot. Skills. 60(2):551-66.

McKenzie, D.C. (1999). Markers of excessive exercise. Can. J. Appl. Physiol., 24(1): 66-73.

McLellan, T.M. (1987). The anaerobic threshold: concept and controversy. The Austral. J. Sci. Med. Sport., 19: 3-8.

McLellan, T.M.; Skinner, J.S. (1981). The use of the aerobic threshold as a basis for training. Can. J. Appl. Sport Sci., 6(4): 197-201.

McNeely, E. (2000). Comparison of the Lactate Pro Portable lactate analyzer to the YSI 1500. Rowing Canada Sport Medicine and Science.

Meade, G.P. (1916). An analytical study of athletic records. The Scientific Monthly, 2: 596-600.

Medbo, J.I.; Mohn, A.C.; Tabata, I.; Bahr, R.; Vaage, O.; Sejersted, O.M. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O_2 deficit. J. Appl. Physiol., 64(1): 50-60.

Menier, D.R.; Pugh, L.G. (1968). The relation of oxygen intake and velocity of walking and running, in competition walkers. J. Physiol., 119(3): 717-721.

Mercier, D.; Léger, L. (1986). Prediction of the running performance with the maximal aerobic power. STAPS, 14: 5-28.

Millet, G.P.; Vleck, V.E. (2000). Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to run transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training. Br. J. Sports Med., 34(5): 384-390.

- Millet, G.P.; Jaouen, B.; Borrani, F.; Candau, R. (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and $\dot{V}O_2$ kinetics. Med Sci Sports Exerc., 34(8):1351-1359.
- Mitchell, J.H.; Sproule, B.J.; Chapman C.B.; (1958). The Physiological meaning of the maximal intake test. J. Clin. Invest., 37: 538-547.
- Mizuno, M.; Juel, C.; Bro-Rasmussen, T.; Mygind, E.; Schibye, B.; Rasmussen, B.; Saltin, B. (1990). Limb skeletal muscle adaptation in athletes after training at altitude. J. Appl. Physiol., 68(2): 496-502.
- Mognoni, P.; Sirtori, M.D.; Lorenzelli, F.; Cerretelli, P. (1990). Physiological responses during prolonged exercise at the power output corresponding to the blood lactate threshold. Eur. J. Appl. Physiol., 60(4): 239-243.
- Monod, J.P.; Cameron, E.; Howald, H. (1987). Test Conconi, test 5x200m et seuil anaerobie en natation. Schwetz Z. Sportsmed, 35: 103-106.
- Moore, K.A.; Blumenthal, J.A. (1998). Exercise training as an alternative treatment for depression among older adults. Altern. Ther. Health Med., 4(1): 48-56.
- Morgan, D.W.; Martin, P.E. (1986). Effects of stride length alteration on racewalking economy. Can. J. Appl. Sport Sci., 11(4): 211-217 .
- Morgan, D.W.; Martin, P.E.; Krahenbuhl, G. (1989a). Factors affecting running economy. Sports Med., 7: 310-330.
- Morgan, D.W.; Baldini, F.D.; Martin, P.E.; Kohrt, W.M. (1989b). Ten kilometer performance and predicted velocity at $\dot{V}O_{2max}$ among well-trained male runners. Med Sci. Sports Exerc., 21(1): 78-83.
- Morgan, D.W.; Martin, P.E.; Baldini, F.; Krahenbuhl, G. (1990). Effects of prolonged maximal run on running economy and running mechanics. Med. Sci. Sports Exerc., 21: 78-83.
- Morgan, D.W.; Martin, P.E.; Krahenbuhl, G.S.; Baldini, F.D. (1991). Variability in running economy and mechanics among trained male runners. Med. Sci. Sports Exerc. 23(3): 378-383.
- Morgan, D.W.; Craib, M. (1992). Physiological aspects of running economy. Med. Sci. Sports Exerc., 24(4): 456-461.

- Morgan, D.W.; Daniels, J.T. (1994). Relationship between VO₂max and the aerobic demand of running in elite distance runners. Int. J. Sports Med. 15(7): 426-429.
- Morgan, D.W.; Bransford, D.R.; Costill, D.L.; Daniels, J.T.; Howley, E.T.; Krahenbuhl, G.S. (1995). Variation in the aerobic demand of running among trained and untrained subjects. Med. Sci. Sports Exerc., 27(3): 404-409.
- Morgan, D.W.; Miller, T.A.; Mitchell, V.A.; Craib, M.W. (1996). Aerobic demand of running shoes designed to exploit energy storage and return. Res. Q. Exerc. Sport., 67(1): 102-105.
- Morgan, W.P. (1970). Oxygen uptake following hypnotic suggestion. In: G.S. Kenyon (ed.), pp. 283-286. Contemporary Psychology of Sports. Athletic Institute, Chicago.
- Morgan, W.P.; Costill, D.L. (1972). Psychological characteristics of the marathon runner. J. Sports Med. Phys. Fitness., 12: 42-46.
- Morgan, W.P.; Raven, P.B.; Drinkwater, B.L.; Horvath, S.M. (1973). Perceptual and metabolic responsivity to standard bicycle ergometry following various hypnotic suggestions. Int. J. Clin. Hypn., 21: 86-101.
- Morgan, W.P.; Hirota, K.; Weitz, G.A.; Balke, B. (1976). Hypnotic perturbation of perceived exertion: ventilatory consequences. Am. J. Clin Hypn. 18: 182-190.
- Morgan, W.P.; Pollock, M.L. (1977). Psychologic characterization of the elite distance runner. Ann. N. Y. Acad. Sci., 301: 382-403.
- Morgan, W.P.; Horstman, D.H.; Cymerman, A.; Stokes, J. (1980). Facilitation of physical performance by means of a cognitive strategy. Cogn. Ther. Res., 7: 251-264.
- Morgan, W.P. (1985). Psychogenic factors and exercise metabolism: a review. Med. Sci. Sports Exerc., 17(3): 309-316
- Moritani, T. (1981). Critical power as a measure of physical working capacity and anaerobic threshold. Ergonomics 24, 339-350.
- Morton, R.H.; Fitz-Clarke, J.R.; Banister, E.W. (1990). Modeling human performance in running. J. Appl. Physiol., 69(3): 1171-1177.
- Morton, R.H. (1996). A 3-parameter critical power model. Ergonomics., 39(4): 611-619.

- Morton, R.H. (1997). Modeling training and overtraining. J. Sports Sci., 15(3): 335-340.
- Mujika, I.; Busso, T.; Lacoste, L.; Barale, F.; Geysant, A.; Chatard, J.C. (1996). Modeled responses to training and taper in competitive swimmers. Med. Sci. Sports Exerc., 28(2): 251-258.
- Mujika, I.; Goya, A.; Padilla, S.; Grijalba, A.; Gorostiaga, E.; Ibanez, J. (2000). Physiological responses to a 6-d taper in middle-distance runners: influence of training intensity and volume. Med. Sci. Sports Exerc., 32(2): 511-517.
- Mujika, I.; Padilla, S. (2000a). Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I: short term insufficient training stimulus. Sports Med., 30(2): 79-87.
- Mujika, I.; Padilla, S. (2000b). Detraining: loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part II: long term insufficient training stimulus. Sports Med., 30(3): 145-54.
- Munro, CF.; Miller, DI.; Fuglevand, AJ. (1987). Ground reaction forces in running: A re-examination. Journal of Biomechanics, 20(2): 147-156.
- Myers, M.J.; Steudel, K. (1985). Effect of limb mass and its distribution on the energetic cost of running. J. Exp. Biol., 116: 363-373 .
- Neufer, PD. (1989). The effect of detraining and reduced training on the physiological adaptations to aerobic exercise training. Sports Med., 8(5): 302-320.
- Neves, J. (1996) Contributo para a Caratcterização do Processo de Treino, nos Escalões de Formação, dos Corredores das Categorias Nacional e Internacional. Especialistas das Disciplinas dos 5000 e 10000 Metros. Dissertação de mestrado. Faculdade de Motricidade Humana, Universidade Técnica de Lisboa.
- Nicholas, C.W.; Nuttall, F.E.; Williams, C. (2000). The Loughborough Intermittent Shuttle Test: a field test that simulates the activity pattern of soccer. J. Sports Sci., 18(2): 97-104.
- Noakes, T.D. (1988). Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. Med Sci Sports Exerc., 20(4): 319-330.

- Noakes, T.D.; Myburgh, K.H.; Schall, R. (1990). Peak treadmill running velocity during the VO₂ max test predicts running performance. J. Sports Sci., 8(1): 35-45.
- Noakes, T.D. (1991). Lore of Running. Human Kinetics. Champaign, Illinois.
- Noakes, T.D.; Myburgh, K.H.; Du Plessis, J.; Lang, L.; Lambert, M.; Van der Riet, C.; Schall, R. (1991). Metabolic rate, not percent dehydration, predicts rectal temperature in marathon runners. Med. Sci. Sports Exerc. 23(4): 443-449
- Noakes, T. D. (1997). Challenging beliefs: ex Africa semper aliquid novi. Med. Sci. Sport Exerc., 29(5): 571-590.
- Noakes, T.D. (1998). Maximal oxygen uptake: "classical" versus "contemporary" viewpoints: a rebuttal. Med Sci Sports Exerc., 30(9): 1381-1398.
- Nurmekivi, A., Lemberg, H., Kaljumae, U., Maaros, J. (2002) The relationship between marathon performance and construction of training. Modern Athlete and Coach, 40(2): 22-26.
- O'Brien, M. (1992). Functional anatomy and physiology of tendons. Clin. Sports Med., 11: 505-520.
- O'Connor, P.J.; Petruzzello, S.J.; Kubitz, K.A.; Robinson, T.L. (1995). Anxiety responses to maximal exercise testing. Br. J. Sports Med., 29(2): 97-102.
- Ogawa, T.; Spina, R.J.; Martin, W.H.; Kohrt, W.M.; Schechtman, K.B.; Holloszy, J.O.; Ehsani, A.A. (1992). Effects of aging, sex, and physical training on cardiovascular responses to exercise. Circulation. 86(2): 494-503.
- Okwumabua, T.M.; Myers, A.W.; Schlessner, R.; Cooke, C.J. (1983). Cognitive strategies and running performance: an exploratory study. Cognit. Ther. Res. 7: 363-370.
- Olsen, R.; Berg, K.; Latin, R.; Blanke, D. (1988). Comparison of two intense interval training programs on maximum oxygen uptake and running performance. J. Sports Med. Phys. Fitness., 28(2): 158-164.
- Overend, T.J.; Paterson, D.H.; Cunningham, D.A. (1992). The effect of interval and continuous training on the aerobic parameters. Can. J. Sport Sci. 17(2): 129-134.
- Owles, W.H. (1930). Alterations in the lactic acid content of the blood as a result of light exercise and associated changes in the CO₂ combining power of the blood and in the alveolar CO₂ pressure. J. Physiol., 69: 214-237.

- Oyono-Enguelle, S.; Heitz, A.; Marbach, J.; Ott, C.; Gartner, M.; Pape, A.; Vollmer, J.C.; Freund, H. (1990). Blood lactate during constant-load exercise at aerobic and anaerobic thresholds. Eur. J. Appl. Physiol., 60(5): 321-330.
- Oyster, N.; Wooten, E.P. (1971). The influence of selected anthropometric measurements on the ability of college women to perform the 35-yard dash. Med. Sci. Sports Exerc., 3: 130-134.
- Paavolainen, L.; Hakkinen, K.; Hamalainen, I.; Nummela, A.; Rusko, H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. J. Appl. Physiol., 86(5): 1527-1533.
- Paavolainen, L.M.; Nummela, A.T.; Rusko, H.K. (1999). Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of 5-km running performance. Med. Sci. Sports Exerc., 31(1): 124-130.
- Paiva, M.C.A. (1994). Escola Portuguesa de Meio-Fundo e Fundo, Mito ou Realidade. Dissertação apresentada às provas de aptidão pedagógica e capacidade científica. Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física, Universidade do Porto.
- Paliczka, V.; Nichols, A.; Boreham, A. (1987). A multistage shuttle run as a predictor of running performance and maximal oxygen uptake in adults. Br. J. Sports Med. 21: 163-165.
- Pate, R.R. (1985). Physical activity and health: dose-response issues. Research Quarterly for. Exerc. Sport., 66: 313-317.
- Pate, R.R.; Sparling, P.; Wilson, G.; Cureton, K.; Miller, B. (1987). Cardiorespiratory and metabolic responses to submaximal and maximal exercise in elite women distance runners. Int. J. Sports Med., 8: 91-95.
- Pate, R.R.; Macera, C.A.; Bartoli, W.; Maney, C. (1989a). Physiological and anatomical correlates of running economy in habitual runners. Med. Sci. Sports Exerc., 21 (suppl 2): S26.
- Pate, R.R.; Slentz, C.; Katz, V. (1989b). Relationships between skinfold thickness and performance of health-related fitness test items. Res. Q. Exerc. Sport., 60: 183-189.
- Pate, R.R.; Macera, C.A.; Bailey, S.P.; Bartoli, W.P.; Powell, K.E. (1992). Physiological, anthropometric, and training correlates of running economy. Med. Sci. Sports Exerc., 24(10): 1128-1133.

Paterson, D.H.; Cunningham, D.A.; Koval, J.J.; St Croix, C.M. (1999). Aerobic fitness in a population of independently living men and women aged 55-86 years. Med. Sci. Sports Exerc., 31(12): 1813-1820.

Pearce, M.E.; Cunningham, D.A.; Donner, A.P.; Rechnitzer, P.A.; Fullerton, G.M.; Howard, J.H. (1983). Energy cost of treadmill and floor walking at self-selected paces. Eur. J. Appl. Physiol., 52: 115-119.

Pennebaker, J.W.; Lightner, J.M. (1980). Competition of internal and external information in an exercise setting. J. Pers. Soc. Psychol., 39(1): 165-174.

Pereira, J.G.; (1997a). Benefícios da Actividade Física na Condição Física. In: Themudo Barata (ed.), Actividade Física e Medicina Moderna, pp. 145-155. Europress, Odivelas.

Pereira, J.G. (1997b). Avaliação da Condição Física. In: Themudo Barata (ed.), Actividade Física e Medicina Moderna, pp. 180-187. Europress, Odivelas.

Pereira, J.G. (1997c). A Componente Cárdio-Respiratória da Prescrição do Exercício. In: Themudo Barata (ed.), Actividade Física e Medicina Moderna, pp. 198-205. Europress, Odivelas.

Pereira, J.G.; (1997d). A Componente Neuro-Muscular da Prescrição do Exercício. In: Themudo Barata (ed.), Actividade Física e Medicina Moderna pp. 206-211. Europress, Odivelas.

Pereira, M.A.; Freedson, P.S. (1997). Intraindividual variation of running economy in highly trained and moderately trained males. Int. J. Sports Med., 18(2): 118-124.

Péronnet, F.; Thibault, G.; Ledoux, M.; Brisson, G. (1983). Le marathon, equilibre énergétique, endurance et alimentation du coureur sur route. Vigot, Paris.

Péronnet, F.; Thibault, G. (1987). Analyse physiologique de la performance en course à pied: revision du modèle hyperbolique. J. Physiol., 82: 52-60.

Péronnet, F.; Thibault, G.; Rhodes, E.C.; McKenzie, D.C. (1987). Correlation between ventilatory threshold and endurance capability in marathon runners. Med. Sci. Sports Exerc., 19(6): 610-615.

Péronnet, F.; Thibault, G. (1989). Mathematical analysis of running performance and world running records. J. Appl. Physiol., 67(1): 453-465.

- Péronnet, F.; Thibault, G.; Ledoux, M.; Brisson, GR. (1991). Le Marathon. Vigot, Paris.
- Péronnet, F.; Thibault, G.; Cousineau, D.L. (1991). A theoretical analysis of the effect of altitude on running performance. J. Appl. Physiol., 70: 399-404.
- Péronnet, F. (1993). Les records du monde de course à pied masculins et féminins: à propos d'un article de la revue "Nature". STAPS. 32: 47-55
- Perski, A.; Engel, B.T. (1980). The role of behavioral conditioning in the cardiovascular adjustment to exercise. Biofeedback Self Regul., 5(1): 91-104.
- Pessenhofer, H.; Schwabergger, G.; Schmid, P. (1981) Zur Bestimmung des individuellen aerob-anaeroben Übergangs. Dtsch. Z. Sportmed., 32(1): 15-17.
- Pessenhofer, H.; Meier, A.; Schwabergger, G.; Sauseng, N. (1991). Verification of the hypothesis about the physiological basis of the Conconi-test by model stimulation. Int. J. Sports Med., 12: 119.
- Petit, M.A.; Nelson, C.M.; Rhodes, E.C. (1997). Comparison of a mathematical model to predict 10-km performance from the Conconi test and ventilatory threshold measurements. Can. J. Appl. Physiol., 22(6): 562-572.
- Pette, D. (1980). Plasticity of muscle. Walter de Gruyter, New York.
- Pfitzinger, P.; Freedson, P.S. (1998). The reliability of lactate measurements during exercise. Int. J. Sports Med., 19(5): 349-357.
- Pfitzinger, P.; Douglas, S. (1999). Road Racing for Serious Runners. Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- Pfitzinger, P.; Douglas, S. (2001). Advanced Marathoning. Human Kinetics. Champaign Illinois.
- Pierce, E.F.; Weltman, A.; Seip, R.L.; Snead, D. (1990). Effects of training specificity on the lactate threshold and VO₂ peak. Int. J. Sports Med., 11(4): 267-272.
- Pirnay, F.; Gourde, P.; Marechal, R. (1991). Contraintes physiologiques d'un match de football. Sport, 71-79.
- Pizza, F.X.; Flynn, M.G.; Starling, R.D.; Brolinson, P.G.; Sigg, J.; Kubitz, E.R.; Davenport, R.L. (1995). Run training vs cross training: influence of increased

training on running economy, foot impact shock and run performance. Int. J. Sports Med., 16(3): 180-184.

Platonov, V.N. (1991). La adaptacion en el deporte. Paidotribo, Barcelona.

Pokan, R.; Hofmann, P.; Preidler, K. (1993). Correlation between inflection of heart rate/work performance curve and myocardial function in exhausting cycle ergometer exercise. Eur. J. Appl. Physiol., 67: 385-388.

Pokan, R.; Hofmann, P.; Lehmann, M.; Leitner, H.; Eber, B.; Gasser, R.; Schwaberg, G.; Schmid, P.; Keul, J.; Klein, W. (1995). Heart rate deflection related to lactate performance curve and plasma catecholamine response during incremental cycle ergometer exercise. Eur. J. Appl. Physiol., 70: 175-179.

Pokan, R.; Hofmann, P.; von Duvillard, S.P.; Smekal, G.; Hogler, R.; Tschann, H.; Baron, R.; Schmid, P.; Bachl, N. (1999). The heart rate turn point reliability and methodological aspects. Med. Sci. Sports Exerc., 31(6): 903-907.

Pollock, M.L.; Bohannon, R.L.; Cooper, K.H.; Ayres, J.J.; Ward, A.; White, R.S.; Linnerud, A.C. (1976). A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing. Am. Heart Jour., 92: 33-46.

Pollock, M.L. (1977). Characteristics of elite class distance runners. In: P. Miloy (ed.), The Marathon: Physiological, Medical, Epidemiological and Psychological studies, pp. 278-282. New York Academy of Sciences.

Pollock, M.L.; Foster, C.; Knapp, D.; Rod, J.; Schmidt, D. (1987). Effect of age and training on aerobic capacity and body composition of master athletes. J. Appl. Physiol., 62: 725-731.

Pollock, M.L.; Mengelkoch, L.J.; Graves, J.E.; Lowenthal, D.T.; Limacher, M.C.; Foster, C.; Wilmore, J.H. (1997). Twenty-year follow-up of aerobic power and body composition of older track athletes. J. Appl. Physiol., 82(5): 1508-1516.

Poole, D.C.; Gaesser, G.A. (1985). Response of ventilatory and lactate threshold to continuous and interval-training. J. Appl. Physiol., 58: 1115-1121.

Poole, D.C.; Ward, S.A.; Gardner, G.W.; Whipp, B.J. (1988). Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. Ergonomics, 31(9): 1265-1279.

Poortmans, J.R.; Delescaille-Van den Bosche, J.; Leclercq, R. (1978). Lactate uptake by inactive forearm during progressive leg in exercise. J. Appl. Physiol., 45: 835-839.

- Powers, S.K.; Beadle, R.E. (1985). Control of ventilation during submaximal exercise: a brief review. J. Sports Sci., 3(1): 51-65.
- Powers S.K, Hopkins P, Ragsdale M.R. (1982). Oxygen uptake and ventilatory responses to various stride lengths in trained women. Am. Correct. Ther. J., 36(1): 5-8.
- Priest, J.W.; Hagan, R.D. (1987). The effects of maximum steady state pace training on running performance. Br. J. Sports Med., 21(1): 18-21.
- Prince, F.P.; Hikida, R.S.; Hagermann, F.C. (1975). Human muscle fibre types in power lifters, distance runners and untrained subjects. Pflugers Arch., 363: 19-26.
- Probst, H.P.; Comminot, C. ; Rojas, J. (1989). Conconi-test auf dem Fahrradergometer. Schweiz Z. Sportmed., 37: 141-147.
- Pugh, L.G. (1964). Cardiac output in muscular exercise at 5800m. J. Appl. Physiol., 19: 441-450.
- Pugh, L.G.; Corbett, J.L.; Johnson, R.H. (1967). Rectal temperatures, weight losses, and sweat rates in marathon running. J. Appl. Physiol., 23(3): 347-352.
- Pugh, L.G. (1970). Oxygen intake in track and treadmill running with observations on the effect of air resistance. J. Physiol., 207(3): 823-835.
- Pugh, L.G. (1971). The influence of wind resistance in running and walking and the mechanical efficiency of work against horizontal or vertical forces. J. Physiol., 213(2): 255-276.
- Pyne, D.B.; Boston, T.; Martin, D.T.; Logan, A. (2000). Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. Eur. J. Appl. Physiol., 82 (1-2): 112-116.
- Raab, D.M.; Agre, J.C.; McAdam, M.; Smith, E.L. (1988). Light resistance and stretching exercise in elderly women: effect upon flexibility. Arch. Physiol., 69: 268-272.
- Rall, J. (1985). Energetic aspects of skeletal muscle contraction: implications of fiber types. In: R. Terjung (ed.) Exerc. Sport Sci. Rev., pp. : 33-74. MacMillan, New York.
- Ramsbottom, R.; Brewer, J.; Williams, C. (1988). A progressive shuttle run test to estimate maximal oxygen uptake. Br. J. Sports Med., 22: 141-144.

- Ramsbottom, R.; Nute, M.G.; Williams, C. (1987). Determinants of five kilometre running performance in active men and women. Br. J. Sports Med., 21(2): 9-13.
- Raven, P.B.; Stevens, G.H.J. (1988). Cardiovascular function and prolonged exercise. In: D.R. Lamb, R. Murray (eds.), Exerc Sci. Sports Med., Volume I: Prolonged Exercise, pp. 41-74. Benchmark Press, Indianapolis.
- Reilly, T.; Secher, N. (1990). Physiology of sports: an overview. In: T. Reilly, N. Secher, P. Snell, C. Williams (eds.), pp. 465-485. Physiology of Sports, E & F Spon, London.
- Rejeski, W.J. (1985). Perceived exertion: an active or passive process? J. Sports Psychol., 7: 371-378.
- Reybrouck, T.; Weymans, M.; Stijns, H.; Knops, J.; van der Hauwaert, L. (1982). Ventilatory threshold during treadmill exercise in kindergarten children. Eur. J. Appl. Physiol., 50: 79-86.
- Reybrouck, T.; Guesquiere, J. (1984). Validation and determination of the "anaerobic threshold". J. Appl. Physiol., 57(2): 610-613.
- Ribeiro, J.; Fielding, R.A.; Hughes, V.; Black, A.; Bochese, M.A.; Knuttgen, H.G. (1985). Heart rate break point may coincide with the anaerobic and not the aerobic threshold. Int. J. Sports Med., 6(4): 220-224.
- Richardson, R.S.; Harms, C.A.; Grassi, B.; Hepple, R.T. (2000). Skeletal muscle: master or slave of the cardiovascular system? Med. Sci. Sports Exerc., 32(1): 89-93.
- Rieu, M.; Duvallet, A.; Scharapan, L.; Thieulart, L.; Ferry, A. (1988). Blood lactate accumulation in intermittent supramaximal exercise. Eur. J. Appl. Physiol., 57(2): 235-242.
- Ritchie, S.E.; Hopkins, W.G. (1991). The intensity of exercise in deep-water running. Int. J. Sports Med., 12(1): 27-29.
- Rodeheffer, R.J.; Gerstenblith, G.; Becker, L.C.; Fleg, J.L.; Weisfeldt, M.L.; Lakatta, E.G. (1984). Exercise cardiac output is maintained with advancing age in healthy human subjects: cardiac dilatation and increased stroke volume compensate for a diminished heart rate. Circulation, 69(2): 203-213.
- Rodriguez, F.A.; Casas, H.; Casas, M.; Pages, T.; Rama, R.; Ricart, A.; Ventura, J.L.; Ibanez, J.; Viscor, G. (1999). Intermittent hypobaric hypoxia stimulates

erythropoiesis and improves aerobic capacity. Med. Sci. Sports Exerc., 31(2): 264-268.

Roecker, K.; Schotte, O.; Niess, A.M.; Horstmann, T.; Dickhuth, H.H. (1998). Predicting competition performance in long-distance running by means of a treadmill test. Med. Sci. Sports Exerc. 30(10): 1552-1557.

Roi, G.S.; Giacometti, M.; von Duvillard, S.P. (1999). Marathons in altitude. Med. Sci. Sports Exerc., 31(5): 723-728.

Rolim, R.J. (1998). Contributo para o Estudo do Treino de Meio-Fundo / Fundo de Atletas Jovens em Portugal. Dissertação de doutoramento. Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física, Universidade do Porto.

Rome, L.C. (1992). Scaling of muscle fibres and locomotion. J. Exp. Biol., 168: 243-252.

Ross, R.M.; Jackson, A.S. (1990). Exercise, concepts, calculations and computer application. Benchmark Press, Carmel.

Rowell, L.B.; Taylor, H.L.; Wang, Y. (1964). Limitations to prediction of maximal oxygen intake. J. Sports Med., 19: 919-927.

Rowell, L.; Brengelmann, G.; Murray, J.; Kraning, K.; Kusumi, F. (1969). Human metabolic response to hyperthermia during mild to maximal exercise J. Appl. Physiol., 26: 395-402.

Rowell, L.B. (1986). Human Circulation: Regulation During Physical Stress. Oxford University Press, New York.

Rowland, T.W. (1985). Aerobic response to endurance training in prepubescent children: a critical analysis. Med. Sci. Sports Exerc., 17(5): 493-497.

Rowland, T.W.; Auchinachie, J.A.; Keenan, T.J.; Green, G.M. (1987). Physiologic responses to treadmill running in adult and prepubertal males. Int. J. Sports Med., 8(4): 292-297.

Rowland, T.W.; Green, G.M. (1988). Physiological responses to treadmill exercise in females: adult-child differences. Med. Sci. Sports Exerc., 20(5): 474-478.

Rowland, T.W. (1990). Developmental aspects of physiological function relating to aerobic exercise in children. Sports Med., 10(4): 255-266.

- Ruby, B.; Robergs, R.; Leadbetter, G.; Mermier, C.; Chick, T.; Stark, D. (1996). Cross-training between cycling and running in untrained females. J. Sports Med. Phys. Fitness, 36(4): 246-254.
- Rusko, H.K. (1992). Development of aerobic power in relation to age and training in cross-country skiers. Med. Sci. Sports Exerc., 24(9): 1040-1047.
- Ryder, H.W.; Carr, H.J.; Herget, P. (1976). Future performance in footracing. Sci. Am., 234: 108-119.
- Sahlin, K. (1992). Non-invasive measurements of O₂ availability in human skeletal muscle with near-infrared spectroscopy. Int. J. Sports Med., (13 Suppl) 1: S157-160.
- Saltin, B.; Stenberg, J. (1964). Circulatory response to prolonged severe exercise. J. Appl. Physiol., 19: 833-838.
- Saltin, B.; Åstrand, P.O. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. Journal of Apply Physiology, 23: 353-358.
- Saltin, B.; Henriksson, N.E.; Anderson, P.; Janson, E. (1977). Fiber types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners. Ann of the New York Acad of Sci., 301: 3-29.
- Saltin, B.; Strange, S. (1992). Maximal oxygen uptake: "old" and "new" arguments for a cardiovascular limitation. Med. Sci. Sport Exerc., 24(1): 30-37.
- Saltin, B.; Larsen, H.; Terrados, N.; Bangsbo, J.; Bak, T.; Kim, CK.; Svedenhag, J.; Rolf, CJ. (1995). Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. Scand J Med Sci Sports., 5(4): 209-21.
- Sandroch, M. (1996). Running with the legends. Human Kinetics. Champaign. Illinois.
- Santiago, M.C.; Alexander, J.F.; Stull, G.A.; Serfass, R.C.; Hayday, A.M.; Leon, A.S. (1989). Physiological responses of sedentary women to a 20-week conditioning program of walking and jogging. Scand. J. Sports Sci., 9: 33-39.
- Santos, P.J. (1991). Limiar anaeróbio: discussão do conceito e comparação de metodologias para a sua detecção não invasiva. Dissertação apresentada às provas de aptidão pedagógica e de capacidade científica. Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto; Porto.

Santos, J.A. (1995a). Estudo comparativo, fisiológico, antropométrico e motor entre futebolistas de diferente nível competitivo e velocistas, meio-fundistas e fundistas de atletismo. Tese de doutoramento (não publicada). Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto.

Santos, P.J. (1995b). Controlo do treino em corredores de meio fundo e fundo: avaliação da capacidade aeróbica com base no limiar láctico das 4 mmol/l e determinado em testes de terreno. Tese de doutoramento (não publicada). Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto.

Santos, P.J. (1996). Relação entre a capacidade aeróbia e a intensidade e o volume de corrida contínua em meio-fundo e fundo. Revista Atletismo. 31-33.

Santos, P.; Maia, J. (2002). Estudo preditivo da intensidade de corrida na meia-maratona com base na relação lactato-velocidade obtida num teste de terreno. In: Santos, P.; Santos, J. (eds.), Investigação aplicada em atletismo. Um contributo da FCDEF-UP para o desenvolvimento do meio-fundo e fundo, pp. 99-108. Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto. Porto.

Schabort, E.J.; Killian, S.C.; Gibson, A.S.; Hawley, J.A.; Noakes, T.D. (2000). Prediction of triathlon race time from laboratory testing in national triathletes. Med. Sci. Sports Exerc. 32(4): 844-849.

Schwartz, G.E.; Weinberger, D.A.; Singer, J.A. (1981). Cardiovascular differentiation of happiness, sadness, anger, and fear following imagery and exercise. Psychosom. Med., 43(4): 343-364.

Scrimgeour, A.G.; Noakes, T.D.; Adams, B.; Myburgh, K. (1986). The influence of weekly training distance on fractional utilization of maximum aerobic capacity in marathon and ultramarathon runners. Eur. J. Appl. Physiol. 55(2): 202-209.

Shelley, D.; Donovan, K. (1982). The marathon guide. Stoke on Trent.

Shepard, R.J.; Allen, C.; Benade, J.S.; Davies, C.T.M.; Hedman, R.; Merriman, J.E.; Myhre, K.; di Prampero, P.E.; Simmons, R. (1968). The maximum oxygen intake. An international reference standard of cardiorespiratory fitness. Bull. WHO 38: 757-764.

Shephard, R.J. (1990). Fitness in special populations. Human Kinetics, Champaign, Illinois.

Shephard, R.J. (1992). Exercise physiology and performance of sport. Sport Sci. Rev., 1: 1-12.

Shepley, B.; MacDougall, J.D.; Cipriano, N.; Sutton, J.R.; Tarnopolsky, M.A.; Coates, G. (1992). Physiological effects of tapering in highly trained athletes. J. Appl. Physiol., 72(2): 706-711.

Sherrer, J.; Monod, H. (1960). Le travail musculaire local et la fatigue chez l'homme. J. Physiol., (Paris) 52: 419-501.

Sherrer, J.; Samson, M.; Paleolog, A. (1954). Etude du travail musculaire et de la fatigue. J. Physiol., 46: 887-916.

Siconolfi, S.F.; Garber, C.E.; Laster, T.M.; Carleton, R.A. (1985). A simple, valid step test for estimating maximal oxygen intake in the epidemiologic studies. Am. J. Epid., 121: 382-390.

Silva, F.M. (1995). Para uma Nova Teoria da Periodização do Treino - um Estudo do Atletismo Português de Meio-Fundo e Fundo. Dissertação de doutoramento (não publicada). Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física, Universidade do Porto.

Simon, G.; Berg, A.; Dickhuth, H.H.; Simon-Alt, A.; Keul, J. (1981). Bestimmung der anaeroben Schwelle in Abhängigkeit vom Alter und von der Leistungsfähigkeit. Dtsch. Z. Sportmed., 32(1): 7-14.

Simon, J.; Young, J.L.; Gutin, B.; Blood, D.K.; Case, R.B. (1983). Lactate accumulation relative to the anaerobic and respiratory compensation thresholds. J. Appl. Physiol., 54: 13-17.

Sjodin, B.; Shele, R. (1981). Oxygen cost of treadmill running in long distance runners. In: P.V. Komi (ed.). Exercise and Sport Biology. Human Kinetics, Champaign, Illinois.

Sjodin, B.; Jacobs, I. (1981). Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. Int. J. Sports Med., 2: 23-26.

Sjodin, B.; Jacobs, I.; Svedenhag, J. (1982). Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. Eur. J. Appl. Physiol., 49(1): 45-57.

Sjodin, B.; Svedenhag, J. (1985). Applied physiology of marathon running. Sports Medicine., 2: 83-99.

- Sjostrom, M.; Friden, J.; Ekblom, B. (1987). Endurance, what is it? Muscle morphology after an extremely long distance run. Acta Physiol. Scand., 130(3): 513-520.
- Sjostrom, M.; Johansson, C.; Lorentzon, R. (1988). Muscle pathomorphology in muscle quadriceps of marathon runners. Early signs of strain disease or functional adaptation? Acta Physiol. Scand., 132(4): 537-541.
- Sjostrom, M.; Johansson, C.; Lorentzon, R. (1991). Evidence of fibre hyperplasia in human skeletal muscles from healthy young men. Eur. J. Appl. Physiol., 62: 301-304.
- Skinner, J. (1987). The new metal-plated assistant coach: how analysing lactate levels helped the San José Aquatics to a more productive season. Swimming Technique. 7-12.
- Sleivert, G.G.; Rowlands, D.S. (1996). Physical and physiological factors associated with success in the triathlon. Sports Med., 22(1):8-18.
- Slovic, P. (1977). Empirical study of training and performance in the marathon. Res. Q., 48: 769-777.
- Smith, A.L.; Gill, D.L.; Crews, D.J.; Hopewell, R.; Morgan, D.W. (1995). Attentional strategy use by experienced distance runners: physiological and psychological effects. Res. Q. Exerc. Sport., 66(2): 142-150.
- Smith, T.P.; McNaughton, L.R.; Marshall, K.J. (1999). Effects of 4-wk training using Vmax/Tmax on VO₂max and performance in athletes. Med. Sci. Sports Exerc., 31(6): 892-896.
- Smith, C.G.; Jones, A.M. (2001). The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. Eur. J. Appl. Physiol., 85(1-2): 19-26.
- Snell, P. (1990). Middle distance running. In: T. Reilly, N. Secher, P. Snell, C. Williams (eds.), Physiology of Sports, pp. 101-120. E & F Spon, London.
- Snyder, A.C.; Woulfe, T.; Welsh, R.; Foster, C. (1994). A simplified approach to estimating the maximal lactate steady state. Int. J. Sports Med., 15(1): 27-31.
- Soule, R.; Goldman, R. (1969). Energy cost of loads carried on the head, hands or feet. J. Appl. Physiol., 27: 5-7.

- Sparling, P.B.; Cureton, K.J. (1983). Biological determinants of the sex difference in 12-min run performance. Med. Sci. Sports Exerc., 15(3): 218-223.
- Speechly, D.P.; Taylor, S.R.; Rogers, G.G. (1996). Differences in ultra-endurance exercise in performance-matched male and female runners. Med. Sci. Sports Exerc., 28(3): 359-365.
- Spina, R.J.; Ogawa, T.; Martin, W.H.; Coggan, A.R.; Holloszy, J.O.; Ehsani, A.A. (1992). Exercise training prevents decline in stroke volume during exercise in young healthy subjects. J. Appl. Physiol., 72(6): 2458-2462.
- Spina, R.J. (1999). Cardiovascular adaptations to endurance exercise training in older men and women. Exerc. Sport Sci. Rev., 27: 317-32.
- Sproule, J. (1998). Running economy deteriorates following 60 min of exercise at 80% VO_2max . Eur. J. Appl. Physiol., 77(4): 366-371.
- Sproule, J. (1998). The influence of either no fluid or carbohydrate-electrolyte fluid ingestion and the environment (thermoneutral versus hot and humid) on running economy after prolonged, high-intensity exercise. Eur. J. Appl. Physiol., 77(6): 536-542.
- Squires, R.W.; Bove, A.A. (1984). Cardiovascular profiling. In: J. Nicholas, E. Hershman (eds.), Clinics in Sport Medicine. Symposium on Profiling, pp. 11-31. WB Saunders Company, Philadelphia.
- Squires, R.W.; Buskirk, E. (1982). Aerobic capacity during acute exposure to simulated altitude, 914 to 2286 metres. Med. Sci. Sports Exerc., 14: 36-40.
- Stainsby, W.N.; Welch, H.G. (1966). Lactate metabolism of contracting dog skeletal muscle in situ. Am. J. Physiol., 211: 177-183.
- Stegmann, H.; Kindermann, W. (1981). Modell zur Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle. In: E. Kindermann, W. Hort (eds.). Sportmedizin für Breiten- und Leistungssport. Demeter: Gräfelfing.
- Stegmann, H.; Kindermann, W. (1982). Comparison of prolonged exercise tests at the individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4mmol/l lactate. Int. J. Sports Med., 3: 105-110.
- Stephens, N.K.; Hawley, J.A.; Dennis, S.C.; Hopkins, W.G. (1999). Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. Med. Sci. Sports Exerc., 31(5):736-741.

- Stepto, N.K.; Martin, D.T.; Fallon, K.E.; Hawley, J.A. (2001). Metabolic demands of intense aerobic interval training in competitive cyclists. Med Sci Sports Exerc., 33(2):303-10.
- Steudel, K. (1990). The work and energetic cost of locomotion. I. The effects of limb mass distribution in quadrupeds. J. Exp. Biol., 154: 273-285.
- Stratton, J.R.; Levy, W.C.; Cerqueira, M.D.; Schwartz, R.S.; Abrass, I.B. (1994). Cardiovascular responses to exercise. Effects of aging and exercise training in healthy men. Circulation., 89(4): 1648-1655.
- Stray-Gundersen, J.; Alexander, C.; Hochstein, A. (1992). Failure of red cell volume to increase to altitude exposure in iron deficient runners. Med. Sci. Sports Exerc., 24 (Suppl): S90.
- Stray-Gundersen, J.; Levine, B.D. (1994). Altitude acclimatization/normoxic training (high/low) improves sea level endurance immediately on descent from altitude. Med. Sci. Sports Exerc., 26 (Suppl): S64.
- Stray-Gundersen, J.; Mordecai, N.; Levine, B.D. (1995). O₂ transport response to altitude training in distance runners. Med. Sci. Sports Exerc., 27 (Suppl): S202.
- Stray-Gundersen, J.; Chapman, R.F.; Levine, B.D. (2001) "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. J. Appl. Physiol., 91(3):1113-1120.
- Sue, D.Y.; Wasserman, K.; Morrica, R.B.; Casaburi, R. (1988). Metabolic acidosis during exercise in patients with chronic obstructive pulmonary disease: use of the V-slope method for anaerobic threshold determination. Chest, 94: 931-938.
- Sumida, K.D.; Donovan, C.M. (2001). Lactate removal is not enhanced in nonstimulated perfused skeletal muscle after endurance training. J. Appl. Physiol., 90(4): 1307-1313.
- Sutton, J.R. (1992). Limitations to maximal oxygen uptake. Sports Med., 13(2): 127-133.
- Svedenhag, J.; Sjodin, B. (1984). Maximal and submaximal oxygen uptakes and blood lactate levels in elite male middle and long-distance runners. Int. J. Sports Med., 5(5): 255-261.
- Svedenhag, J.; Sjodin, B. (1985). Physiological characteristics of elite male runners in and off-season. Can. J. Appl. Sport Sci., 10(3): 127-133.

- Svedenhag, J.; Saltin, B.; Johansson, C.; Kaijser, L. (1991). Aerobic and anaerobic exercise capacities of elite middle-distance runners after two weeks of training at moderate altitude. Scand J. Med. Sci. Sports., 1: 205-214.
- Svedenhag, J. (1992). Endurance conditioning. In: J. Shephard, P.O. Åstrand (eds.), Endurance in Sport, pp. 290-297. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Swain, D.P.; Leutholtz, B.C. (1997) Heart rate reserve is equivalent to %VO₂ reserve, not to %VO₂max. Med Sci Sports Exerc., 29(3):410-4.
- System, D.M.; Kanarek, D.J.; Kohler, S.J.; Kazemi, H. (1990). ³¹P nuclear magnetic resonance spectroscopy study of the anaerobic threshold in humans. J. Appl. Physiol., 68(5): 2060-2066.
- Tabata, I.; Irisawa, K.; Kouzaki, M.; Nishimura, K.; Ogita, F.; Miyachi, M. (1997). Metabolic profile of high intensity intermittent exercises. Med. Sci. Sports Exerc., 29(3): 390-395.
- Tanaka, H.; West, K.A.; Duncan, G.E.; Bassett, D.R. (1997). Changes in plasma tryptophan/branched chain amino acid ratio in responses to training volume variation. Int. J. Sports Med., 18(4): 270-275.
- Tanaka, H.; Swensen, T. (1998). Impact of resistance training on endurance performance. A new form of cross-training? Sports Med., 25(3): 191-200.
- Tanaka, K.; Matsuura, Y.; Kumagai, S.; Matsuzaka, A.; Hirakoba, K.; Asano, K. (1983). Relationship of anaerobic threshold and onset of blood lactate accumulation with endurance performance. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol. 52(1):51-56.
- Tanaka, K.; Matsuura, Y. (1984). Marathon performance, anaerobic threshold, and onset of blood lactate accumulation. J. Appl. Physiol., 57(3): 640-643.
- Tanaka, K.; Matsuura, Y.; Matsuzaka, A.; Hirakoba, K.; Kumagai, S.; Sun, S.O.; Asano, K. (1984a). A longitudinal assessment of anaerobic threshold and distance-running performance. Med. Sci. Sports Exerc., 16(3): 278-282.
- Tanaka, K.; Matsuura, Y. (1984b). Marathon performance, anaerobic threshold, and onset of blood lactate accumulation. J. Appl. Physiol., 57(3): 640-643.
- Tanaka, K.; Watanabe, H.; Konishi, Y.; Mitsuzono, R.; Sumida, S.; Tanaka, S.; Fukuda, T.; Nakadomo, F. (1986). Longitudinal associations between anaerobic threshold and distance running performance. Eur. J. Appl. Physiol., 55(3): 248-252.

Tanaka, K. (1990). Lactate-related factors as a critical determinant of endurance. Ann. Physiol. Anthropol., 19(2): 191-202.

Tanata, H. (1994). Effects of cross-training. Transfer of training effects on VO₂max between cycling, running and swimming. Sports Med., 18(5): 330-339.

Tanner, J.M. (1964). The physique of the Olympic athlete. Allen & Ulwin, London.

Taylor, A.W.; Bachman, L. (1999). The effects of endurance training on muscle fibre types and enzyme activities. Can. J. Appl. Physiol., 24(1): 41-53.

Taylor, C.R.; Schmidt, N.; Raab, J. (1970). Scaling of energetic cost of running to body size in mammals. Am. J. Physiol., 219: 1104-1107.

Taylor, C.R.; Shkolnik, A.; Dmi'el, R.; Baharav, D.; Borut, A. (1974). Running in cheetahs, gazelles and goats: energy cost and limb configuration. Am. J. Physiol., 227(4): 848-850.

Taylor, C.R.; Heglund, N.C.; Maloiy, G.M. (1982). Energetics and mechanics of terrestrial locomotion. I. Metabolic energy consumption as a function of speed and body size in birds and mammals. J. Exp. Biol., 97: 1-21

Taylor, C.R.; Heglund, N.C. (1982). Energetics and mechanics of terrestrial locomotion. Annu. Rev. Physiol., 44: 97-107.

Taylor, C.R. (1985). Force development during sustained locomotion: a determinant of gait, speed and metabolic power. J. Exp. Biol., 115: 253-262.

Taylor, C.R. (1994). Relating mechanics and energetics during exercise. Adv. Vet. Sci. Comp. Med., 38A: 181-215

Taylor, H.L.; Buskirk, E.; Henschel, A. (1955). Maximum oxygen uptake as an objective measure of cardio-respiratory performance. J. Appl. Physiol., 8: 73-80.

Tegtbur, U.; Busse, M.W.; Braumann, K.M. (1993). Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. Med. Sci. Sports Exerc., 25(5): 620-627.

Telford, R. (1984). Lactid acid measurements - are they useful. Sports Sci. Med. Quart., 1: 2-7.

- Tenenbaum, G.; Fogarty, G.; Stewart, E.; Calcagnini, N.; Kirker, B.; Thorne, G.; Christensen, S. (1999). Perceived discomfort in running: scale development and theoretical considerations. J. Sports Sci., 17(3): 183-196.
- Terrados, N.; Jansson, E.; Sylven, C.; Kaijser, L. (1990). Is hypoxia a stimulus for synthesis of oxidative enzymes and myoglobin? J. Appl. Physiol., 68(6): 2369-2372.
- Terrados, N. (1992). Altitude training and muscular metabolism. Int. J. Sports Med., 13 (Suppl 1): S206-209.
- Tesch, P.A.; Colliander, E.B.; Kaiser, P. (1986). Muscle metabolism during intense, heavy-resistance exercise. Eur. J. Appl. Physiol., 55(4): 362-326.
- Tesch, P.A. (1992). Short and long term histochemical and biochemical adaptations in muscle. In: P.V. Komi (ed.), Strength and Power in Sport, pp. 239-248. Blackwell Scientific Publication, Oxford.
- Thayer, R.; Collins, J.; Noble, E.G.; Taylor, A.W. (2000). A decade of aerobic endurance training: histological evidence for fibre type transformation. J. Sports Med. Phys Fitness, 40(4): 284-289.
- Therminarias, A.; Flore, P.; Oddou-Chirpaz, M.F. et al. (1989). Influence of cold exposure on blood lactate response during incremental exercise. Eur. J. Appl. Physiol., 58: 411-418.
- Thoden, J.S. (1995). Testing aerobic power. In: J.C. MacDougall; H.A. Wenger, H.J. Green (eds.), Physiological Testing of High Performance Athlete, pp. 107-173. Human Kinetics, Champaign, Illinois.
- Thompson, J.L.; Bynum, W.A.; Bosco, J.S. (1989). A comparison of ventilatory and gas exchange measures to blood lactate levels during bicycle ergometry. Int. J. Sports Med., 10: 379 [abstract].
- Thorland, W.; Podolin, D.A.; Mazzeo, R.S. (1994). Coincidence of lactate threshold and HR-power output threshold under varied nutritional states. Int. J. Sports Med., 15(6): 301-304
- Thorstensson, A. (1986). Effects of moderate external loading on the aerobic demand of submaximal running in men and 10 year-old boys. Eur. J. Appl. Physiol., 55(6): 569-574.

Tokmakidis, S.P.; Leger, L.A. (1992). Comparison of mathematically determined blood lactate and heart rate "threshold" points and relationship with performance. Eur. J. Appl. Physiol., 64(4): 309-317.

Tokmakidis, S.P.; Leger, L.A.; Piliandis, T.C. (1998) Failure to obtain a unique threshold on the blood lactate concentration curve during exercise. Eur. J. Appl. Physiol., 77(4):333-342.

Tsuji, I.; Tamagawa, A.; Nagatomi, R.; Irie, N.; Ohkubo, T.; Saito, M.; Fujita, K.; Ogawa, K.; Sauvaget, C.; Anzai, Y.; Hozawa, A.; Watanabe, Y.; Sato, A.; Ohmori, H.; Hisamichi, S. (2000). Randomized controlled trial of exercise training for older people (Sendai Silver Center Trial; SSCT): study design and primary outcome. J. Epidemiol., 10(1): 55-64.

Underwood, J. (1987). Lactic acid analysis in nordic skiing. Am. Ski Coach, 11: 20-22.

Unnithan, V.B.; Timmons, J.A.; Brogan, R.T.; Paton, J.Y.; Rowland, T.W (1996). Submaximal running economy in run-trained pre-pubertal boys. J. Sports Med. Phys. Fitness, 36(1): 16-23.

Unnithan, V.B.; Timmons, J.A.; Paton, J.Y.; Rowland, T.W. (1995). Physiologic correlates to running performance in pre-pubertal distance runners. Int. J. Sports Med., 16(8): 528-533.

Urhausen, A.; Coen, B.; Weiler, B.; Kindermann, W. (1993). Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. Int. J. Sports Med., 14(3): 134-139.

Urhausen, A.; Weiler, B.; Coen, B.; Kindermann, W. (1994). Plasma catecholamines during endurance exercise of different intensities as related to the individual anaerobic threshold. Eur. J. Appl. Physiol., 69: 16-20.

Usaj, A.; Starc, V. (1996). Blood pH and lactate kinetics in the assessment of running endurance. Int. J. Sports Med., 17(1): 34-40.

Usami, A. (1988). The development of japanese marathon runners. New Studies in Athletics, (4): 61-69.

Uusitalo AL, Uusitalo AJ, Rusko HK. (1998a). Endurance training, overtraining and baroreflex sensitivity in female athletes. Clin. Physiol., 18(6):510-520.

Uusitalo AL, Huttunen P, Hanin Y, Uusitalo AJ, Rusko HK. (1998b). Hormonal responses to endurance training and overtraining in female athletes. Clin. J. Sport Med., 8(3):178-186.

- Uusitalo AL, Uusitalo AJ, Rusko HK. (1998c). Exhaustive endurance training for 6-9 weeks did not induce changes in intrinsic heart rate and cardiac autonomic modulation in female athletes. Int. J. Sports Med., 19(8):532-540.
- Uusitalo AL, Uusitalo AJ, Rusko HK. (2000). Heart rate and blood pressure variability during heavy training and overtraining in the female athlete. Int. J. Sports Med., 21(1):45-53.
- Vachon, J.A.; Bassett, D.R.; Clarke, S. (1999). Validity of the heart rate deflection point as a predictor of lactate threshold during running. J. Appl. Physiol., 87(1): 452-459.
- Valdivielso, F.N.; Arrese, A.L. (2000). Características fisiológicas de los maratonianos de elite: consumo de oxígeno y frecuencia cardiaca. R.E.D., 11(3): 5-12
- Vandewalle, H.; Friemel, F. (1989). Tests d'évaluation de la puissance maximale des métabolismes aérobie et anaérobie. Science et Sport, 4: 265-279.
- Velikorodnih, Y., Kosmin, R., Konovalov, V., Nachaev, V. (1987) The marathon (precompetitive preparation). Soviet Sport Review, 22(3): 125-127.
- Wahlund, H. (1948). Determination of the physical working capacity. Acta Medica Scandinavica, 132 (Suppl. 215)
- Walker, J.L.; Murray, T.D.; Jackson, A.S.; Morrow, J.R.; Michaud, T.J. (1999). The energy cost of horizontal walking and running in adolescents. Med. Sci. Sports Exerc., 31(2): 311-322.
- Walsh, M.L.; Banister, E.W. (1988). Possible mechanisms of the anaerobic threshold. A review. Sports Med., 5(5): 269-302.
- Ward, A.; Ebbeling, C.B.; Ahlquist, L.E. (1995). Indirect methods for estimation of aerobic power. In: P.J. Maud, C. Foster (eds.), Physiological assessment of human fitness. Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois.
- Ward-Smith, A.J. (1985). A mathematical theory of running based on the first law of thermodynamics and its application to the performance of world-class athletes. J. Biomech., 18: 337-349.
- Wasserman, K.; McIlroy, M.B. (1964). Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. Am. J. Cardiol., 14: 844-852.

Wasserman, K.; Whipp, B.J.; Koysl, S.N.; Beaver, W.L. (1973). Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. J. Appl. Physiol., 35(2): 236-243.

Wasserman, K.; Hansen, J.E.; Sue, D.Y.; et al.(1986). Principles of exercise testing and interpretation. Lea & Febiger, Philadelphia.

Wasserman, K.; Beaver, W.L.; Whipp, B.J. (1990). Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. Circulation, 81(1 Suppl): II 14-30.

Waters, R.L.; Hislop, H.J.; Perry, J.; Thomas, L.; Campbell, J. (1983). Comparative cost of walking in young and old adults. J. Orthop. Res., 1: 73-76.

Waters, R.L.; Perry, J.; Conaty, P.; Lunsford, B.; O'Meara, P. (1987). The energy cost of walking with arthritis of the hip and knee. Clin. Orthop. Rel. Res., 214: 278-284.

Weinberg, R.S.; Smith, J.; Jackson, A.; Gould, D. (1984). Effect of association, dissociation and positive self-talk strategies on endurance performance. Can. J. Appl. Sport Sci., 9(1): 25-32.

Wells, C.L.; Hecht, L.H.; Krahenbuhl, G. (1981). Physical characteristics and oxygen utilization of male and female marathon runners. Res. Q., 52: 281-285.

Welsh, M.C.; Labbe, E.E.; Delayney, D. (1991). Cognitive strategies and personality variables in adherence to exercise. Psychol. Rep., 68: 1327-1335.

Weltman, J.; Seip, R.L.; Levine, S.; Snead, D.; Rogol, A.; Weltman, A. (1989). Prediction of lactate threshold and fixed blood lactate contraction from 3200 meters time trial running performance in untrained females. Int. J. Sports Med., 10: 207-211.

Weltman, A.; Snead, D.; Stein, P.; Seip, R.L.; Schurrer, R.; Rutt, R.; Weltman, J.Y. (1990). Reliability and validity of a continuous incremental treadmill protocol for the determination of lactate threshold, fixed blood lactate concentrations and VO₂max. Int. J. Sports Med., 11: 26-32.

Weltman, A.; Seip, R.; Bogardus, A.J.; Snead, D.; Dowling, E.; Levine, S.; Weltman, J.; Rogol, A. (1990). Prediction of lactate threshold (LT) and fixed blood lactate concentrations (FBLC) from 3200-m running performance in women. Int. J. Sports Med., 11(5):373-378.

Weltman, A.; Seip, R.L.; Snead, D.; Weltman, J.Y.; Haskvitz, E.M.; Evans, W.S.; Veldhuis, J.D.; Rogol, A.D.(1992). Exercise training at and above the lactate threshold in previously untrained women. Int. J. Sports Med., 13: 257-263.

- Weltman, A.; Seip, R.L.; Snead, D.; Weltman, J.Y.; Haskvitz, E.M.; Evans, W.S.; Veldhuis, J.D.; Weltman, A. (1995). The blood lactate response to exercise. Human Kinetics. Champaign, Illinois.
- Wenger, H.A.; Bell, G.J. (1986). The interaction of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. Sports Med. Phys. Fitness., 3: 346-356.
- Wernig, A.; Salvini, T.F.; Irintchev, A. (1991). Axonal sprouting and changes in fibre types after running-induced muscle damage. J. Neurocytol., 20(11): 903-913.
- West, J.; Boyer, J.; Graber, P.; Hackett, P.; Maret, K.; Milledge, J.; Peters, R.; Pizzo, C.; Samaja, M.; Sarnquist, F.; Shoene, R.; Winslow, R. (1983a). Maximal exercise at extreme altitudes on Mount Everest. J. Appl Physiol., 55: 688-698.
- West, J.; Hackett, P.; Maret, K.; Milledge, J.; Peters, R.; Pizzo, C.; Winslow, R. (1983b). Pulmonary gas exchange on the summit of Mount Everest. J. Appl. Physiol., 55: 678-687.
- Westgarth-Taylor, C.; Hawley, J.A.; Rickard, S.; Myburgh, K.H.; Noakes, T.D.; Dennis, S.C. (1997). Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol., 75(4):298-304.
- Weston, A.R.; Myburgh, K.H.; Lindsay, F.H.; Dennis, S.C.; Noakes, T.D.; Hawley, J.A. (1997). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol., 75(1):7-13.
- Wiebe, C.G.; Gledhill, N.; Jamnik, V.K.; Ferguson, S. (1999). Exercise cardiac function in young through elderly endurance trained women. Med. Sci. Sports Exerc., 31(5): 684-691.
- Wilber, R.L.; Moffatt, R.J.; Scott, B.E.; Lee, D.T.; Cucuzzo, N.A. (1996). Influence of water run training on the maintenance of aerobic performance. Med. Sci. Sports Exerc., 28(8): 1056-1062
- Wilcox, A.; Bulbulian, R. (1984). Changes in running economy relative to VO_2 max during cross-country season. J. Sports Med. Phys. Fitness, 24: 321-326.
- Wilcox, A.; Weinberg C; Baird D. (1989). The effects of delayed onset muscular soreness (DOMS) on running economy. Med. Sci. Sports Exerc., 21 (Suppl): S90.

- Williams, K.R.; Cavanagh, P.R. (1986). Biomechanical correlates with running economy in elite distance runners. In: K.R. Williams, P.R. Cavanagh, pp. 287-288. Proceedings of the North American Congress of Biomechanics. Montreal.
- Williams, K.R.; Cavanagh, P.R. (1987). Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. J. Appl. Physiol., 63(3): 1236-1246.
- Williams, K.R.; Cavanagh, P.R.; Ziff, J.L. (1987). Biomechanical studies of elite female distance runners. Int. J. Sports Med., (8 Suppl) 2: 107-18.
- Williams, J.R.; Armstrong, N.; Kirby, B.J. (1992). The influence of the site of sampling and assay medium upon the measurement and interpretation of blood lactate responses to exercise. J. Sports Sci., 10(2): 95-107.
- Williams, T.J.; Krahenbuhl, G.S.; Morgan, D.W. (1991). Mood state and running economy in moderately trained male runners. Med. Sci. Sports Exerc., 23(6): 727-731.
- Wilmore, J.H. (1979). The application of science to sport: physiological profiles of male and female athletes. Can. J. Appl. Spt. Sci., 4: 103-115.
- Wilmore, J.H.; Costill, D.L. (1988). Training for sport and activity: the physiological basis of the conditioning process. William C. Brown, Dubuque.
- Wilmore, J.; Costill, D. (1994). Physiology of sport and exercise. Human Kinetics. Champaign, Illinois.
- Wilson, G.J.; Elliott, B.C.; Wood, G.A. (1992). Stretch shorten cycle performance enhancement through flexibility training. Med. Sci. Sports Exerc., 24(1): 116-123.
- Wiswell, R.A.; Jaque, S.V.; Marcell, T.J.; Hawkins, S.A.; Tarpinning, K.M.; Constantino, N.; Hyslop, D.M. (2000). Maximal aerobic power, lactate threshold, and running performance in master athletes. Med. Sci. Sports Exerc., 32(6): 1165-1170.
- Wolfel, E.E.; Groves, B.M.; Brooks, G.A.; Butterfield, G.E.; Mazzeo, R.S.; Moore, L.G.; Sutton, J.R.; Bender, P.R.; Dahms, T.E.; McCullough, R.E.; et al. (1991). Oxygen transport during steady-state submaximal exercise in chronic hypoxia. J. Appl. Physiol., 70(3): 1129-1136.
- Wolski, L.A.; McKenzie, D.C.; Wenger, H.A. (1996). Altitude training for improvements in sea level performance. Is the scientific evidence of benefit? Sports Med., 22(4): 251-263.

- Worrell, T.W.; Smith, T.L.; Winegardner, J. (1994). Effect of hamstring stretching on hamstring muscle performance. J. Orthop. Sports Phys. Ther., 20(3): 154-159.
- Xu, F.; Montgomery, D.L. (1995). Effect of prolonged exercise at 65 and 80 percent of VO₂max on running economy. Int. J. Sports Med., 16(5): 309-313.
- Yeh, M.P.; Gardner, R.M.; Adams, T.D.; Yanowitz, F.G.; Crapo, R.O. (1983). "Anaerobic threshold": problems of determination and validation. J. Appl. Physiol., 55(4): 1178-1186.
- Yeung, S.S.; Yeung, E.W.; Wong, T.W. (2001) Marathon finishers and non-finishers characteristics. A preamble to success. J. Sports Med. Phys. Fitness, 41(2):170-176.
- Yoshida, T.; Takeuchi, N.; Suda, Y. (1982). Arterial versus venous blood lactate increase in the forearm during incremental bicycle exercise. Eur. J. Appl. Physiol., 50: 87-93.
- Yoshida, T.; Suda, Y.; Takeuchi, N. (1982). Endurance training regimen based upon arterial blood lactate: effects on anaerobic threshold. Eur. J. Appl. Physiol. 49(2):223-230.
- Yoshida, T. (1984). Effect of exercise duration during incremental exercise on the determination of the anaerobic threshold and the onset of blood lactate accumulation. Eur. J. Appl. Physiol., 53: 196-199.
- Yoshida, T.; Udo, M.; Iwai, K.; Chida, M.; Ichioka, M.; Nakadomo, F.; Yamaguchi, T. (1990). Significance of the contribution of aerobic and anaerobic components to several distance running performances in female athletes. Eur J Appl Physiol., 60(4): 249-253.
- Yoshida, T.; Udo, M.; Iwai, K.; Yamaguchi, T. (1993). Physiological characteristics related to endurance running performance in female distance runners. J. Sports Sci., 11(1):57-62.
- Young, A.J.; Evans, W.J.; Cymerman, A.; Pandolf, K.B.; Knapik, J.J.; Maher, J.T. (1982). Sparing effect of chronic high-altitude exposure on muscle glycogen utilization. J. Appl. Physiol., 52(4): 857-862.
- Young, A.J.; Young, P.M. (1988). Human acclimatization to high terrestrial altitude. In: K.B. Pandolf, M.N. Sawka, R.R. Gonzalez (eds.), Human performance physiology and environmental medicine at terrestrial extremes, pp. 497-543. Benchmark Press, Indianapolis.

Young, K. (1978). Going over the wall. In: J. Henderson (ed). The complete marathoner.

Zacharogiannis, E.; Farrally, M. (1993). Ventilatory threshold, heart rate deflection point and middle distance running performance. J. Sports Med. Phys. Fitness, 33(4): 337-347.

Zamparo, P.; Perini, R.; Orizio, C.; Sacher, M.; Ferretti, G. (1992). The energy cost of walking or running on sand. Eur. J. Appl. Physiol., 65(2): 183-187.

Ziegler, S.G.; Klinzing, J.; Williamson, K. (1982). The effects of two stress management training programs on cardiorespiratory efficiency. J. Sports Psychol., 4: 280-289.

Zintl, F. (1991). Entrenamiento de la resistencia. Martinez Roca, Barcelona.

Zoladz, J.A.; Sargeant, A.J.; Emmerich, J.; Stoklosa, J.; Zychowski, A. (1993) Changes in acid-base status of marathon runners during an incremental fieldtest. Relationship to mean competitive marathon velocity. Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol., 67(1):71-76.