



LISBOA

UNIVERSIDADE  
DE LISBOA

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE MOTRICIDADE HUMANA



**ANÁLISE METABÓLICA DO CROSSFIT®:  
RESPOSTA ENERGÉTICA DOS DIFERENTES BENCHMARKS (WOD'S)**

Paulo Jorge dos Santos Nunes Pires

**Orientador:** Professor Doutor Francisco José Bessone Ferreira Alves

Tese especialmente elaborada para obtenção do grau de Doutor em Motricidade Humana na  
Especialidade de Fisiologia do Exercício

**Júri**

**Presidente:**

Doutor António Fernando Boleto Rosado  
Professor Catedrático e Vice-Presidente do Conselho Científico  
Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa

**Vogais:**

Doutor Francisco José Bessone Ferreira Alves  
Professor Catedrático  
Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa

Doutor Luís Manuel Pinto Lopes Rama  
Professor Auxiliar  
Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra

Doutora Maria João de Oliveira Valamatos  
Professora Auxiliar  
Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa

Doutora Joana Filipa de Jesus Reis  
Assistente Convidada  
Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa

Doutor Mário André da Cunha Espada  
Professor Adjunto Convidado  
Escola Superior de Educação do Instituto Politécnico de Setúbal



## **DECLARAÇÃO REPRODUÇÃO DA TESE**

**Nome:** Paulo Jorge dos Santos Nunes Pires

**Endereço eletrónico:** [ppires22@gmail.com](mailto:ppires22@gmail.com)

**Telefone:** 914451052

**Número do Cartão de Cidadão:** 11293221

**Título:** Análise metabólica do CrossFit®: Resposta Energética dos diferentes Benchmarks (Wod's)

**Orientador:** Professor Doutor Francisco José Bessone Ferreira Alves

**Ano de conclusão :** 2018

Designação do ramo de conhecimento do Doutoramento de Motricidade Humana com especialidade em FISILOGIA DO EXERCÍCIO

Nos exemplares das teses de doutoramento entregues para a prestação de provas na Universidade e dos quais é obrigatoriamente enviado um exemplar para depósito legal na Biblioteca Nacional e pelo menos outro para a Biblioteca da FMH/UL deve constar uma das seguintes declarações:

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Faculdade de Motricidade Humana – Universidade de Lisboa, \_\_\_\_/ \_\_\_\_/ \_\_\_\_

Assinatura

---



**“Vivo sempre no presente.  
O futuro, não o conheço.  
O passado, já o não tenho.”**

Fernando Pessoa - Livro do Desassossego



## **DEDICATÓRIA**

**À MINHA FAMÍLIA QUE ESTEVE SEMPRE PRESENTE QUANDO MAIS PRECISEI DELA**



## **AGRADECIMENTOS**

A elaboração de dissertação de doutoramento é um processo moroso, dizem os investigadores mais experientes! Um trabalho desta natureza, apesar do seu carácter individual é sempre consequência da cooperação de diversas pessoas, às quais presto o meu reconhecimento. Quero por isso deixar os meus sinceros agradecimentos a todos que de alguma forma me acompanharam e souberam tornar breves os momentos de ansiedade e dificuldade. Se hoje consegui o sucesso, a vocês o devo.

Em primeiro lugar, agradecer à **Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa** e ao **Laboratório Fisiologia e Bioquímica** por apoiarem e incentivarem o desenvolvimento desta investigação.

Um especial e sentido agradecimento ao meu orientador **Professor Doutor Francisco Alves**. Obrigado por todo o tempo disponibilizado. Obrigado por estar sempre presente. Obrigado pela sinceridade e amizade que coloca em todos os conselhos, incentivos e reprimendas. Tem sempre a palavra certa e sabe, ao mesmo tempo, incentivar, orientar, criticar e cuidar. Há poucas pessoas assim. Muito Bem Haja!

À **Professora Doutora Joana Reis**, o meu sincero agradecimento por todas as horas passadas juntos no laboratório e fora dele. Foram momentos de muito trabalho, espera e ansiedade, mas também de partilha, determinação e boa disposição. Joana amiga, sem a tua colaboração, este trabalho teria sido muito mais difícil. Muito Bem Haja!

A todos os colegas de laboratório, que sempre tiveram uma palavra amiga de incentivo, obrigado pelo vosso apoio.

Às **Box's CrossFit® Alvalade e CrossFit® Alvalade Oriente**, Coaches **Bruno Militão, Jorge Ortiz** e restante **equipa**, agradeço a autorização da participação dos atletas, as infraestruturas e material disponibilizado, toda a atenção e ajuda prestadas e todo o esforço empregue. Muito Bem Haja! São 30 Burpees !!!!!

Quero dirigir um agradecimento muito especial a todos os alunos que participaram no estudo, A todos os meus amigos pela ajuda constante, por, indiretamente, contribuírem para o meu sucesso e por me fazerem sentir uma pessoa feliz.

Finalmente, um sentido agradecimento àqueles que são a minha força e a minha segurança. Se é imensa a minha dívida de gratidão para convosco, é também enorme o meu orgulho em afirmar que vos devo tudo aquilo que sou.

Aos meus **Pais** pelo apoio e constante preocupação no alcance do meu sucesso tanto académico, como profissional e pessoal, estando sempre “à minha beira” mesmo quando não estou presente.

À minha “**maninha**”, pela força e amizade que me tem dado ao longo destas três décadas.

Uma especial palavra de gratidão para a minha mulher **Ana João Correia de Aguiar** que desde o primeiro momento me incentivou para a concretização deste projeto e pela força incessante durante todo o percurso do Doutoramento, encorajando-me e suportando pacientemente as minhas teimosias e ajudando com a sua enorme capacidade de trabalho e rigor. O meu BEM HAJA por todo o carinho e amor dedicado.

Um especialíssimo agradecimento para minha filha **Ana Filipe de Aguiar e Pires**, pelos momentos mais felizes que está a proporcionar. Bem Haja Filha!! Estarei sempre ao teu lado, Amo-te Muito.

## **ABSTRACT**

**PURPOSE:** CrossFit is characterized by high intensity, constantly varied, functional movement. However, scientific data regarding the practice of CrossFit is sparse. Therefore, the aim of this study was to: 1) characterize the physiological response in different CrossFit® Wod's and 2) to evaluate training effect in six weeks on aerobic and anaerobic capacity's.

**METHODS** Twelve male athletes participated in study I (Age:  $28,67 \pm 5.00$  yrs; Height:  $175,50 \pm 6.10$  cm; Weight:  $75,34 \pm 8,26$  kg; %BF:  $10,64 \pm 3,30$ %; FFM:  $65,07 \pm 6.10$  kg;  $\dot{V}O_{2PEAK}$ :  $49,33 \pm 4,23$  ml.kg<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup>) and 8 athletes in the study II (Age:  $28.62 \pm 7.63$  years; Weight:  $78.39 \pm 10,03$  kg; Height:  $175.9 \pm 4.28$  cm; %BF:  $12.51 \pm 5.33$ ; FFM:  $65,05 \pm 4,85$  kg;  $\dot{V}O_{2PEAK}$ :  $48.88 \pm 4.91$  ml.kg<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup>;  $3,82 \pm 0,33$  L.min<sup>-1</sup>). Study I involved characterization of physiological response to two typical workouts (Wod's), performed as quickly as possible (Wod<sub>1</sub>: 3x (500m on an indoor rower + 12x Dead Lifts + 21x box jump at 61cm and Wod<sub>2</sub> (21x Dead Lifts + 21x HandStand Push-Up "HSPU") + (15x Dead Lifts + 15x "HSPU") + (9x Dead Lifts + 9x "HSPU") and identify its association with aerobic and anaerobic capacity parameters for which two laboratory tests were performed, a maximal incremental test and a supramaximal test (110% Maximal Aerobic Speed). In the laboratory test, all athletes were evaluated on a treadmill, where the gas exchanges being quantified with the use of a portable analyzer (Metamax 3B, Cortex, Germany). Blood lactate [La<sup>-</sup>] was measured using the Lactate Pro 2™ portable device (Arkray, Koji, Japan). The estimation of aerobic cost ( $W_{AER}$ ) was performed from the accumulated oxygen volume used during the task. The estimation of lactic anaerobic component ( $W_{[La^-]}$ ) was performed by taking into account the gradient of lactatemia before and after the effort to be characterized. The alactic anaerobic component ( $W_{PCR}$ ) was calculated from the  $\dot{V}O_2$  fast recovery phase curve ( $EPOC_{FAST}$ ). In order to modelling  $\dot{V}O_2$  kinetics curve, data were collected by breath-by-breath mode and exposed to a monoexponential modelling. In study II, the same physiological parameters were determined before and after 6 weeks of CrossFit® training, and after 3 detraining weeks. Was also assessed at the same period, the performance and physiological response to Wod<sub>1</sub>.

**RESULTS:** In study I, the relative energy contribution ( $W_{AER}$ ;  $W_{[La^-]}$  e  $W_{PCR}$ ) was, in, Wod<sub>1</sub>,  $73,75 \pm 3,4$ %;  $17,61 \pm 3,9$ % e  $8,63 \pm 4,9$ %, e no Wod<sub>2</sub>  $46,83 \pm 13,5$ %,  $36,45 \pm 14,2$ % e  $16,7 \pm 8$ % revealing aerobic system predominance in both Wod's. The differences are due to the duration required for each one. In Wod<sub>1</sub>, a positive correlation was found between  $Time_{TOT}$  and the time constant of  $\dot{V}O_2$  kinetics ( $\tau_p$ ) ( $r=0.582$ ;  $p=0.046$ ), indicating the meaning of aerobic muscular adaptations for the performance. In Wod<sub>2</sub>  $\dot{V}O_{2PEAK}$  was associated to  $Time_{TOT}$  ( $r=0,635$ ;  $p=0,027$ ), denoting probably that the best performance depends of the anaerobic adaptations of the athletes. Regarding to study II, significant differences were shown in the maximal incremental test in:  $\dot{V}O_{2PEAK}$  (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) ( $p=0,000$ ;  $+4,6$ %[pre - post]);  $\dot{V}O_{2PEAK}$  (L.min<sup>-1</sup>) ( $p=0,016$ ;  $4,3$ %[pre - post]) and  $VT_2$  ( $p=0,000$ ;  $4,4$ % [pre - post]), and in the supramaximal test in:  $\dot{V}O_{2PEAK}$  (ml.kg<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup>)  $p=0.03$  [ $+4,4$ %] e no  $\dot{V}O_{2PEAK}$  (L.min<sup>-1</sup>)  $p=0.03$  [ $+4.8$ %]. Yet, in the supramaximal test there was a decrease in the anaerobic capacity from pre and post training to detraining (DT) ( $p<0.05$ ). In Wod<sub>1</sub>, an improvement in  $Time_{TOT}$  ( $p=0.000$  [ $-3.3$ %]) was observed; significant decrease in  $HR_{PEAK}$  (bpm) ( $p=0.010$  [ $-4.69$ %]); %  $HR_{PEAK}$  ( $p=0.014$  [ $-5,29$ %]);  $\dot{V}O_{2PEAK}$  ( $p=0.009$  [ $-7,38$ %]). Simultaneously, there was an increase in  $W_{AER}$  contribution ( $p=0.028$ ; [ $+4,45$ %]). Concerning to  $\dot{V}O_{2k}$  (moderate intensity), significant differences were observed at  $A_p$

( $p=0,042$ );  $td_p$  ( $p=0,023$ ) from pre to post training and from pre-training to DT ( $p=0,017$ );  $td_p$  ( $p=0,022$ ) respectively. At  $\dot{V}O_{2k}$  (supramaximal intensity) showed significant differences from post and pre-training to detraining (DT) in  $A_p$  ( $p=0,030$ [post];  $p=0,046$ [pre]);  $\dot{V}O_{2PEAK}$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) ( $p=0,043$ [post];  $p=0,045$  [pre]).

**CONCLUSION:** To the best of our knowledge, this is the first study to characterize the physiological response to typical CrossFit® Wod's and to investigate the effect of CrossFit® training period on aerobic and anaerobic capacity's. Data indicate a high metabolic rate in CrossFit®. Although exercises with high additional loads require almost maximum intensities to be anaerobic dominance, the high volume of exercises makes the Wod's supplies more anaerobic capacity dependence, but also aerobic power. Whether long (> 10min) or short (<2:30min), Wod's endorse very high lactic concentrations. Data also shows that six weeks of CrossFit® induce positive changes in cardiorespiratory and metabolic indicators and that three week detraining period is enough to cause significant losses in these same performance indicators as well as changes in body composition.

**Keywords:** CrossFit®, Energy Cost, Training, Maximal Oxygen Uptake, Oxygen Uptake Kinetics, Anaerobic Capacity

## **RESUMO**

**INTRODUÇÃO:** O CrossFit é caracterizado por movimentos funcionais constantemente variados realizados a uma intensidade elevada. Apesar da sua popularidade, os dados científicos sobre a sua prática e efeitos são escassos. Logo, o objetivo desta investigação foi: 1) Caracterizar a resposta fisiológica a tarefas típicas de CrossFit®; 2) Averiguar o efeito de um período de treino de CrossFit® nas capacidades aeróbia e anaeróbia.

**MÉTODOS:** Participaram 12 atletas do sexo masculino no estudo I (Idade:  $28,67 \pm 5$  anos; Peso:  $75,34 \pm 8,26$  kg; Altura:  $175,5 \pm 6,10$  cm; %MG:  $10,64 \pm 3,30$ %; MIG:  $65,07 \pm 6,10$  kg;  $\dot{V}O_{2PICO}$ :  $49,33 \pm 4,23$  ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) e 8 atletas no estudo II (Idade:  $28,62 \pm 7,63$  anos; Peso:  $78,39 \pm 10,03$  kg; Altura:  $175,9 \pm 4,28$  cm; %MG:  $12,51 \pm 5,33$ %; MIG:  $65,05 \pm 4,85$  kg;  $\dot{V}O_{2PICO}$ :  $48,88 \pm 4,91$  ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>). O estudo 1 envolveu a caracterização da resposta fisiológica a duas tarefas típicas da modalidade, executados de modo a que o tempo da sua realização seja o mínimo possível, (Wod<sub>1</sub>: 3x (500 metros em remoergómetro + 12 x Peso Morto + 21 saltos para a caixa com 61cm e Wod<sub>2</sub>: (21 x Peso Morto + 21 x "HSPU") + (15 x Peso Morto + 15 x "HSPU") + (9 x Peso Morto + 9 x "HSPU")) e a verificação da sua associação com parâmetros da capacidade aeróbia e anaeróbia para o que realizaram dois testes laboratoriais, um progressivo máximo e supramáximo. Nos testes laboratoriais, todos os atletas foram avaliados em passadeira, sendo as trocas gasosas quantificadas com a utilização de um analisador portátil (Metamax 3B, Cortex, Alemanha). A concentração de lactato no sangue [La] foi medida usando o dispositivo portátil Lactate Pro 2™ (Arkray, Koji, Japão). A estimativa do custo aeróbio foi realizada a partir do volume de oxigénio acumulado utilizado durante a tarefa ( $W_{AER}$ ). A estimativa da componente anaeróbia láctica ( $W_{[La]}$ ) foi realizada levando em conta o gradiente de lactatemia antes e depois do esforço a caracterizar. O custo anaeróbio alático ( $W_{ALA}$ ) foi calculado a partir da fase rápida da curva de  $\dot{V}O_2$  de recuperação (EPOC<sub>RAPIDO</sub>). De modo a modelar a curva do  $\dot{V}O_2$  (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) para estimativa da respetiva cinética, os dados foram recolhidos no modo "respiração a respiração" e sujeitos a uma modelação monoexponencial. No estudo 2 foram determinados os mesmos parâmetros fisiológicos antes e após 6 semanas de treino de CrossFit® tipificado e após 3 semanas de destreino. Foi ainda avaliado, nos mesmos momentos, o desempenho e a resposta fisiológica ao Wod<sub>1</sub>.

**RESULTADOS:** No estudo I, a contribuição energética relativa ( $W_{AER}$ ;  $W_{[La]}$  e  $W_{ALA}$ ) foi, no Wod<sub>1</sub>,  $73,75 \pm 3,4$ %;  $17,61 \pm 3,9$ % e  $8,63 \pm 4,9$ %, e no Wod<sub>2</sub>  $46,83 \pm 13,5$ %,  $36,45 \pm 14,2$ % e  $16,7 \pm 8$ % manifestando predominância do sistema aeróbio em ambos. As diferenças são decorrentes da duração exigida para a realização de cada um. No Wod<sub>1</sub> foi encontrada uma correlação positiva entre a Duração<sub>TOT</sub> e a constante temporal da cinética do  $\dot{V}O_2$  ( $\tau_p$ ) ( $r=0,582$ ;  $p = 0,046$ ), denotando a importância das adaptações aeróbias musculares para o desempenho. No Wod<sub>2</sub> o  $\dot{V}O_{2PICO}$  mostrou-se associado à Duração<sub>TOT</sub> ( $r=0,635$ ;  $p=0,027$ ), provavelmente indicando que o melhor desempenho depende das adaptações anaeróbias dos indivíduos. Relativamente ao estudo II, foram verificadas diferenças significativas no teste progressivo em:  $\dot{V}O_{2PICO}$  (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) ( $p = 0,000$ ; +4,6% [pré - pós]);  $\dot{V}O_{2PICO}$  (L.min<sup>-1</sup>) ( $p = 0,016$ ; +4,3% [pré - pós]) and  $L_{V2}$  ( $p = 0,000$ ; +4,4% [pré - pós]) e no teste supramáximo, em:  $\dot{V}O_{2PICO}$  (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)  $p = 0,03$ ; [+4,4%]) e no  $\dot{V}O_{2PICO}$  (L.min<sup>-1</sup>)  $p = 0,03$ ; [+4,8%]). Ainda no supramáximo, verificou-se um decréscimo da capacidade anaeróbia dos momentos de pré e pós treino para o destreino ( $p = <0,05$ ). No Wod<sub>1</sub> observou-se uma melhoria na

Duração<sub>TOT</sub> do Wod<sub>1</sub> ( $p=0.000$  [-3.3%]) diminuição significativa na FC<sub>PICO</sub> (bat.min<sup>-1</sup>) ( $p=0.010$ [-4.69%]); %FC<sub>PICO</sub> ( $p=0.014$  [-5,29%]);  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $p=0.009$  [-7,38%]) . Simultaneamente, verificou-se um aumento da contribuição do W<sub>AER</sub> ( $p=0.028$ ; [+4,45%]). Relativamente à  $\dot{V}O_{2k}$  (intensidade moderada), observaram-se diferenças significativas ao nível da A<sub>p</sub> ( $p=0.042$ );  $td_p$  ( $p=0.023$ ) do pré para o pós treino e do pré-treino para o destreino ( $p=0,017$ ) e ( $p=0,022$ ) respetivamente. Na  $\dot{V}O_{2k}$  na intensidade supramáxima verificaram-se diferenças do pós-treino e pré-treino para o destreino na A<sub>p</sub> ( $p=0.030$  [pós];  $p=0,046$ [pré]);  $\dot{V}O_{2PICO}$  (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) ( $p=0.043$  [pós];  $p=0,045$ [pré]).

**CONCLUSÃO:** Tanto quanto sabemos este é o primeiro estudo a caracterizar a resposta fisiológica a tarefas típicas de CrossFit® e averiguar o efeito de um período de treino de CrossFit® nas capacidades aeróbia e anaeróbia. Os dados indicam uma alta taxa metabólica no CrossFit®. Embora os exercícios com cargas adicionais elevadas exijam intensidades quase máximas sendo predominantemente anaeróbias, o elevado volume dos exercícios tornam a exigência dos Wod's mais dependente da capacidade anaeróbia, mas também da potência aeróbia. Quer sejam longos (>10min) ou curtos (<2:30min), os Wod's promovem concentrações lácticas muito altas. Os dados também mostram que seis semanas de CrossFit®, induzem mudanças positivas nos indicadores cardiorrespiratórios e metabólicos, e que um período de destreino de três semanas é suficiente para causar perdas significativas nestes mesmos indicadores, no desempenho, assim como alterações na composição corporal.

**Palavras Chave:** CrossFit®, Custo Energético, Treino, Consumo Máximo de Oxigénio, Cinética do Consumo de Oxigénio, Capacidade Anaeróbia.

## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	I
ABSTRACT .....	III
RESUMO .....	V
ÍNDICE .....	VII
TABELAS .....	XI
GRÁFICOS .....	XIII
FIGURAS.....	XV
ABREVIATURAS .....	XVII
I. CAPÍTULO – INTRODUÇÃO .....	1
1.1 INTRODUÇÃO .....	3
1.2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	4
1.3 OBJETIVOS DO ESTUDO.....	6
1.4 PRESSUPOSTOS E LIMITAÇÕES .....	7
1.5 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	7
II. CAPÍTULO - REVISÃO DA LITERATURA .....	9
2.1 O QUE É O CROSSFIT®? .....	11
2.2 IMPORTÂNCIA DA PERIODIZAÇÃO .....	14
2.3 INVESTIGAÇÃO NO CROSSFIT®.....	18
2.4 TREINO INTERVALADO (TI) .....	22
2.5 CARACTERIZAÇÃO DO CUSTO METABÓLICO DO TREINO .....	24
2.6 QUANTIFICAÇÃO DA CARGA DE TREINO.....	31
2.7 RESPOSTA AGUDA PERANTE PROCESSO DE TREINO.....	34
2.8 IMPACTO DO TREINO INTERVALADO NA CAPACIDADE AERÓBIA .....	45
2.9 LIMIARES VENTILATÓRIOS ( $L_{V1}$ E $L_{V2}$ ) .....	47
2.10 CAPACIDADE ANAERÓBIA (CAN).....	48
2.10.1 MÁXIMO DÉFICE ACUMULADO DE $O_2$ (MAOD) .....	49
2.10.1.1 MÁXIMO DÉFICE ACUMULADO DE $O_2$ REDUZIDO (MAOD <sub>RED</sub> ) .....	51
2.11 DESTREINO (DT) .....	53

<b>III. CAPITULO – METODOLOGIA.....</b>	<b>57</b>
<b>3.1 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA.....</b>	<b>59</b>
<b>3.2 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO.....</b>	<b>60</b>
<b>3.3 PROCEDIMENTOS TRANSVERSAIS A TODOS OS ESTUDOS.....</b>	<b>60</b>
<b>3.4 MÉTODOS.....</b>	<b>61</b>
3.4.1 DESENHO EXPERIMENTAL - ESTUDO I.....	61
3.4.2 DESENHO EXPERIMENTAL – ESTUDO II.....	61
3.4.3 MATERIAIS.....	62
3.4.4 PROTOCOLO COMBINADO DE TESTE CARDIORRESPIRATÓRIO CONTÍNUO PROGRESSIVO MÁXIMO COM TRANSIÇÕES NO REGIME MODERADO.....	63
3.4.5 TESTE SUPRAMÁXIMO DE VELOCIDADE CONSTANTE.....	64
3.4.6 PERFORMANCE NO CROSSFIT®.....	64
<b>3.5 ANÁLISE DE DADOS.....</b>	<b>65</b>
3.5.1 CÁLCULO DO CUSTO ENERGÉTICO.....	65
3.5.2 DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE ANAERÓBIA (CAN).....	66
3.5.3 MODELAÇÃO DA CINÉTICA DO $\dot{V}O_2$ ( $\dot{V}O_{2K}$ ).....	67
<b>3.6 LACTATEMIA [LA].....</b>	<b>67</b>
<b>3.7 PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO (PSE).....</b>	<b>67</b>
<b>3.8 FREQUÊNCIA CARDÍACA (FC).....</b>	<b>68</b>
<b>3.9 ANTROPOMETRIA E COMPOSIÇÃO CORPORAL.....</b>	<b>68</b>
<b>3.10 <math>\dot{V}O_{2K}</math> NO REGIME DE INTENSIDADE MODERADO.....</b>	<b>68</b>
<b>3.11 <math>\dot{V}O_{2K}</math> EM INTENSIDADE SUPRAMÁXIMA.....</b>	<b>69</b>
<b>3.12 ORGANIZAÇÃO DO PROTOCOLO DE TREINO (WOD's).....</b>	<b>69</b>
<b>3.13 CARGA INTERNA DE TREINO (ESTUDO II).....</b>	<b>69</b>
<b>3.14 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....</b>	<b>77</b>
<b>IV . CAPÍTULO - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>79</b>
<b>4.1 CONTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA E PARÂMETROS DETERMINANTES METABÓLICOS PARA O DESEMPENHO DA PERFORMANCE NO CROSSFIT® (ESTUDO I).....</b>	<b>81</b>
4.1.1 INTRODUÇÃO.....	81
4.1.2 RESULTADOS.....	82
4.1.3 DISCUSSÃO.....	87
4.1.4 CONCLUSÃO.....	91

<b>4.2 EFEITOS DO TREINO E DESTREINO SOBRE OS INDICADORES CARDIORRESPIRATÓRIOS EM ATLETAS DE CROSSFIT® (ESTUDO II)</b> .....	<b>93</b>
4.2.1 INTRODUÇÃO .....	93
4.2.2 RESULTADOS.....	94
4.2.3 DISCUSSÃO .....	107
4.2.4 CONCLUSÃO.....	117
<b>V. CAPÍTULO - CONCLUSÕES</b> .....	<b>119</b>
<b>5.1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>121</b>
<b>5.2 PRINCIPAIS CONCLUSÕES DA INVESTIGAÇÃO</b> .....	<b>121</b>
<b>5.3 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS</b> .....	<b>122</b>
<b>5.4 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS INVESTIGAÇÕES</b> .....	<b>123</b>
<b>VI. CAPÍTULO - BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>125</b>



## **TABELAS**

<i>Tabela 1– Modelo Macrovisualização CrossFit® – 3 dias treino, 1 dia pausa – adaptado de Glassman (2012)</i> .....	16
<i>Tabela 2 – Modelo Macrovisualização CrossFit® – 5 dias treino, 2 dia pausa – adaptado de Glassman (2012)</i> .....	16
<i>Tabela 3 – Exercícios por modalidade – adaptado de Glassman (2012)</i> .....	17
<i>Tabela 4 – Estrutura do treino de CrossFit® – adaptado de (Glassman, 2012)</i> .....	17
<i>Tabela 5- Caracterização da amostra (estudo I). São apresentados os valores de média e desvio padrão das variáveis estudadas (n=12)</i> .....	59
<i>Tabela 6 - Caracterização geral da amostra (estudo II). São apresentados os valores de média e desvio padrão das variáveis estudadas (n=8)</i> .....	60
<i>Tabela 7 – Organização do Protocolo de Treino e respetiva periodização durante 6 semanas de CrossFit®</i> .....	71
<i>Tabela 8 – Resposta fisiológica durante os testes progressivo e supramáximo</i> .....	82
<i>Tabela 9 - Resposta fisiológica durante os Wod's de CrossFit®</i> .....	83
<i>Tabela 10 – Respostas Metabólicas dos Wod's de CrossFit®</i> .....	84
<i>Tabela 11 - Valores médios e desvio padrão dos parâmetros da cinética do VO<sub>2</sub> no teste na passeadeira a intensidade moderada e supramáxima a 110% da VAM</i> .....	85
<i>Tabela 12 – Capacidade Anaeróbia (CAN)</i> .....	87
<i>Tabela 13 - Distribuição dos volumes de treino de acordo com os impulsos de treino (TRIMPs) em cada uma das semanas</i> .....	95
<i>Tabela 14 - Distribuição dos volumes de treino de acordo com a percepção subjetiva de esforço (PSE) em cada uma das semanas</i> .....	95
<i>Tabela 15 - --Valores médios e desvio padrão da duração; FC<sub>MED</sub>; TRIMPs e PSE de cada zona de treino</i> .....	96
<i>Tabela 16 - Tabela com valores ao longo dos momentos das variáveis corporais, peso e composição corporal</i> .....	98
<i>Tabela 17 – Tabela com valores ao longo dos momentos das variáveis cardiorrespiratórias e ventilatórias obtidas no teste progressivo</i> .....	98
<i>Tabela 18 - Tabela com valores ao longo dos momentos das variáveis cardiorrespiratórias e ventilatórias obtidas no teste supramáximo (110%VAM)</i> .....	101
<i>Tabela 19 - Tabela com valores ao longo dos momentos das variáveis cardiorrespiratórias e ventilatórias obtidas Wod<sub>1</sub></i> .....	102
<i>Tabela 20 - tabela com valores ao longo dos momentos dos parâmetros da VO<sub>2k</sub> no teste de intensidade moderada</i> .....	104
<i>Tabela 21 – Tabela com valores ao longo dos momentos dos parâmetros da VO<sub>2k</sub> no teste supramáximo a 110%VAM</i> .....	104

*Tabela 22- Constante temporal ( $\tau$ ) na resposta on e off do  $\dot{V}O_2$  no domínio supramáximo e do  $Wod_1$  .....106*

*Tabela 23 – Contribuição dos sistemas energéticos pré e pós treino de seis semanas no  $Wod_1$ .107*

## **GRÁFICOS**

Gráfico 1 - Apresentação das fases caracterização da resposta do $V O_2$ – adaptado de Bearden and Moffatt (2000).....	39
Gráfico 2 - Sistemas energéticos Wod's de CrossFit®.....	84
Gráfico 3 - Exemplo de uma resposta da cinética (suavizada) de $V O_2$ , observada num atleta do exercício em intensidades Moderada e Supramáxima.....	85
Gráfico 4 -Exemplo de uma resposta da cinética de $V O_2$ , observada num atleta do estudo durante as 3 voltas de 500metros num remoergómetro.....	86
Gráfico 5 - Exemplo da Cinética de consumo de Oxigénio ( $V O_{2k}$ ) de um atleta na tarefa (wod <sub>1</sub> ) com inicio a diferentes taxas metabólicas.....	86
Gráfico 6 - Resposta da FC e do $V O_2$ de um atleta durante o treino nos 2 Wod's.....	87
Gráfico 7 - Dados do total de sessões dos TRIMPS e PSE nas seis semanas de treino.....	96
Gráfico 8 - Dados dos totais dos TRIMPS e PSE referentes a seis semanas de treino.....	96
Gráfico 9 - Duração (min) e carga interna de treino (TRIMPs) por zonas de intensidade.....	96
Gráfico 10 - Percentagem de carga de treino em zonas de intensidade.....	97
Gráfico 11 - Relação entre os métodos de quantificação de cargas: PSE e TRIMP <sub>BANISTER</sub> .....	97
Gráfico 12 – Variação individual dos valores de $V O_{2PICO}$ ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ) (fig. A) e $V O_{2ICO}$ ( $L.min^{-1}$ ) (fig. B) para o pré treino (pré); pós treino (pós) e destreino (DT).....	99
Gráfico 13 – Valores do $L_{V2}$ ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ) no pré, pós treino e DT.....	100
Gráfico 14 - Valores dos $L_{V1}$ (fig. A) e $L_{V2}$ (fig. B) da VAM.....	100
Gráfico 15- Valores dos $L_{V1}$ (fig. A) e $L_{V2}$ (fig. B) da FC ( $bat.min^{-1}$ ).....	100
Gráfico 16 - Dados da VAM no pré; pós treino e DT.....	101
Gráfico 17 - Dados do $V O_{2PICO}$ no teste Supramáximo a 110% da VAM.....	102
Gráfico 18 - Dados da $FC_{PICO}$ e $FC_{MED}$ (fig. A) e duração do Wod <sub>1</sub> (fig. B) no pré e pós treino.....	103
Gráfico 19 - Dados de percentagens da $FC_{PICO}$ , $FC_{MED}$ ; $V O_{2PICO}$ ; $V O_{2MED}$ no pré e pós treino no Wod.....	103
Gráfico 20 - Dados da cinética de $V O_2$ de um atleta: $A_p$ (fig. A); $t$ (fig. B) e $V O_{2PICO}$ (fig. C) nos diferentes domínios de intensidade (moderada, supramáxima) e no Wod <sub>1</sub> , no Pré e Pós e DT...	105
Gráfico 21 - Resposta do perfil de 3 atletas com um $V O_{2PICO}$ similar mas com $\tau$ diferente (fig. A e B).....	105
Gráfico 22 – Contribuição energética da Capacidade Anaeróbia ( $J.kg^{-1}$ ) no teste supramáximo 110%VAM.....	106
Gráfico 23 - Contribuição energética da Capacidade Anaeróbia ( $J.kg^{-1}$ ) no Wod <sub>1</sub> .....	107
Gráfico 24 - Contribuição energética pré e pós treino no Wod <sub>1</sub> .....	107



## **FIGURAS**

<i>Figura 1 – Esquema das nove variáveis que definem uma sessão de HIIT, adaptado de Buchheit &amp; Laursen, 2013b)</i> .....	24
<i>Figura 2 - Cinética do consumo de oxigénio e do lactato sanguíneo nos domínios moderado, pesado e severo (abaixo do <math>VO_{2PICO}</math>) retirado de Carita et al., (2014)</i> .....	40
<i>Figura 3 - Cinética do consumo de oxigénio e do lactato sanguíneo no domínio severo para exercícios realizados a 100% e 120% <math>VO_{2PICO}</math>., retirado de Caputo, (2006); Denadai &amp; Caputo, (2003).</i> .....	40
<i>Figura 4 - Relação linear entre <math>VO_2</math> e cargas submáximas em cicloergómetro, e extrapolação da relação para carga acima do <math>VO_{2PICO}</math> (supramáxima) .....</i>	49
<i>Figura 5 - Exemplo gráfico dos princípios metodológicos empregados na determinação do MAOD (adaptado de Medbø et al., 1988)</i> .....	50



## **ABREVIATURAS**

(a-v) O <sub>2</sub>	Diferença entre sangue arterial e sangue venoso de oxigénio (artério-venosa)
[La <sup>-</sup> ]	Lactato
Δ[La <sup>-</sup> ]	Delta de lactato / diferença entre valor máximo de repouso de Lactato
A <sub>P</sub>	Amplitude da fase primária
A <sub>CL</sub>	Amplitude da componente lenta
A <sub>CL</sub> '	Amplitude relevante da componente lenta
ACSM	American College of Sports Medicine
ART	Treino aeróbio e de força de intensidade moderada
ATP	Adenosina trifosfato
Box	Ginásio para a prática de CrossFit®
bat.min <sup>-1</sup>	Batimento por minuto
CAN	Capacidade Anaeróbia
CET	Carga Externa de Treino
CIT	Carga Interna de Treino
CL	Componente lenta
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CT	Carga de treino
DE	Dispêndio energético
DefO <sub>2</sub>	Défice de oxigénio
DE <sub>L</sub>	Dispêndio energético líquido
DEXA	Densitometria radiológica de dupla energia
DT	Destreino
Duração <sub>TOT</sub>	Duração total
EEML	Estado estacionário máximo de lactato
EPOC	Consumo Excessivo de Oxigénio Pós-Exercício
FC	Frequência cardíaca
FC <sub>MAX</sub>	Frequência cardíaca máxima
FC <sub>PICO</sub>	Frequência cardíaca máxima atingida num dado momento
FC <sub>REP</sub>	Frequência cardíaca de repouso
FeCO <sub>2</sub>	Fração expirada de Dióxido de Carbono

FeO <sub>2</sub>	Fração expirada de Oxigénio
G	Ginástica
H <sup>+</sup>	Íons de Hidrogénio
HIFT	Treino funcional de intensidade elevada
HIIT	Treino intervalado de intensidade elevada
HSPU	Extensões de cotovelo em apoio facial invertido
IMC	Índice de massa corporal
J	Joules
J.kg <sup>-1</sup>	Joule por quilograma
KB	Kettlebell
kcal	Quilocaloria
kcal.min <sup>-1</sup>	Quilocaloria por minuto
kg	Quilograma
kJ	Quilojoule
J.kg <sup>-1</sup>	Joule por quilograma
J.kg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup>	Quilojoule por minuto
L.min	Litros por minuto
L.O <sub>2</sub>	Litros de Oxigénio
LL	Limiar Lático
LV	Limiar Ventilatório
L <sub>V1</sub>	1º Limiar Ventilatório
L <sub>V1</sub> FC	Frequência cardíaca alcançada no 1º Limiar Ventilatório
%L <sub>V1</sub> FC	Percentagem da frequência cardíaca máxima alcançada no 1º Limiar Ventilatório
L <sub>V2</sub>	2º Limiar Ventilatório
L <sub>V2</sub> FC	Frequência Cardíaca alcançada no 2º Limiar Ventilatório
%L <sub>V2</sub> FC	Percentagem da frequência cardíaca máxima alcançada no 2º Limiar Ventilatório
M	Treino metabólico
MICT	Treino contínuo de intensidade moderada
min	Minutos
MAOD	Défice máximo acumulado de oxigénio
MAOD <sub>RED</sub>	Défice máximo acumulado de oxigénio de forma reduzida
MG	Massa gorda
MIG	Massa isenta de gordura

mmol	Milimole
n	Amostra
O <sub>2</sub>	Oxigénio
$\rho$	Significância
PC	Potência Crítica
PCO <sub>2</sub>	Pressão de dióxido de carbono
PCr	Fosfocreatina
P <sub>MED</sub>	Potência média
PO <sub>2</sub>	Pressão de oxigénio
P <sub>PICO</sub>	Potência pico
PSE	Perceção subjetiva de esforço
$\dot{Q}$	Débito Cardíaco
QR	Quociente das trocas respiratórias
R <sup>2</sup>	Coefficiente determinação
reps	Repetições
rest	Pausa
RM	Repetição máxima
s	Segundos
SEE	Erro padrão da média
SIT	Sprint Interval training
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
t	Tempo
TA	Treino aeróbio
$\tau_p$	Constante de tempo da fase primária
$\tau_{pOFF}$	Constante de tempo da fase primária da recuperação
$\tau_{CL}$	Constante de tempo da componente lenta
TC	Treino contínuo
td	Tempo de atraso
TF	Treino de força
TI	Treino intervalado
T <sub>LIM</sub>	Tempo até à exaustão
T <sub>LIM</sub> $\dot{V}O_{2PICO}$	Tempo mantido no $\dot{V}O_{2PICO}$
TRIMP	Impulso de treino

$t\dot{V}O_{2PICO}$	Tempo em que atinge o $\dot{V}O_{2PICO}$
U.A.C	Unidade arbitrária de carga
UM	Unidade Motora
$v_{LV1}$	Velocidade associada ao primeiro limiar Ventilatório
$\%v_{LV1}$	Percentagem da VAM associada no 1º Limiar Ventilatório
$v_{LV2}$	Velocidade associada ao segundo limiar Ventilatório
$\%v_{LV2}$	Percentagem da VAM alcançada no 2º Limiar Ventilatório
VAM	Velocidade aeróbia máxima
$\dot{V}CO_2$	Consumo de Dióxido de Carbono
$\dot{V}e$	Ventilação
$\dot{V}O_2$	Consumo de Oxigénio
$\dot{V}O_{2BASE}$	Consumo de Oxigénio de repouso
$\dot{V}O_{2PICO}$	Consumo máximo de oxigénio atingido na prova
$\dot{V}O_{2MED}$	Consumo médio de oxigénio
$\dot{V}O_{2AC}$	Consumo de oxigénio acumulado
$v\dot{V}O_{2PICO}$	Velocidade mínima em que é atingido o $\dot{V}O_{2PICO}$
$t\dot{V}O_{2PICO}110\%$	Tempo onde é atingido a $\dot{V}O_{2PICO}$ a 110%
$\dot{V}O_{2k}$	Cinética de consumo de oxigénio
$\dot{V}O_{2kOFF}$	Cinética de recuperação do consumo de oxigénio
w	Trabalho
WL	Halterofilismo
$W_{AER}$	Dispêndio energético aeróbio
$W_{ALA}$	Dispêndio energético anaeróbio alático
$W_{ANA}$	Dispêndio energético anaeróbio
$W_{[LA]}$	Dispêndio energético anaeróbio láctico
Wod	Treino do dia

## I. CAPÍTULO – INTRODUÇÃO

*Este capítulo identifica e contextualiza o tema de estudo, e descreve a forma de organização da dissertação*



## 1.1 Introdução

Atualmente as recomendações do American College of Sports Medicine (ACSM) para obter benefícios de saúde e condição física “fitness” do exercício requerem uma intensidade moderada do exercício ( $64\text{-}76\%FC_{MAX}$ ;  $46\%\text{-}63\% \dot{V}O_{2PICO}$ ) por 40-50 minutos, cinco vezes por semana, ou vigorosa ( $76\text{-}96\% FC_{MAX}$ ;  $64\%\text{-}90\% \dot{V}O_{2PICO}$ ) para 20 minutos, três vezes por semana (Pollock et al., 1998; Ratamess, 2011).

Mais de 30% da população mundial é fisicamente inativa em questões de saúde (Hallal et al., 2012). Existe um crescente reconhecimento de que as restrições ao nível do tempo em muitas pessoas que iniciam um programa de exercícios proíbem a recomendação anterior e as solicitações de tempo mais curtos podem ser mais apropriadas (Molanorouzi, Khoo, & Morris, 2015). Além disso, sabe-se que o treino realizado a intensidades mais elevadas induzem a melhores resultados quer de força quer cardiorrespiratórios (Garber et al., 2011; Williams, 2008).

A definição de treino intervalado intensidade elevada (HIIT) não é consensual, refere-se geralmente a uma repetição de séries, curtas ou longas, de exercício a uma intensidade elevada, intercaladas com períodos de recuperação, ativa ou passiva. No entanto, a especificidade, frequência e duração de exercício necessárias para que acumule benefícios para a saúde e previna doenças relacionadas com o sedentarismo não é consensual (Gibala, 2007; Gibala, Little, MacDonald, & Hawley, 2012; Gillen & Gibala, 2014). No entanto este tipo de treino poderá induzir a melhorias na condição aeróbia, composição corporal e saúde cardiometabólica em várias populações (Babraj et al., 2009; Jakeman, Adamson, & Babraj, 2012; Tjonna et al., 2009).

No entanto, o treino é geralmente sugerido para ser de corpo inteiro, de movimentos cíclicos (mono-estruturais), como andar, correr, nadar ou andar de bicicleta não resultando em aumentos de força ou potência (Waller, Miller, & Hannon, 2011). O treino multimodal envolve a combinação de múltiplas modalidades, como exercícios de resistência aeróbia, exercícios de força e/ou exercícios em circuito. Embora haja alguma evidência para apoiar uma resposta cardiovascular ao treino contínuo de circuito, a intensidade relativa que tem sido usada para prescrever este exercício é geralmente baixa a moderada (Glassman, 2003, 2004; Hunter, Seelhorst, & Snyder, 2003). Segundo McRae et al., (2012) existem evidências limitadas de que o exercício de HIIT de baixo volume pode ser tão eficaz quanto o treino aeróbio (TA) contínuo na indução de ganhos aeróbios e superior para ganhos de resistência muscular contudo, esse método de treino não foi extensivamente investigado.

Um exemplo de HIIT é o CrossFit®, uma forma de treino de exercício multimodal, que incorpora padrões de movimento de alta intensidade de forma funcional (multiarticular) realizada em um formato de circuito com pausas curtas (intervalo de treino) ou períodos de pausa (treino contínuo) entre exercícios ou grupos de exercícios (Bergeron, Nindl, & O'Connor, 2011). Concludentemente, o HIIT tornou-se numa das três maiores tendências mundiais de fitness desde 2013 de acordo com a pesquisa anual do ACSM, o CrossFit® foi indicado como o principal motivo pelo qual o HIIT foi classificado com um nível tão elevado (Thompson, 2013, 2016, 2017).

Segundo Glassman, (2012) o CrossFit® mostra ser eficaz na indução de melhorias na aptidão cardiovascular e na composição corporal em praticantes de todos os níveis de condição física. Contudo, a metodologia de CrossFit® também tem sido criticada por sua falta de conformidade com os princípios de treino estabelecidos, porém existe pouca investigação acerca das respostas de exercícios característicos para diferentes tipos de treino e o seu enquadramento nas diretrizes estabelecidas.

O CrossFit® é caracterizado por treinos do dia “workout of the day – Wod” em que são usados exercícios “metabólicos”, como a corrida e o remar, passando pelos de Halterofilismo (*Snatch, Clean & Jerk*), para movimentos calisténicos/gímnicos (*burpees, pistol squat, pushups, pull-ups...*). Os exercícios são frequentemente realizados o mais rapidamente possível a uma intensidade elevada, com pausas limitadas ou inexistentes (Glassman, 2012; Heinrich, Patel, Joshua, & Heinrich, 2014).

## 1.2 Apresentação do problema

Devido à carência de investigação científica, estas metodologias de treino que procuram usar uma grande variedade de exercícios de alta intensidade com um grande volume e com um número máximo de repetições num determinado tempo, com curtos períodos de descanso entre as séries (Bergeron et al., 2011), a sua segurança ainda não foi provada. O número de lesões musculares, ligamentares, fraturas de stress e alguns casos de rabiomiólise<sup>i</sup> por esforço têm aumentado com a popularidade dos mesmos (Bergeron et al., 2011; McMilliam, 2012).

---

<sup>i</sup> A **rabiomiólise** é uma condição médica que pode surgir quando o tecido muscular se desintegra e o conteúdo das células musculares é libertado para dentro da corrente sanguínea. Uma molécula em particular, a mioglobina, é tóxica aos rins e pode causar insuficiência renal e, nos casos mais graves, morte. (Rosa, Silva, Teixeira, Rodrigues, & Araújo, 2005)

Este tipo de treino não tem relação causal, contudo, não segue as diretrizes do ACSM para o treino muscular, onde por exemplo, os atletas experientes realizam os exercícios avançados em fadiga neuromuscular e os mais inexperientes tentam realizar o mesmo treino, no entanto com maior exposição a lesões de sobrecarga (Leahy, 2012, 2014).

Diversas investigações comparam o TA de carácter intervalado (intensidade moderada a vigorosa, alternada por períodos de baixa intensidade) e o treino contínuo (carga constante), com o objetivo de verificar a efetividade de cada modo de execução. Os treinos de intensidade elevada e volume reduzido, têm apresentado efeitos mais benéficos tendo em conta a performance, quando comparados com os treinos de intensidade moderada e constante (Helgerud et al., 2007), tanto para indivíduos treinados e destreinados saudáveis (Bradley et al., 2011; Swain, 2005) como para pacientes portadores de doença arterial coronária (DAC) (Currie, Dubberley, McKelvie, & MacDonald, 2013).

Segundo os autores Bergeron et al., (2011); Leahy, (2012); McMilliam, (2012) os treinos intervalados de intensidade elevada (HIIT) muito populares nos últimos 5-10 anos, tais como Insanity®, P90X®, Les Mills Grit Series® e CrossFit®, apresentam adaptações similares ou até superiores nos parâmetros fisiológicos quando comparados com os treinos tradicionais contínuos. O HIIT poderá servir como uma alternativa para o tradicional treino de resistência, quando se verifica um paralelo da taxa de trabalho e/ou custo energético, além de ser, como foi referido anteriormente, uma estratégia para a “barreira” falta de tempo (Gibala et al., 2012).

Uma das limitações dos treinos de intensidade elevada é a incapacidade de se poder sustentar na ordem do tempo um esforço físico de forma elevada, levando a uma quebra da performance quando submetido a esforços máximos ou submáximos (Edwards, 1981).

Para Bogdanis (2012) a fadiga é um indício verificado durante os treinos intensos, e recentemente tem vindo a ser analisada como uma variável para gerir melhor esta cadeia de “estímulo vs. pausa”, pois, é necessário delimitar as zonas de esforço para certa tarefa, com o propósito de obter um melhor desempenho e aproveitamento dos períodos de pausa de forma a evitar que a fadiga impossibilite estímulos posteriores (Hofmann & Tschakert, 2011).

A combinação das diferentes vias aeróbia, anaeróbia dentro de cada Wod faz do CrossFit® um método de treino intrigante com o intuito de obter múltiplas adaptações fisiológicas e de

performance quer em praticantes principiantes quer em atletas experientes. Contudo, existem poucos ou nenhum relatos sobre os efeitos agudos desta metodologia de treino.

### 1.3 Objetivos do estudo

A presente investigação tem como objetivos:

1. Caracterizar a resposta fisiológica a tarefas típicas de CrossFit®;
2. Averiguar o efeito de um período de treino de CrossFit® nas capacidades aeróbia e anaeróbia.

Mais especificamente:

1. Investigar a contribuição dos sistemas energéticos e o custo energético em dois treinos representativos da modalidade (estudo I);
2. Descrever as componentes da cinética do  $\dot{V}O_2$  em atletas de CrossFit®, verificando a sua relação com o desempenho competitivo e outros parâmetros do desempenho aeróbio e anaeróbio (estudo I, II);
3. Um segundo estudo, de cariz longitudinal, onde se pretendeu avaliar os efeitos de seis semanas de treino e três semanas de destreino de CrossFit® sobre os indicadores cardiorrespiratórios em atletas da modalidade (Estudo II).

Foram colocadas as seguintes perguntas:

- a) É o CrossFit® um desporto de carácter anaeróbio?
- b) A performance ( $Duração_{TOT}$ ) no CrossFit® está relacionado com parâmetros fisiológicos que expressam adaptações aeróbias, nomeadamente o  $\dot{V}O_{2PICO}$  e a cinética do  $\dot{V}O_2$ ?
- c) Um período de 6 semanas de treino de CrossFit® resultou numa melhoria dos indicadores cardiorrespiratórios e num aumento da performance ( $Duração_{aerTOT}$ )?
- d) O destreino de 3 semanas induz uma diminuição da performance ( $Duração_{aerTOT}$ ), no CrossFit®?

## 1.4 Pressupostos e Limitações

Na realização da presente investigação foram considerados os seguintes pressupostos:

- Todos os voluntários avaliados durante a presente investigação não possuíam qualquer lesão ou patologia músculo-esquelética ;
- O período de familiarização com a condição de treino do CrossFit® era suficiente para garantir o domínio técnico adequado aos objetivos do estudo;
- Os indivíduos constituintes das diferentes amostras de estudo envolveram-se totalmente nas tarefas solicitadas, tendo cumprido o protocolo de avaliação à máxima intensidade;
- Os atletas envolvidos, por serem atletas e estarem envolvidos em períodos específicos de preparação, cumpriram o protocolo avaliativo, em condições isentas de fadiga;

Como ocorre com a maioria dos estudos, especialmente com aqueles que incluem uma intervenção longitudinal, também no presente estudo foram identificadas algumas limitações que importa salientar:

- Número reduzido da amostra e apenas composta apenas por elementos do sexo masculino;
- Ausência de avaliação intermédia (p.ex. 3ª semana) que permitisse aceder à cronologia das adaptações;
- Ausência de uma avaliação dos parâmetros da força

## 1.5 Estrutura e Organização da Dissertação

A organização deste documento seguiu a seguinte orientação:

No **Capítulo 2** incluiu-se a revisão da literatura. Nele pretende-se contextualizar a presente investigação e enquadrar-se os diferentes estudos. Apresenta uma visão geral sobre a temática de estudo, procurando salientar, sobretudo, o impacto do treino intervalado de intensidade elevada (HIIT) nos parâmetros fisiológicos do atleta; os efeitos agudos e crónicos do HIIT num ponto de vista longitudinal.

No **Capítulo 3** é apresentada uma descrição detalhada dos meios, métodos e cuidados metodológicos utilizados e assumidos ao longo do processo de investigação. Onde são também explicadas muitas das escolhas tomadas durante o percurso da investigação.

No **Capítulo 4**, os resultados dos diferentes estudos estão organizados em dois subcapítulos. Os resultados do estudo I: *“Contribuição energética e parâmetros metabólicos determinantes para o desempenho da performance no CrossFit®”* são apresentados no subcapítulo 4.1. O subcapítulo 4.2. será dedicado à apresentação e discussão dos resultados obtidos estudo II *“Os efeitos do treino e destreino sobre os indicadores cardiorrespiratórios em atletas de CrossFit®”*

O **Capítulo 5** corresponde às conclusões gerais da tese, onde são salientados os principais resultados da investigação, discutidas as implicações práticas desses resultados, e apresentadas sugestões para futuros trabalhos de investigação.

As referências que fundamentam todo o trabalho de investigação e suportaram a interpretação e discussão dos resultados são apresentadas no final do documento.

## **II. CAPITULO - REVISÃO DA LITERATURA**

*A revisão da literatura contextualiza a investigação e apresenta uma visão geral sobre a temática do estudo, procurando salientar a importância do treino de intensidade elevada e o CrossFit®*



## 2.1 O que é o CrossFit®?

CrossFit® é uma metodologia de treino criada por Greg Glassman que assenta na constante variação de movimentos funcionais realizados em alta intensidade. É a ligação das três variáveis: variação, movimentos funcionais e alta intensidade que distingue o CrossFit®, a sua filosofia e método de treino, das demais modalidades do “Fitness” (Glassman, 2012).

A variação de treino visa o alargamento da experiência de quem pratica CrossFit®. Ao contrário do que muitos críticos acreditam, esta modalidade é altamente desenvolvida na sua programação. O seu objetivo é a “não especialização” numa única vertente de treino mas sim, variar o leque de estímulos de treino para treino. Esta variação permite que o atleta desenvolva diversas capacidades físicas em simultâneo e que este esteja preparado para qualquer contingência física que a vida diária possa apresentar, não estando apenas focado numa área circunscrita da preparação, como acontece no desporto de competição, onde é a caracterização da situação competitiva que determina os âmbitos, duração e hierarquia de aplicação dos exercícios de treino.

Os movimentos funcionais são a principal ferramenta da modalidade. É através da sua realização que o atleta vai desenvolver a sua capacidade física. Estes movimentos caracterizam-se por serem naturais, como o agachamento que simula a capacidade de erguer o centro de gravidade do indivíduo onde o corpo assume um padrão de recrutamento motor universal e poliarticular. Ou seja, o nosso corpo está projetado para ser movido de uma determinada forma como resposta às necessidades da vida e através de movimentos que envolvem mais do que uma articulação apenas. São movimentos essenciais à vida independente do indivíduo e seguros de serem realizados. O CrossFit® utiliza este tipo de movimentos por estes apresentarem uma grande capacidade expressiva de obtenção de potência. Isto é, são movimentos que permitem ao atleta mover maiores cargas, durante maiores amplitudes de movimento (distância percorrida), mais rapidamente.

Finalmente, a intensidade elevada é variável, mais associada ao retorno favorável das adaptações fisiológicas que o corpo humano pode sofrer, ou seja, é considerada a “via rápida” para a obtenção de resultados. No entanto, a intensidade é, como não podia deixar de ser, modulada de forma individual a cada atleta, dependendo da tolerância física e psicológica do praticante. Essa tolerância é desenvolvida ao longo do tempo que o atleta é exposto ao estímulo de treino. Isto indica que, num mesmo treino podemos ter em simultâneo atletas com grande

tolerância e experiência de treino bem como indivíduos totalmente desconicionados e iniciados à modalidade.

O CrossFit® é muitas vezes considerada uma modalidade perigosa e que apenas se destina a pessoas com uma condição física elevada. Tal como qualquer modalidade desportiva ou de “fitness”, pode-se tornar perigosa se não for praticada de forma correta e orientada por um profissional competente. No entanto, esta é uma modalidade que se destina a qualquer indivíduo independentemente do seu estado físico, idade ou doença.

Em jeito de conclusão, o CrossFit® é uma modalidade que visa a preparação física geral do praticante. Se realizado de forma correta, é uma modalidade segura e que permite ao atleta, independentemente da sua condição ou idade, a obtenção de resultados espantosos.

### **2.1.1 CROSSFIT® E A CONDIÇÃO FÍSICA**

O CrossFit®, tal como supracitado, é definido como a aplicação de um conjunto de movimentos funcionais, constantemente variados e realizados a alta intensidade e tem como objetivo de quem o pratica a melhoria da condição física (*fitness*). Ao contrário das outras modalidades, o CrossFit® define os seus próprios termos e conceitos. Como tal, surge com uma definição própria de “*fitness*”: capacidade de trabalho nos diversos domínios modais e temporais. Isto é, define-se pela capacidade adaptativa que o indivíduo tem para realizar qualquer atividade física. Para definir este conceito, o criador da modalidade, Greg Glassman, suportou-se em quatro modelos:

- a) Equilíbrio entre as 10 Capacidades Físicas Gerais:  
Resistência Cardiorrespiratória, Endurance, Força, Flexibilidade, Potência, Velocidade, Coordenação, Pontaria, Agilidade e Equilíbrio.

Este modelo sugere que o indivíduo mais em forma, será aquele que consegue ser mais equilibrado no desenvolvimento de todas as suas capacidades físicas. Não interessa desenvolver demasiado uma ou duas capacidades, sabendo que com isso, trará deficiências no desenvolvimento das demais.

b) Tômbola:

Este modelo sugere que um indivíduo deve ser capaz de realizar qualquer tarefa aleatória que a vida possa proporcionar. O modelo indica que o atleta em melhor forma é aquele que realiza estatisticamente melhor em qualquer tarefa que possa sair de uma tómbola (modelo hipotético).

c) Vias Energéticas:

Este terceiro modelo indica que o indivíduo estará em condições de realizar tarefas dentro dos diversos domínios temporais: desde segundos a horas de execução/treino. Deste modo, a solicitação a um nível elevado dos recursos aeróbios e das vias anaeróbias (glicolítica e alática) de reposição do ATP necessários à continuação do trabalho miofibrilar conducente à produção de trabalho mecânico coloca-se na prossecução das diversas tarefas de treino apresentadas ao atleta.

De acordo com a metodologia de CrossFit®, uma preparação física total, deverá promover e desenvolver um treino executado em cada um dos 3 sistemas energéticos. Sendo essencial a compreensão do funcionamento integrado desses três sistemas em termos de participação energética nos vários tipos de atividade física .

Efetivamente, embora exista a preponderância de um determinado sistema relativamente aos outros, dependendo de fatores como a intensidade e a duração do esforço, a quantidade das reservas disponíveis em cada sistema, as proporções entre os vários tipos de fibras e a presença de enzimas específicas, a ação destes sistemas ocorre sempre simultaneamente (Gastin, 2001).

d) Doença, Bem Estar, “Fitness”:

O último modelo de suporte, apresenta uma curva contínua desde estado de doença ao “fitness”. Este modelo indica que o “fitness” assume uma posição de “barreira” contra o estado de doença. Este modelo baseia-se em biomarcadores (frequência cardíaca, tensão arterial...) mas também valores reais de execução de movimentos (capacidade de levantar o peso corporal do solo, etc.).

Estes quatro modelos suportam a definição de “fitness” anteriormente descrita. E mais importante que essa definição, é a sugestão de que, através do CrossFit®, juntamente com um

estilo de vida saudável, o indivíduo é capaz de melhorar a sua capacidade física de trabalho nos diversos domínios modais e temporais. Através da prática da modalidade, o indivíduo consegue tornar-se mais competente sob o ponto de vista funcional. E entendamos que o objetivo é o “*fitness*”, mas este conceito é um estado momentâneo: é como um registo instantâneo do nosso estado físico neste momento. A realidade é que Greg Glassman foi mais além com esta definição e conseguiu apresentar uma definição de Saúde.

A “ausência de doença” ou “valores normais dos biomarcadores” deixaram de ser definições satisfatórias. A “saúde” pode ser definida como a “*capacidade de trabalho nos diversos domínios modais e temporais durante a nossa vida*”(Glassman, 2004).

Com isto podemos entender e segundo Glassman, (2004) “saúde” é mais do que apenas um conjunto de valores biológicos, é a capacidade funcional do indivíduo em ter uma vida independente. Conseguimos atingir a melhor saúde possível, através da luta constante pela melhoria da forma física no presente, “*fitness*”. Sabemos que o nosso estado de “*fitness*” irá eventualmente estagnar e diminuir devido ao envelhecimento do ser humano. Contudo, o objetivo é lutar pela sua melhoria constantemente. Se não for possível continuar a melhorar esse estado, o objetivo passa por ser manter durante o máximo de tempo de modo a prevenir o seu decréscimo.

Em modo de conclusão, o CrossFit® define os seus próprios termos e conceitos. Através dos modelos de suporte, foi possível definir aquilo que é “*fitness*”: um registo instantâneo a atual capacidade de trabalho do indivíduo. Vários registos ao longo da vida do indivíduo permitem-nos definir o conceito de saúde – capacidade física de trabalho ao longo dos anos. Este conceito aproxima-se de um conceito funcional e não apenas biológico: capacidade de ter uma vida independente seja qual for a idade do indivíduo.

## **2.2 Importância da Periodização**

*“...pode ser definida como uma distribuição planeada ou uma variação nos métodos e meios de treino, de forma cíclica ou periódica” (Plisk & Stone, 2003)*

De acordo com Garganta (1993), periodizar o treino consiste em proceder à divisão da época desportiva em períodos/ciclos de treino, cada um dos quais com estrutura características e objetivos diferenciados em função da duração e das demais características do calendário

competitivo, mas sobretudo levando em conta a natureza da adaptação do organismo do atleta aos estímulos a que é sujeito e os princípios de treino desportivo.

Poder-se-á afirmar que a periodização tem como objetivo estruturar a carga de treino tendo em conta a sua intensidade, volume, densidade e complexidade de forma a otimizar o rendimento do atleta para a competição específica da sua modalidade e que é o método em que o processo de treino é dividido em partes mais pequenas, tornando mais fácil o manuseamento dos seus segmentos, que são normalmente chamadas de fases de treino (Bompa & Haff, 2009).

Podem, assim, ser atingidos resultados ótimos manipulando as variáveis de treino, numa sequência e combinação apropriadas, em vez de simplesmente realizar sequências de tarefas de treino de características estáveis e repetitivas (Stone, Stone, & Sands, 2007). A otimização da forma, ou seja, a obtenção de momentos da mais elevada capacidade de desempenho desportivo do atleta, no momento apropriado ou a manutenção dessa forma desportiva durante períodos determinados parecer ser o principal objetivo da periodização do treino no desporto de competição. Para isso é necessário fazer convergir os efeitos cumulativos e interativos dos diferentes meios e métodos de treino, em função das características do desempenho competitivo. Para isso, é necessário proceder a alterações cíclicas e de duração apropriada das componentes da carga, a intensidade e o volume.

A dinâmica de gestão das cargas e do eixo fadiga/adaptação/recuperação no CrossFit® surge com diferenças significativas em relação ao que ocorre na generalidade das atividades desportivas sujeitas a calendário competitivo rígido. Com efeito, a conceção de base, que consiste em estar fisicamente apto e capaz de enfrentar qualquer desafio físico leva a que o melhor procedimento é manter uma grande variação dos exercícios. Por outro lado, isto entronca no facto de a competição ser construída de forma variável na construção de “Wod’s” com caracterização muito diferenciada.

Nos dias de hoje, cada vez mais Box’s têm tentado implementar um planeamento nos treinos (Wod’s), tendo esta tendência se tornado dominante em atletas de elite desta modalidade. Deste modo, atualmente, para níveis elevados de desempenho, o CrossFit® é um sistema de treino planeado e periodizado de forma “sistémica”. Ele é delineado para melhorar concomitantemente várias habilidades funcionais, incluindo mobilidade, flexibilidade, força, potência, controlo neuromuscular, eficiência cardiovascular, agilidade e velocidade,.

## Modelos para a programação

Em primeiro lugar, o modelo do CrossFit® parece oferecer uma rotina, logo indo contra o lema de variação e imprevisibilidade ou mesmo aleatoriedade. De uma forma genérica, o padrão de treino do CrossFit® corresponde a três dias de treino e um de descanso. Com este formato, o atleta pode treinar com uma intensidade elevada e recuperar no quarto dia, devido à fadiga neuromuscular. Segundo Glassman (2006) a maior desvantagem deste sistema de treino é não se ajustar ao ciclo semanal habitual da maior parte das pessoas. O treino original correspondia a cinco dias de trabalho e dois de descanso. Todavia, o padrão de 3 dias de trabalho e 1 de pausa foi criado para permitir aumentar tanto a intensidade como a velocidade de recuperação das cargas efetuadas.

Tabela 1– Modelo Macrovisualização CrossFit® – 3 dias treino, 1 dia pausa – adaptado de Glassman (2012)

<b>DIAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b>Semana 1</b>	M	G	M		G	WL	G		WL	M	WL	
		WL	G	Descanso		M	P	Descanso		G	M	Descanso
			WL				M				G	

**Legenda:** M – (Treino metabólico mono-estrutural ou “cardio”); G – (Ginástica, exercícios com o peso do corpo); WL – (Levantamento de pesos, powerlifting, Halterofilismo)

Tabela 2 – Modelo Macrovisualização CrossFit® – 5 dias treino, 2 dia pausa – adaptado de Glassman (2012)

<b>DIAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>Semana 1</b>	M		G	M	M		
		WL		G	G	WL	Descanso
			WL				Descanso
<b>Semana 2</b>	G		P	G	G		
		M		WL	WL	M	Descanso
			M				Descanso
<b>Semana 3</b>	WL		M	WL	WL		
		G		M	M	G	Descanso
			G				Descanso

**Legenda:** M – (Treino metabólico mono-estrutural ou “cardio”); G – (Ginástica, exercícios com o peso do corpo); P – (Levantamento de pesos, powerlifting, Halterofilismo)

Tabela 3 – Exercícios por modalidade – adaptado de Glassman (2012)

<b>GINÁSTICA</b>	<b>TREINO METABÓLICO</b>	<b>LEVANTAMENTO OLÍMPICO</b>
Air squat (agachamento livre)	Run - (corrida)	Deadlifts – (Peso Morto)
Pullups (elevações na barra)	Bike – (ciclismo)	Clean's (1º tempo de Arremesso)
Push-up (extensões de braços)	Row – (Remo)	Press's
Dip (flexão de triceps)	Jump Rope – (Saltar à corda)	Snatch – (Arranco)
Handstand push-up - (flexão em apoio facial invertido – pino)	Swim – (natação)	Clean and Jerk - (1º e 2º tempo de arremesso)
Rope climb (subida de corda)		Medicine Ball Drills - (exercícios com bolas medicinais)
Muscle-up - (subida e afundo nas argolas)		Kettlebell Swing (balanços com Kettlebell)
Press to handstand back (		
Back extension sit-up - (extensão lombar)		
Sit-ups - (abdominais)		
Jumps - (saltos)		
Lunges / afundos		
Burpee		

Cada um dos treinos de CrossFit® propriamente ditos, estão representados pela inclusão de uma, duas (couplet) ou três (triplet) modalidades para cada dia. Num planeamento de 3 dias de treino e 1 dia de descanso. No dia 1, 5 e 9 são treinos onde se utiliza uma única modalidade, nos dias 2, 6 e 10 incluem duas modalidades e, por fim, os dias 3, 7 e 11 utilizam três modalidades, nos dias 4, 8 e 12 pode ser considerado como dia de descanso.

Tabela 4 – Estrutura do treino de CrossFit® – adaptado de (Glassman, 2012)

<b>Dias</b>	<b>Dias com 1 elemento (dias 1, 5, 9)</b>	<b>Dias com 2 elementos (dias 2, 6, 10)</b>	<b>Dias com 3 elementos (dias 3, 7, 11)</b>
<b>Prioridade</b>	Prioridade de elemento	Prioridade de tarefa	Prioridade de tempo
<b>Estrutura – (estrutura da série)</b>	<b>M:</b> Esforço único <b>G:</b> Habilidade única <b>WL:</b> Levantamento único	“Couplet” (circuito duplo) repetido 3 a 5 vezes considerando o tempo	“Triplet” (circuito triplo) repetido por 20 minutos considerando as voltas (rounds)
<b>(intensidade)</b>	<b>M:</b> Distância longa e lenta <b>G:</b> Habilidade elevada <b>WL:</b> Pesado	Dois elementos moderada a intensamente desafiadores.	Três elementos leve a moderadamente desafiadores.
<b>Característica de recuperação do exercício</b>	A recuperação não é um fator limitante	A gestão entre o exercício e recuperação é vital	O intervalo entre o exercício e recuperação é um fator secundário

Quando o treino inclui um único exercício, o enfoque é sobre um único exercício/esforço. Se o elemento é “M” numa posição isolada (dia 1), o treino é de esforço único, normalmente lento e longo em distância. Quando o elemento é “G” num plano individual (dia 5), o treino é a prática de uma única habilidade e tradicionalmente, é suficientemente complexa para exigir muita prática e não poderá ser adequada para ser incluída num treino cronometrado, já que o desempenho não é apropriado para que seja eficiente. Por último, quando a o elemento isolado é “WL” (dia 9), o treino é de levantamento único, habitualmente um treino com muita intensidade e pouco volume (poucas repetições).

Nos dias de elemento único, a recuperação não é um fator limitador. Caso os elementos sejam de Ginástica (G) ou Halterofilismo (WL), a recuperação deverá ser suficientemente longo e deliberado, já que o objetivo é aperfeiçoar o elemento e não o efeito metabólico total.

Nos dias de elemento duplo (dias 2,6,10), a estrutura normalmente é um “*couplet*” de exercícios executados alternadamente, perfazendo 3, 4, ou mais comumente 5 séries tendo em conta o tempo. Afirma-se que esses dias a “prioridade” é a tarefa, isto porque a tarefa é fixa variando o tempo. Os dois elementos por si só foram pensados para serem executados a uma intensidade moderada a elevada e a gestão do rácio trabalho/pausa é fundamental. Esses elementos são potencializados por meio do ritmo, carga, repetições ou de outra combinação entre os mesmos.

A estrutura tradicional para os dias de 3 elementos (3,7,11) é denominado de “*triplet*” de exercícios; desta vez, os elementos são repetidos por um certo tempo, em que, cujo objetivo é realizar o máximo de séries possível em determinado tempo, por essa razão seres dias cuja prioridade é o tempo.

### **2.3 Investigação no CrossFit®**

Até ao momento, tem havido poucos estudos acerca dos efeitos do CrossFit®. De acordo com Claudino et al., (2018), os estudos que até à data investigaram a modalidade focaram-se em dois sectores: 1) benefícios do CrossFit® (Saúde [n=4]; comportamento psicossocial [n=11]; composição corporal [n=4] e parâmetros psicofisiológicos [n=12] e 2) taxa lesional na modalidade (lesão músculo-esquelética [n=7]). Todos os estudos incluíram adultos saudáveis com diversos níveis de experiência de CrossFit®. Resumindo, pode-se dizer que o CrossFit®, ao nível de taxa de lesão e resultados na saúde, é equiparável a outros tipos de treino intervalados de intensidade elevada (HIIT) (Meyer et al., 2017). Contudo, de acordo com Drum, Bellovary,

Jensen, Moore, & Donath, (2017); Heinrich et al., 2014; Jeffery, (2012); Meyer et al., (2017); Murawska-Cialowicz, Wojna, & Zuwala-Jagiello, (2015); Patel, (2012) verificaram-se benefícios com a prática de CrossFit®, em: 1) desempenho em testes de avaliação física nas forças armadas; 2) capacidade de trabalho; 3) potência; 4) capacidade aeróbia e anaeróbia; 5) resistência muscular e 6) composição corporal.

Segundo a investigação levada a cabo por Jeffery, (2012), cujo objetivo consistiu em avaliar o terceiro padrão de “fitness” através de medidas indiretas, foram estudados trinta e sete participantes, divididos em dois grupos: Grupo experimental – (CrossFit®) e grupo de controlo seguindo um processo de treino segundo as diretrizes do ACSM. Para integrar o estudo, os atletas tinham que fazer exercício físico há pelo menos quatro meses ou CrossFit® ou TF segundo as diretrizes do ACSM. Cada participante realizou vários testes, entre eles: teste de Margaria Kalamen Power, teste anaeróbio de step, teste da milha<sup>2</sup> e três Wod’s de CrossFit® (1RM de Peso Morto, um minuto a remar o máximo de metros num ergómetro de remo e por fim um Wod intitulado de “*Murph*” (que consiste em uma milha de corrida, seguida de 100 elevações, 200 flexões de braços e 300 agachamentos com o peso corporal, terminando novamente com uma milha de corrida no menor tempo possível). Verificou-se que os atletas do grupo de CrossFit® obtiveram desempenhos melhores que os do grupo de controlo ( $t(30) = 2.21, p < 0.05$ ) no testes de Margaria Kalamen Power. De notar que este teste visa avaliar a força e potência (velocidade) do atleta (Kalamen, 1968; Margaria, Aghemo, & Rovelli, 1966).

O estudo realizado por Heinrich et al., (2014) examinou os efeitos de treino funcional de intensidade elevada (HIFT) em comparação ao treino aeróbio e de força de intensidade moderada (ART). A intervenção pré e pós-teste foi randomizada com dois grupos (ART e HIFT), num período de oito semanas. Os participantes ( $n=32$ ) foram estratificados por idade e índice de massa corporal. Os participantes eram fisicamente inativos com idade média de  $26,8 \pm 5,9$  (anos),  $31,1 \pm 3,5 \text{kg/m}^2$  (IMC),  $42,0 \pm 7,4\%$  (MG) e  $89,5 \pm 14,2 \text{kg}$  (peso). Ambos os grupos completaram três sessões de treino por semana.

Não se verificaram alterações significativas no IMC e na composição corporal. Os autores concluíram que os participantes de HIFT, gastaram menos tempo em treino por semana, no entanto mantiveram o gosto pelo exercício e tinham a intenção de o manter. Concluíram ainda

---

<sup>2</sup> - 1 milha = 1610 metros

que os exercícios de alta intensidade deveriam ser incluídos nas intervenções de saúde pública (Heinrich et al., 2014).

Kliszczewicz et al. (2015) comparou os efeitos de uma tarefa de treino de intensidade elevada na passadeira (20 min de corrida [ $>90\%$  FC<sub>MAX</sub>]) com uma sessão de CrossFit®, com foco na resposta aguda ao stress oxidativo no sangue. As recolhas plasmáticas foram realizadas foi testado antes, imediatamente após, 1 hora após e, finalmente, 2 horas após o exercício. O treino de CrossFit apresentou uma resposta aguda ao stress oxidativo no sangue semelhante à sessão tradicional de corrida na passadeira a intensidade elevada.

Num estudo realizado em dezoito indivíduos inativos com excesso de peso, em que o objetivo era comparar os efeitos do treino de CrossFit® vs. treino de força no controlo da glicose (Patel, 2012), chegou-se à conclusão que ambos os treinos (CrossFit® e TF) não originaram grandes diferenças no controlo da glicose em indivíduos com excesso de peso/obesos. Ambos os grupos apresentaram melhorias na resistência muscular (“extensões de cotovelos” com joelhos no chão CrossFit® (+39.5%;  $p<0.05$ ); TF(+24.4%;  $p=0.01$ ). O grupo de CrossFit® melhorou o numero de flexões do tronco (sit-up) (CrossFit® +6,8%;  $p=0.01$ ) e  $\dot{V}O_{2PICO}$  CrossFit® (+9,1%;  $p=0.05$ ). O tempo utilizado no treino foi significativamente diferente entre grupos, com a média do grupo de CrossFit® 38,7±15,6min/semana e 13,1±0,9min/treino e a média do grupo de TF 190.0±10,7min/semana e 63,3±3,6min/treino.

Sobrero et al. (2013) mediram a composição corporal e a força muscular, a resistência e a potência no início e no final de um semestre letivo em 60 estudantes universitários. Compararam o treino CrossFit® com um treinador com dois outros tipos de treino, tradicional com instrutor e “independente” em que um instrutor fornecia um programa de treino que era depois realizado autonomamente pelos sujeitos. O aumento médio na força muscular foi significativamente maior entre os participantes do treino tradicional versus CrossFit®, que por sua vez ganharam significativamente mais força muscular do que o grupo de treino independente. O ganho de resistência muscular na parte superior do corpo (YMCA supino) também foi significativamente maior entre os participantes do treino tradicional quando comparado com o grupo independente ( $p <0,05$ ). O CrossFit® produziu maiores ganhos nos vários parâmetros da aptidão física avaliados do que o programa de treino não monitorizado, no entanto foi inferior em benefícios quando comparado com o treino tradicional de força.

Um outro estudo comparativo do treino de CrossFit® com um treino baseado nas recomendações do ACSM referiu que o treino do CrossFit® era mais fatigante e considerada como uma atividade “muito difícil” pelos participantes (Drum et al., 2017)]. Os atletas de CrossFit® também mencionaram maiores níveis de dor muscular e inchaço pós-esforço, além de dificuldades no movimento dos membros durante ou até 48 horas após o treino.

Num estudo conduzido por Babiash, (2013), incluindo quinze indivíduos treinados (sete do sexo masculino e oito do sexo feminino) com idades compreendidas entre os 20 e 47anos, com o objetivo de estabelecer uma base quantificada da resposta a este tipo de sessões.. Antes dos treinos de CrossFit®, os atletas realizaram um teste progressivo submáximo que permitiu prever o  $\dot{V}O_{2PICO}$  de cada atleta com base na FC. Foram avaliados 2 “Wod’s” com uma duração total semelhante, variando nas sequências de exercícios, embora todos fossem habituais no CrossFit®: Wod<sub>1</sub> -“Donkey Kong” – (21-15-9 reps) de “burpees”, “kettlebell swings” e saltos para a caixa); Wod<sub>2</sub> – “Fran”– (21-15-9 reps) de “thrusters” e elevações na barra “pullups”. Em ambos os Wod’s, a FC e o  $\dot{V}O_2$  estabilizaram a partir da 2ª série em valores superiores ao limiar ventilatório, em média perto dos 80%  $\dot{V}O_{2PICO}$ , localizando o esforço no domínio de intensidade pesada.

A intensidade elevada do CrossFit® foi descrita ainda pelos valores de lactatemia [La-] dos atletas, com uma média de 15,9mmol/L para os atletas masculinos e 12,4mmol/L para o sexo feminino, valores claramente acima do limiar láctico (LL). Os investigadores chegaram à conclusão que com os exercícios de CrossFit® realizados a uma intensidade elevada, existe uma melhoria da componente aeróbia, e ao mesmo tempo um gasto metabólico elevado.

De acordo com os estudos de Bellar, Hatchett, Judge, Breaux, & Marcus, (2015) e Butcher, Neyedly, Horvey, & Benko, (2015), a força, a potência, a resistência e a experiência na modalidade, foram variáveis associadas ao desempenho no CrossFit®. Butcher et al. (2015)] indicaram a força como sendo um preditor de desempenho em alguns Wod’s como “Grace”, “Fran” e “Cindy”. Estes autores também descobriram que o  $\dot{V}O_{2PICO}$ , o teste de Wingate e os limiares anaeróbios não se foram correlacionavam com o desempenho dos Wod’s. Por outro lado, Bellar et al., (2015) reportaram serem o  $\dot{V}O_{2PICO}$  e a potência anaeróbia preditores significativos de desempenho após um treino de CrossFit®.

Com base nas revisões sistemáticas a que tivemos acesso (Claudino et al., 2018; J. Meyer et al., 2017), os Wod’s apresentam respostas psicofisiológicas muito variadas: frequência cardíaca

entre 54 e 98% da  $FC_{MAX}$ , níveis de  $[La^-]$  entre 6 e 15  $mmol.L^{-1}$ ,  $\% \dot{V}O_{2PICO}$  entre 57 e 66%, PSE entre 8 e 9 (0-10 Borg). Alguns Wod's (p. ex., "Fran", "Cindy" e "15.5") podem ser identificados como de intensidade elevada, enquanto outros (p.ex. "CrossFit® triplet") podem ser considerados moderados. Contudo, são necessárias mais estudos, pois a literatura atual é inconclusiva quanto aos preditores do desempenho do CrossFit® e às respostas agudas e crônicas de cada Wod.

## **2.4 Treino intervalado (TI)**

A similitude da estrutura dos Wod's do CrossFit® com o chamado treino intervalado e alta intensidade (HIIT) justifica que recorramos a estudos sobre este método de treino para tentar compreender melhor o que poderão ser os efeitos agudos e crônicos daquele.

Está bem estabelecido atualmente que o HIIT fomenta melhorias equivalentes ou até mesmo superiores nos indicadores fisiológicos ligados ao desempenho aeróbio, quando comparado com os métodos contínuos tradicionais de resistência, quer em populações especiais quer em populações saudáveis (Gibala et al., 2012). Este é um fator importante, visto que a falta de tempo continua a ser uma das principais causas apontadas para a não integração num plano de atividade física regular (Fernandes, Lázaro, & Vasconcelos-Raposo, 2005).

O treino intervalado (TI) segundo Laursen & Jenkins, (2002), poderá ser descrito como a utilização de períodos curtos de esforço a uma intensidade acima do LL, intercalados por períodos de recuperação que poderão ir desde os vários segundos até cerca de 5 minutos. Atualmente, a definição de TI não é consensual, no que diz respeito à sua especificidade, frequência e duração de exercício, de forma a que acumule benefícios para a saúde e previna doenças relacionadas com o sedentarismo (Gibala et al., 2012)

### **2.4.1 TREINO INTERVALADO DE INTENSIDADE ELEVADA (HIIT)**

Segundo Laursen & Jenkins, (2002), o HIIT é definido como séries com repetições de curta-média duração realizadas a uma intensidade acima do estado estacionário máximo de lactato (EEML), ou seja, no domínio de intensidade severo. As repetições são intercaladas com breves períodos de recuperação com uma intensidade baixa ou moderada ou até repouso ativo.

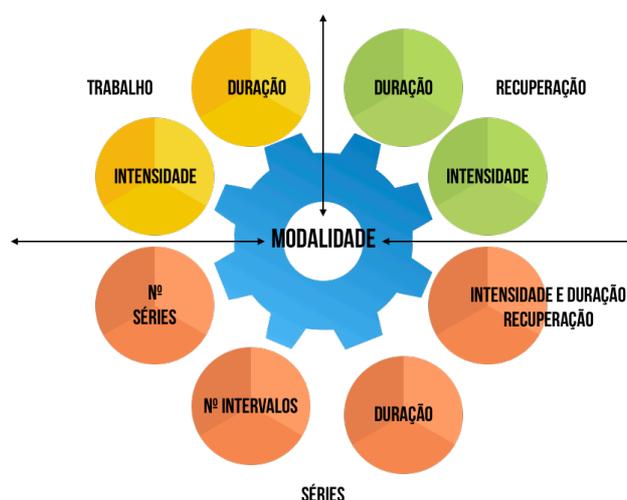
Uma revisão recente (MacInnis & Gibala, 2016) identificou o HIIT com esforços próximos ao máximo, geralmente realizados entre 85 e 95% da frequência cardíaca máxima ( $FC_{MAX}$ ).

É importante ressaltar que o exercício “intenso” constante, não seja é semelhante a ser um treino de HIIT. A interpretação de “intensidade elevada” ou “vigoroso” nem sempre foi claro na literatura. Vários estudos epidemiológicos compararam vários tipos de atividade física ou exercício realizados de forma estruturada, por exemplo, o termo “vigoroso” tem sido usado para descrever longa duração e “baixo” para atividade de intensidade moderada. Outros estudos consideram que as intensidades entre 60-75% $FC_{MAX}$  são consideradas como “intensidade elevada”.

Normalmente o treino de intensidade elevada, é descrito acima de 75% $FC_{MAX}$  ou 75%  $\dot{V}O_{2PICO}$ . A maioria dos estudos usam zonas de trabalho por volta dos 90%  $\dot{V}O_{2PICO}$ , também descritos na escala de percepção de esforço de Borg entre 15-17 (intenso ou muito intenso) no máximo de 20 (Borg, 1998). Todavia, alguns estudos utilizam uma intensidade supramáxima (reportados até 170% do  $\dot{V}O_{2PICO}$ ), obviamente que a intensidade era relativa com a duração do trabalho. Essa duração situava-se entre os 8s e 4min. Intervalos entre os 30s e os 2min eram os mais comuns a serem utilizados. No que diz respeito à recuperação, essa tinha a duração de 1-4min com uma intensidade de leve a moderada (~70% $FC_{MAX}$ ). Num protocolo HIIT com um rácio 1/1 (30s/30s) de séries de intensidade elevada, a velocidade a que o sujeito treina, com o objetivo de aumentar o  $\dot{V}O_2$  durante uma sessão de treino, varia entre os 100%, 105%, 110%, 120% e 140% da sua velocidade aeróbia máxima (VAM) (Assadi & Lepers, 2012).

Para prescrição de diferentes sessões de HIIT podem ser identificadas pelo menos 9 variáveis (Figura 1). A intensidade e duração do trabalho, assim como os períodos de recuperação são a chave dos fatores influenciadores. Então, o número de intervalos, o número de séries e o tempo de recuperação entre as séries determinam o trabalho total realizado. A modalidade do exercício (corrida, bicicleta, remo...), embora tenha recebido pouca atenção até o momento, representa uma variável importante a ser considerada, especialmente quando falamos em atletas de diferentes modalidades (Buchheit & Laursen, 2013b).

Figura 1 – Esquema das nove variáveis que definem uma sessão de HIIT, adaptado de Buchheit &amp; Laursen, 2013b)



A velocidade ou potência associada ao  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $v\dot{V}O_{2PICO}$ ) patenteia-se como referência para a prescrição da intensidade do esforço, contudo existem outros aspetos, especialmente individuais, que devem ser tidos em conta, tais como: **a)** capacidade fisiológica de recuperação durante cada intervalo, **b)** tolerância ao esforço, **c)** tempo até a exaustão (especialmente em velocidades acima do  $v\dot{V}O_{2PICO}$ ) e **d)** a velocidade máxima de Sprint. (p.ex., 2 atletas com o mesmo  $v\dot{V}O_{2PICO}$  podem ter velocidades máximas diferentes, então quando se programa o treino em intensidade superiores ao  $v\dot{V}O_{2PICO}$  com base apenas no  $\dot{V}O_2$ , a demanda fisiológica pode ser diferente entre os 2 atletas. Essa diferença entre  $v\dot{V}O_{2PICO}$  e a velocidade máxima de sprint é chamada de reserva anaeróbia de velocidade.

## 2.5 Caracterização do custo metabólico do treino

A dificuldade em calcular o custo metabólico durante o treino reside no fato da solicitação energética ser combinada. Logo, importa saber identificar em que condição é possível medir ou estimar o custo energético e em que condição tal não é possível (Reis, 2011).

O custo metabólico revela a quantidade de energia necessária para o indivíduo realizar a tarefa em causa. É compreensível que, também, esse custo possuirá uma divisão aeróbia e anaeróbia. Portanto, enquanto a porção aeróbia pode ser medida diretamente sem erro (além do erro tecnológico) através da medição direta do  $\dot{V}O_2$ ; a porção anaeróbia apenas pode ser quantificada por estimativa, podendo conter margens de erro adicionais (já que o erro tecnológico do instrumento permanece sempre)

Nas últimas décadas o TF, tem assumido grande destaque em programas direcionados para populações com excesso de peso ou obesos. Os principais motivos que fundamentam a sua proposição são o aumento da massa isenta de gordura (MIG), logo o aumento das taxas metabólicas de repouso e diária, as quais se irão refletir no balanço energético diário (Ades et al., 2003; Kraemer et al., 1999; Melanson et al., 2005). Segundo Laforgia, Withers, Shipp, & Gore, (1997) um dos pontos críticos associado ao TF é o impacto metabólico limitado verificado numa única sessão de treino, o qual aparenta mostrar um dispêndio energético (DE)<sup>3</sup> inferior às modalidades aeróbias de intensidade moderada a elevada.

O DE do TF depende da manipulação de várias variáveis, tais como: métodos de treino; volume e intensidade (Morgan, Woodruff, & Tiidus, 2003); intervalo de recuperação entre exercícios e séries (Ratamess et al., 2007) e velocidade de execução dos exercícios (Haltom et al., 1999). Contudo existem algumas lacuna ao nível das variáveis apresentadas no que diz respeito do DE durante e após o TF (Pinto, Lupi, & Brentano, 2011). Este DE resulta da transferência de energia e consiste na produção de calor; produção essa que tem servido como medida padrão para a interpretação do mesmo (Scott, 2006a). Por consequência das dificuldades no cálculo da perda de calor, o consumo de oxigénio ( $\dot{V}O_2$ ) constitui-se no método mais utilizado para estimar a produção de calor, portanto, o DE (Pinto et al., 2011).

Segundos os autores Ades et al. (2003) e Hunter et al. (2003) a calorimetria indireta, tem sido utilizada como o método de estimativa do consumo de energia, quer em repouso quer em exercício. Com este método, estima-se que todo o oxigénio consumido é utilizado para oxidar os substratos energéticos e que todo o gás carbónico produzido é eliminado pela respiração, é possível calcular a quantidade total de energia produzida. De acordo com Ferrannini, (1988) é um método prático para identificar a natureza e a quantidade dos substratos energéticos oxidados, bem como o total de energia gasta.

### **2.5.1 CUSTO METABÓLICO AERÓBIO**

O custo metabólico aeróbio é usualmente determinado através da medição do  $\dot{V}O_2$  nos gases expirados durante o esforço (calorimetria indireta). A utilização do  $\dot{V}O_2$  enquanto quantificador do custo metabólico, assume que as trocas gasosas sejam feitas sob condições de

---

<sup>3</sup> (DE) - Dispêndio energético, custo energético e custo metabólico são sinónimos

homeostasia; ou seja, em que o  $\dot{V}O_2$  permanece constante. Logo, isto significa que a medição do custo metabólico aeróbio tem melhor validade quanto menor a intensidade do esforço e quanto maior a sua duração. Portanto, poderemos dizer é exequível a medição de forma criteriosa o custo metabólico aeróbio em intensidades abaixo do LL e de duração de, pelo menos, 3min e em intensidades acima do LL, mas abaixo do  $\dot{V}O_{2PICO}$  desde que com uma duração superior a 5min (duração necessária e suficiente para que ocorra estabilização nas trocas gasosas).

Em desportos como o atletismo (corrida), ciclismo, natação, caminhada e o remo, a cinética do  $\dot{V}O_2$  ( $\dot{V}O_{2k}$ ) já se encontra muito estudada em função da intensidade e da duração do estímulo; o mesmo não acontece em outros tipos de atividade física. Por outro lado, a intensidade correspondente a uma acumulação exponencial e rápida de lactato está igualmente pouco estudada. Com efeito, o LL no sangue que tipicamente é referido para a corrida ou ciclismo como estando entre 70 e 80% do  $\dot{V}O_{2PICO}$ , requer maior investigação noutras atividades físicas. Os autores Rocha, Bomfim, Nascimento, Moreira, & Simões, (2010) confirmaram, num estudo rigoroso, o valor de cerca de 32% para o LL na prensa de pernas inclinada (45°). Acresce que o próprio conceito de  $\dot{V}O_{2PICO}$ , enquanto caracterizador da intensidade do esforço, perde a sua eficácia no contexto de outras atividades como, por exemplo: exercícios resistidos. Deste modo, importa descobrir qual o  $\dot{V}O_{2PICO}$  específico de cada tipo de atividade física (exercício) que constituirá, então, o limite máximo de potencial oxidativo daquele mesmo exercício (Reis, 2011).

### 2.5.2 CUSTO METABÓLICO ANAERÓBIO

Segundo os autores Gaesser & Brooks, (1984); Scott, (2006a); Scott & Kemp, (2005) não aparenta que haja dúvidas acerca da importância do metabolismo anaeróbio no dispêndio energético total ( $DE_{TOT}$ ) total no TF. A medição do DE anaeróbio ( $W_{ANA}$ ) pode ser feita através de: **a)** biopsia muscular de metabolitos anaeróbios somado ao  $\dot{V}O_2$  em exercício; **b)**  $\dot{V}O_2$  durante o exercício somado ao débito de oxigénio, ou ainda; **c)** medição do lactato somado ao  $\dot{V}O_2$  do exercício e ao Consumo Excessivo de Oxigénio Pós-Exercício (EPOC<sup>4</sup>) (Scott & Kemp, 2005).

---

<sup>4</sup> EPOC – Deriva da sigla inglesa EPOC (Excess post-exercise oxygen consumption)

Segundo Bangsbo et al., (1990) citado por Pinto, (2007) e Pinto et al., (2011) deve-se excluir 20% do EPOC para a quantificação do  $DE_{TOT}$  de uma sessão de TF ou de natureza anaeróbia, já que esta percentagem incluiria a ressíntese de ATP-CP do metabolismo anaeróbio alático, o que já estaria incluído no consumo do oxigénio durante a passagem do período de repouso para exercício (défice de oxigénio -  $DefO_2$ ).

As estimativas da concentração de  $[La^-]$  muscular pós-exercício do TF têm mostrado contribuições significativas no  $DE_{TOT}$ . Para efeitos de cálculo do DE no TF foi proposto o somatório do equivalente calórico do lactato, assim como do derivado de oxigénio consumido durante a realização do protocolo de exercícios de força e o período de recuperação (EPOC). O equivalente calórico do lactato sanguíneo proposto que, para 1 milimole de lactato seja equivalente a 3ml de  $O_2$  por quilograma de massa corporal ( $3ml.O_2.kg$ ) (Scott, 2006a) e posteriormente convertido para quilocalorias a partir da relação 5.05kcal por Litro de Oxigénio (Phillips & Ziuraitis, 2004) e esse litro de oxigénio correspondendo a  $21,1J.kg^{-1}$  e  $19,6J.kg^{-1}$  durante exercícios de força e para o EPOC respetivamente.

Nas ultimas décadas têm sido referidos na literatura resultados de investigações relacionadas ao custo metabólico de diferentes protocolos de treino com sobrecarga, em circuito e em séries (Ballor, Becque, & Katch, 1987; Melanson et al., 2005; W. Phillips & Ziuraitis, 2003, 2004; Pichon, Hunter, Morris, Bond, & Metz, 1996; Wilmore, Parr, Ward, et al., 1978), em treino isométrico (Koerhuis, Van der Heide, & Hof, 2003); em treino excêntrico (Caruso, Hernandez, Saito, Cho, & Nelson, 2003) e na fase excêntrica acentuada (Caruso & Hernandez, 2002), com velocidade reduzida (Hunter et al., 2003), bem como exercícios isolados (Robergs, Gordon, Reynolds, & Walker, 2007) citado por Pinto, (2007).

Na maioria dos estudos mencionados, a quantidade de calorias foi avaliada através da análise de gases, ou seja, pela quantidade de oxigénio utilizada durante o protocolo de treino, deduzida ou não a quantidade de oxigénio em repouso. A primeira situação é denominada de dispêndio energético líquido ( $DE_L$ ), isto é, a quantidade de oxigénio consumido durante a execução dos protocolos de treino em que é deduzida a quantidade de oxigénio medida em repouso, sendo que a quantidade líquida de oxigénio constitui a base do cálculo do  $DE_L$ . Na segunda situação, a quantidade de oxigénio total é utilizada para efeitos de cálculo do DE da sessão de treino. O custo energético/metabólico do protocolo de treino é expresso em quilojoules (kJ) ou quilocalorias (kcal), (Pinto, 2007).

Um dos primeiros estudos, onde foi realizado a quantificação do custo metabólico em resposta a um treino em circuito (3 séries a 40%1RM) em homens e mulheres, foi verificado um  $DE_L$  de  $130,6 \pm 34,5\text{kcal}$  e  $95,1 \pm 18,4\text{kcal}$  respetivamente (Wilmore, Parr, Ward, et al., 1978).

Os investigadores Melanson et al., (2002) aplicaram um protocolo semelhante (4 séries a 70%1RM) em homens jovens, e observaram um  $DE_L$  de  $322 \pm 19\text{kcal}$ . Os valores apurados mostraram ser superiores ao estudo anterior devido ao volume e intensidades serem maiores. Os estudos têm apresentado em média valores de  $DE_L$  na ordem das 6-9  $\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$  em resposta ao treino em circuito, sendo o protocolo de 15-18reps, com intensidades de aproximadamente 40% com 15s., de pausa entre séries, de forma a incrementar significativamente um maior DE (Haltom et al., 1999; Melanson et al., 2002; Wilmore, Parr, Ward, et al., 1978).

De acordo com Hunter et al., (2003); McArdle & Foglia, (1969); Thornton & Potteiger, (2002) treinos de força com intensidades entre 60-80% de 1RM com 2-3 séries de 8-10reps com 1-2min de pausa entre séries, parecem promover significativamente o impacto metabólico. A maior dificuldade para comparar o DE no TF encontra-se nas diversas variáveis encontradas (intensidades, volume, séries, pausas...) logo, a apresentação de valores relativos ao tempo ( $\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ ) facilita a comparação.

Os autores Phillips & Ziuraitis, (2003) mediram o DE num circuito de 8 exercícios de uma série de 15reps em jovens de ambos os sexos. O protocolo apresentou um custo metabólico foi de  $3,5 \pm 0,6\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$  e  $2,9 \pm 0,7\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$  para homens e mulheres respetivamente. Os mesmos autores Phillips and Ziuraitis, (2004) ao realizarem o mesmo protocolo para adultos jovens de ambos os sexos, obtiveram um custo metabólico superior ( $5,63 \pm 0,7\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$  para homens e  $3,4 \pm 0,5\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$  para mulheres). As diferenças apresentadas parece ser consequente da maior percentagem de massa magra (%MIG) nos homens. Por outro lado, Morgan et al., (2003) estimaram o DE em dois protocolos com intensidades e volumes diferentes: a) 2 séries de 8reps a 100% de 8RM, com o DE de  $2,7 \pm 0,8\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$  e  $2,3 \pm 0,8\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$  para homens e mulheres; b) 2 séries de 15reps a 85% de 8RM com o DE de  $2,8 \pm 1,5\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$  e  $2,5 \pm 0,7\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$  para homens e mulheres respetivamente.

Ainda que não se tenha verificado diferenças entre os sexos em termos temporais, relativamente à massa magra, este foi superior nas mulheres entre os dois protocolos (100% 8RM=  $6.3 \pm 1.9$  vs. 85% 8RM=  $4.7 \pm 1.0\text{kcal}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ ), comparado aos homens (100% 8RM=  $3.4 \pm 0.7$  vs. 85%

8RM=  $2.3 \pm 0.8$  kcal.kg.min<sup>-1</sup>,  $p < 0.02$ ). Estes resultados sugerem que as mulheres consomem mais oxigênio em termos relativos do que os homens em diferentes intensidades, isto porque que utilizam mais o metabolismo aeróbio e conseqüentemente transferem mais energia que os homens quando realizam contrações musculares a intensidades superiores a 50% de 1RM (Morgan et al., 2003) devido a maior atividade aeróbia que glicolítica (Kent-Braun, Ng, Doyle, & Towse, 2002).

### **2.5.3 CUSTO METABÓLICO NA RECUPERAÇÃO (EPOC)**

#### **2.5.3.1 TREINO DE FORÇA (TF)**

Durante o exercício, existe um aumento do consumo de O<sub>2</sub> fundamental para suportar o aumento da necessidade energética, oriunda dos processos respiratórios, circulatórios e metabólicos aumentados, principalmente nos músculos treinados (Gore & Withers, 1990). Após o exercício, o  $\dot{V}O_2$  não volta imediatamente para os níveis de repouso, podendo permanecer elevado durante um longo período de tempo (Børsheim & Bahr, 2003; Laforgia et al., 2006).

De acordo com Gaesser and Brooks, (1984), o consumo de O<sub>2</sub> durante a recuperação (EPOC) mantém-se elevado, com o propósito de ajudar a restaurar os processos metabólicos às condições pré-exercício (Costill, Wilmore, & Kenney, 2012). A taxa de incremento do DE no período da recuperação é incontestavelmente dependente da magnitude do EPOC, ou seja, quanto maior for o EPOC, maior será o DE durante a recuperação. A magnitude do EPOC parece severamente afetada pela intensidade do treino precedente.

De acordo com os autores Thornton & Potteiger, (2002) foram comparadas duas sessões de TF em dias diferentes com a mesma carga de trabalho total (~4300kg). A primeira sessão era composta por duas séries de 15reps em nove exercícios a 45% de 8RM, na segunda sessão os mesmos exercícios foram realizados em duas séries de 8reps a 80% de 8RM. Chegaram á conclusão que o EPOC foi mais elevado no treino com intensidade mais elevada, sendo que foi prolongado por mais 60min após a sessão de treino.

#### **2.5.3.2 TREINO AERÓBIO (TA)**

O cálculo do DE no TA é avaliado da mesma forma que no TF, através da calorimetria indireta e segue os mesmos procedimentos descritos anteriormente relacionados a este método. No

entanto, a diferença é que no TA há períodos mais longos de estado estacionário, bem como o DefO<sub>2</sub> criado no início da atividade é menos expressivo do que o promovido em atividades intermitentes, entre as quais o TF. Deste modo, o DE nos exercícios aeróbios é definido a partir da multiplicação do valor do QR pelo equivalente calórico correspondente (tabela equivalência calórica da razão de troca respiratória (QR) e participação relativa dos hidratos de carbono e das gorduras), sendo o QR calculado em períodos específicos ao longo da sessão de exercícios, que normalmente variam de 30 a 60 segundos (Pinto, 2007).

A magnitude do EPOC à semelhança do TF, também no TA, depende da intensidade e da duração do exercício antecedente, sendo que intensidades maiores promovem um maior e mais prolongado consumo de O<sub>2</sub> acima dos níveis de repouso. Num estudo realizado com triatletas do sexo masculino, em resposta a três protocolos de intensidades diferentes, os autores concluíram que a intensidade do esforço físico afeta diretamente a magnitude e duração do EPOC, sendo que a duração do exercício afeta somente a duração do EPOC (Sedlock, Fissinger, & Melby, 1989; Smith & Mc Naughton, 1993). Pode-se concluir que o EPOC encontra-se dependente da intensidade e da duração, sendo que a duração parece ter maior influência na relação (Pinto, 2007).

### **2.5.3.3 TREINO CONCORRENTE**

O treino concorrente, misto ou combinado tem sido investigado com maior consistência numa perspectiva de rendimento físico de jovens e adultos, seja no que se refere às consequências sobre alguns parâmetros cardiorrespiratórios e neuromusculares (Balabinis, Psarakis, Moukas, Vassiliou, & Behrakis, 2003; Bastiaans, Diemen, Veneberg, & Jeukendrup, 2001; Bishop, Jenkins, Mackinnon, McEniery, & Carey, 1999; Chtara et al., 2005; Docherty & Sporer, 2000; Hoff & Helgerud, 2004; Kraemer et al., 1999); nas adaptações de enzimas mitocondriais (Chilibeck, Syrotuik, & Bell, 1999, 2002) nos efeitos agudos e crônicos sobre o EPOC (Crommett & Kinzey, 2004), bem como nos efeitos sobre os fatores de risco cardiovasculares e composição corporal de indivíduos com excesso de peso e/ou obesos (Arciero et al., 2006), sendo ainda algumas destas investigações realizadas em idosos (Ferketich, Kirby, & Alway, 1998; Izquierdo, 2004).

De acordo com Drummond et al., (2005) a ordem de execução do exercício concorrente promove influência sobre o EPOC nos primeiros 10min, tendo maior magnitude quando o exercício de força é realizado após o exercício aeróbio. Porém, tem que se ter em consideração

de que o número elevado de exercícios de força, o intervalo de tempo de recuperação e a intensidade do exercício aeróbio (70% do  $\dot{V}O_{2PICO}$ ) podem ter influenciado os resultados (de Lira, Oliveira, Julio, & Franchini, 2007).

## **2.6 Quantificação da carga de treino**

A quantificação da carga de treino é essencial para a desenvolvimento dos atletas de alto rendimento. A busca em determinar e investigar as relações de causalidade entre o processo de treino e as adaptações fisiológicas e o rendimento daí resultantes, torna-se imprescindível calcular de forma clara e eficaz as cargas a que o atleta foi submetido durante o processo de treino. Ou seja, não é possível conhecer os efeitos de um programa de treino sem uma quantificação rigorosa do mesmo (Wallace, Slattery, & Coutts, 2014). O objetivo é otimização do rendimento, através da junção de três determinantes fundamentais, volume, intensidade e frequência (Mujika et al., 1995).

- **Volume**

Esta variável torna-se fácil de quantificar, pois não é mais do que a distância coberta, ou o número de horas, numa determinada fase do processo de treino, quer seja uma sessão, ou uma época de treino.

- **Frequência**

A frequência de treino, tal como o volume, torna-se fácil de quantificar, uma vez que se refere ao número de vezes em que o atleta treina, num determinado espaço de tempo. A frequência e o volume são duas variáveis com uma ligação estreita, uma vez que variações na frequência podem implicar, também, variações no volume. Apesar desta relação evidente e da facilidade com que as variáveis podem ser quantificadas, não existem, na literatura, referências que relacionem a influência da frequência no rendimento, com um determinado volume de treino (Mujika, 2009) citado por Pessoa (2014).

- **Intensidade**

A intensidade do treino é também, um fator de grande importância para a evolução da capacidade competitiva do atleta devido às respostas adaptativas que provoca. No entanto, ao contrário do volume e da frequência, esta variável é de difícil quantificação.

Até à data, tem-se procurado quantificar a intensidade do exercício através do impacto que este tem no organismo (frequência cardíaca, lactatemia,  $\% \dot{V}O_{2PICO}$ , Percepção Subjetiva de Esfoço (PSE)) – medidas de carga interna; e através das características específicas das cargas de treino (percentagem da velocidade ou da força máxima) – medidas de carga externa (Jeukendrup & Diemen, 1998). De acordo com Jeukendrup & Diemen, (1998), a intensidade do exercício pode-se definir como a quantidade de ATP hidrolisado e convertido em energia mecânica, por minuto. Desta maneira, os autores consideram muito difícil medir o dispêndio energético, de forma continuada em laboratório e, mais ainda, em situação de terreno. Sugerem, portanto, que a intensidade deveria ser quantificada através de uma variável que esteja diretamente relacionada com o dispêndio energético e que seja fácil de controlar (Pessoa, 2014).

### **2.6.1 MÉTODOS DE QUANTIFICAÇÃO DA CARGA INTERNA DE TREINO (CIT)**

Os métodos de quantificação da carga interna de treino (CIT) são baseados no princípio de que a carga de treino (CT) é representada pelo produto do volume de treino pela intensidade aplicada. No caso do volume, a duração é frequentemente utilizada como parâmetro para o cálculo da CIT. Já a intensidade seria determinada pela resposta de um parâmetro interno, como o comportamento da FC (Banister, MacDougall, & Wenger, 1991; Edwards, 1993; Lucia, Hoyos, Santalla, Earnest, & Chicharro, 2003) e da PSE (Foster, 1998). Estes métodos viabilizam a quantificação da CIT, fornecendo informações de como os atletas respondem à manipulação das cargas externas de treino (CET). Atualmente, monitorizar a carga de treino e identificar o impacto que esta tem nos atletas é essencial para uma adequada planificação, daí ser uma tarefa complexa.

- **Frequência cardíaca (FC)**

A medição da FC é uma forma geral de avaliar a intensidade da carga de treino. A FC aumenta linearmente com a potência mecânica desenvolvida, em indivíduos treinados ou destreinados (Achten & Jeukendrup, 2003). Este parâmetro mostra uma resposta ao exercício semelhante ao consumo de  $O_2$  e assenta no princípio de que existe uma relação linear entre a frequência cardíaca e a taxa de trabalho, num estado estacionário (Arts & Kuipers, 1994; Hopkins, 1991; Robinson et al., 1991).

A intensidade do exercício pode expressar-se de diversas maneiras de acordo com a avaliação da frequência cardíaca. Apesar da frequência cardíaca absoluta ser, normalmente usada,

podem existir benefícios na utilização de percentagens da  $FC_{MAX}$ , permitindo corrigir diferenças, inter e intra indivíduos, na resposta a vários tipos de exercício (Karvonen & Vuorimaa, 1988) citado por Pessoa, (2014).

Todavia, existem diversos fatores que podem influenciar a relação entre a carga de treino e a FC, como o nível de treino do atleta, as condições ambientais, a duração do exercício, a altitude, a hidratação e a medicação (Achten & Jeukendrup, 2003; Robinson et al., 1991). Assim sendo, torna-se necessário ter algum cuidado ao utilizar-se a FC como medida de intensidade (Mujika et al., 1995). De acordo com Banister et al., (1991) foi elaborado um método para quantificar a carga interna de treino (CIT), inculindo que a resposta da FC durante o exercício e a duração da sessão de treino, definindo em conjunto o impulso do treino (TRIMP). Trata-se de um índice global da carga de treino, que integra o volume e a intensidade do mesmo, baseado na FC

Este método permite uma quantificação simples e prática das cargas de treino, desde o exercício simples até às estruturas mais complexas (Microciclo, Mesociclo e Macrociclo) e é utilizável em qualquer tipo de esforço, contínuo ou intermitente (Banister et al., 1991; Wallace et al., 2014). Contudo, em esforços máximos de curta duração, a resposta da FC pode ser ténue, apesar das manifestações de força ou potência serem elevadas. Para além disso, a resposta da FC não é indicativa da contribuição anaeróbia como substrato energético na realização de certas tarefas (Hayes & Quinn, 2009). Isto é claramente demonstrado pela natureza exponencial da resposta da lactatemia a um exercício aeróbio progressivo (Walsh, 2000), em contraste com a resposta linear da FC. De facto, Morton et al., (1990) demonstraram que um exercício de baixa intensidade e longa duração pode, de forma errónea, fornecer valores de TRIMP mais elevados do que exercícios aeróbios de alta intensidade, citado por Pessoa, (2014).

- **Percepção Subjetiva de Esforço (PSE)**

O método da PSE da sessão foi proposto por Foster et al., (1996, 2001) com intuito de quantificar a carga de treino. A percepção que cada atleta tem do esforço realizado durante o treino pode ser outro método válido de quantificação das cargas. Uma das ferramentas mais utilizadas para esta quantificação tem sido a PSE (Borg, 1998). Trata-se de uma categorização entre 6 e 20, ou de 0 a 10 (CR. 10 de Borg - *category ratio scale*), em que se pede ao indivíduo que estime a sensação de intensidade que refletiu o esforço despendido, de acordo com essa escala. Esta categorização responde a fatores psicofisiológicos e têm sido estabelecidas relações entre os valores de PSE e as diferentes intensidades do exercício por um lado, e a frequência cardíaca

e a lactatemia, por outro (Green et al., 2006; Noble & Robertson, 1996; Robinson et al., 1991; Weltman, 1995). Contudo, os autores Little & Williams, (2007); Ozkan & Kin-Isler, (2007) apresentam estudos em que existem correlações débeis entre a FC e a PSE durante exercícios de alta intensidade e curta duração.

De acordo com Chen et al., (2002) consideram que, apesar da escala de Borg parecer ser uma ferramenta válida para medir a intensidade do exercício, a relação entre as suas categorias e a variação de algumas variáveis fisiológicas não é tão alta como se pensava. Sendo necessário maior investigação para definir quais os mecanismos fisiológicos que estão por trás da nossa percepção do esforço de forma a esclarecer o papel da PSE (Borresen & Lambert, 2008).

Após a classificação do atleta, a escala da PSE (de 0 a 10) é multiplicada pela duração total da sessão de treino (min), originando a CIT em unidades arbitrárias de carga (U.A.C). Por exemplo, uma sessão de treino classificada como 5 na CR-10 e com duração de 50 min, representaria uma CIT equivalente a 250 U.A.C.

## **2.7 Resposta aguda perante processo de treino**

O TF e em circuito são métodos de treino utilizados com o intuito de potenciar o tempo de treino para maiores e melhores benefícios fisiológicos e de forma mais rápida que os métodos tradicionais de treino. Ao acrescentar o método intervalado num TF os benefícios no sistema cardiorrespiratório poderão ser ainda maiores.

Presentemente, sendo a falta de tempo uma das principais causas apontadas para a pouca adesão a um plano de treino regular (Aaltonen et al., 2012). O treino de HIIT tem vindo a ser mais investigado com a finalidade de induzir melhorias equivalentes ou mesmo superiores aos métodos tradicionais contínuos de endurance em parâmetros fisiológicos, quer em populações saudáveis como em populações com doenças (Gibala et al., 2012).

A tendência dos treinos de intensidade elevada (HIIT) tem-se tornado mais evidente pelo aumento de popularidade dos programas de treino organizados, tais como P90X™; Insanity™ e o CrossFit®. Apesar de serem muito difundidos ainda se encontram muito pouco estudados. A semelhança entre os programas descritos previamente é o uso de intervalos de forma a permitir um maior gasto energético num curto espaço de tempo. Estes programas apoiam-se também no principio da sobrecarga, onde os plateaus que poderiam ser alcançados no TA

tradicional, são superados pelo aumento da intensidade do trabalho efetuado, resultando assim em melhorias nas adaptações cardiovasculares e neuromusculares

O TF tradicional (Garbutt, Reilly, Boocock, Reilly, & Troup, 1994; Kaikkonen, Yrjämä, Siljander, Byman, & Laukkanen, 2000; Paoli et al., 2010; Wilmore, Parr, Girandola, et al., 1978) e o TI (Burgomaster, Heigenhauser, & Gibala, 2006; Burgomaster, Hughes, Heigenhauser, Bradwell, & Gibala, 2005; Fernandez-Fernandez, Zimek, Wiewelhove, & Ferrauti, 2012; MacInnis & Gibala, 2016) são dois métodos de treino que podem maximizar a eficiência do tempo em várias aptidões. De acordo com O'Shea, (1987; Simonson, (2010); Wilmore et al., (1978a) os principais objetivos do TF são o aumento da força e resistência, bem como a aptidão cardiorrespiratória. Já os autores Gettman et al., (1978); Gettman and Pollock, (1981); Gotshalk et al., (2004); Paoli et al., (2010); Waller et al., (2011) observaram um aumento de força com pequenos incrementos na capacidade aeróbia máxima, com apenas uma sessão de TF tradicional.

### 2.7.1 CONSUMO DE OXIGÉNIO ( $\dot{V}O_2$ )

O consumo de oxigénio ( $\dot{V}O_2$ ) é definido como um parâmetro de avaliação correspondente à taxa máxima quantidade de  $O_2$  que o organismo consegue fixar e portanto consumir por unidade de tempo. Quanto maior o consumo de  $O_2$ , maior será a produção de energia nesse intervalo de tempo (Barata et al., 1997).

O  $\dot{V}O_{2PICO}$  é a medida do metabolismo aeróbio, sendo por isso, frequentemente referenciado como expressão da potência aeróbia máxima (Holly, 1993; Swain, Brawner, & Medicine, 2012), considerado por alguns investigadores (Bassett & Howley, 2000; Costill et al., 2012; Denadai, 1995; Jones & Poole, 2005) como o melhor indicador da capacidade do sistema cardiovascular, uma vez que se relaciona com o débito cardíaco ( $\dot{Q}$ ), conteúdo arterial de  $O_2$  e com a capacidade extrativa de  $O_2$  ao nível muscular (diferença artério-venosa em oxigénio –  $(a-v)O_2$ ). O consumo de oxigénio pelos tecidos é descrito pela equação de Fick, que é descrita por:

Equação 1:

$$VO_2 = Q_t - (a - v)O_2$$

em que: ( $Q_t$ ) representa o débito cardíaco;  $(a-v)O_2$ , representa a diferença do teor de  $O_2$  entre o sangue arterial e venoso, o que representa a quantidade de oxigénio extraído do sangue arterial e que é utilizado no processo de fosforilação oxidativa pela mitocôndria (Astrand, 2003; Costill et al., 2012).

Durante um teste progressivo máximo, a determinação do  $\dot{V}O_{2PICO}$  torna-se possível assim que haja um plateau no consumo de oxigénio, ainda que haja um incremento de carga. Todavia, existem fatores centrais que podem limitar a taxa de consumo de oxigénio (Bassett & Howley, 2000).

Os critérios normalmente adotados para se poder afirmar que o consumo máximo de oxigénio foi efetivamente atingido e que a fase de exaustão não apareceu por qualquer outro motivo, são os seguintes:

- Estabilização ou ligeira queda do  $\dot{V}O_2$ , apesar da manutenção ou progressão da carga. Definido como um aumento no  $\dot{V}O_2$  inferior a  $2\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$
- Quociente Respiratório (QR) final de 1.15 ou superior
- Obtenção da  $FC_{MAX}$  pré-determinada ( $FC$  final não inferior a  $10\text{bat}\cdot\text{min}^{-1}$  da  $FC_{MAX}$ )
- Lactato sanguíneo pós-exercício (5min)  $[\text{La}^-]$  de  $8\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  ou superior
- Impossibilidade de prosseguir o esforço (exaustão) (Gomes-Pereira, 2014; Maldonado-Martin, Mujika, & Padilla, 2004)

### 2.7.1.1 CINÉTICA DE OXIGÉNIO ( $\dot{V}O_{2K}$ )

A cinética de acordo com Jones & Poole, (2005); Poole & Jones, (2012), é o estudo da alteração de uma variável em ordem ao tempo, neste caso a variável é o oxigénio. Desta forma, a cinética do consumo de oxigénio ( $\dot{V}O_{2k}$ ) permite verificar os mecanismos fisiológicos responsáveis pela dinâmica da resposta do consumo de oxigénio ( $\dot{V}O_2$ ) ao exercício e subsequente recuperação. A sua compressão é essencial para a metodologia do treino e para o sucesso competitivo no desporto (Astrand, 2003; Bangsbo, Krstrup, González-Alonso, Boushel, & Saltin, 2000; Billat, 2001a, 2001b; Saltin, Kim, et al., 1995; Saltin, Larsen, et al., 1995).

A perceção da dinâmica quando se sai do estado de repouso para o estado de exercício, torna-se fundamental, isto porque, quanto mais rápida e eficaz for a cinética, menor influência terá o sistema anaeróbio nas reservas de ATP do músculo, sobre a diminuição da PCr e utilização das reservas glicolíticas (Jones & Burnley, 2009) de forma a manter o sistema oxidativo como principal fonte energética para o trabalho (Jones & Poole, 2005).

O início do exercício irá influenciar o  $\text{Def}O_2$  até ao ponto homeostático. Com o decorrer do exercício intenso, a eficiência muscular diminui ao ponto de começar a aparecer a componente

lenta para que haja um aumento do  $\dot{V}O_2$  (Jones & Poole, 2005). De acordo com Rossiter et al., (2002), a observação da relevância desse fenómeno por meio da sua resposta temporal deve-se à tentativa de perceber os fatores intracelulares que regulam a ativação do sistema oxidativo, e a possibilidade de utilizá-lo como indicativo do metabolismo anaeróbio (Medbø et al., 1988) e as possíveis alterações do sistema oxidativo induzidas pelo treino físico (Hagberg, Mullin, & Nagle, 1978) ou aos ajustes dos sistemas bioenergéticos em virtude da idade cronológica (Fawcner & Armstrong, 2003; Xu & Rhodes, 1999).

Segundo Whipp et al., (2005) a capacidade de lidar com a transição de repouso para exercício, leva a que haja uma elevada coordenação entre o sistema cardiovascular, respiratório e neuromuscular, com o objetivo de transportar o oxigénio às mitocôndrias das células musculares, conduzindo à produção de energia em regime aeróbio. Em desportos individuais cíclicos, (ex., corrida, natação ou remo), após o início do esforço, as alterações na taxa metabólica são bastante grandes e rápidas, levando o sistema de ventilação a responder de forma precisa e rápida para evitar variações significativas no sangue arterial e manter a regulação do pH (Reis, 2011; Reis, Alves, Bruno, Vleck, & Millet, 2012; Whipp & Ward, 1992). Quando avaliada, a  $\dot{V}O_{2k}$  apresenta três fases distintas após o início dos exercícios de intensidade moderada (Gaesser & Poole, 1996; Whipp & Ward, 1990):

- **Fase I – componente cardiodinâmica**, onde ocorre uma resposta de fase inicial de, aproximadamente, 15-20s, levando conseqüentemente a um aumento do fluxo sanguíneo pulmonar após uma mudança na intensidade (Whipp et al., 2005). Esta fase é pensada para ser predominantemente uma função de alterações no  $\dot{Q}$ , com pequenas alterações no conteúdo venoso misto de  $O_2$ . Ou seja, deduz-se que o aumento inicial da absorção do  $\dot{V}O_2$  seja causado por um aumento  $\dot{Q}$ . O aumento do  $\dot{Q}$  leva a pensar que exista um aumento à posteriori no fluxo sanguíneo que se reflita no  $\dot{V}O_2$  (Krogh & Lindhard, 1913; Linnarsson, 1974; Whipp, 1987). Apesar de alguns estudos mostrarem o contrário (Casaburi, Barstow, Robinson, & Wasserman, 1989, 1992), pensa-se que não existam alterações ao nível da diferenças artério-venosa de oxigénio (a-v) $O_2$ .

Porém, a cinética da fase I resulta predominantemente de fenómenos estruturais e não necessariamente do reflexo do consumo de  $O_2$  muscular. Uma rápida cinética da fase I indicaria um aumento do  $\dot{Q}$  e do fluxo sanguíneo sistémico, mas não necessariamente, um aumento do

consumo de  $O_2$  localizado. De acordo com os autores Whipp et al., (2005) a fase cardiodinâmica foi considerada por como uma parte do tempo e não como um padrão de resposta.

- **Fase II – componente primária**, onde o  $O_2$  aumenta com uma dinâmica de resposta exponencial, e representa um aumento abrupto nas variáveis pressão de oxigênio ( $PO_2$ ), pressão de dióxido de carbono ( $PCO_2$ ) e rácio respiratório ( $\dot{V}_e/\dot{V}O_2$  e  $\dot{V}_e/\dot{V}CO_2$ ), somando-se o aumento exponencial da  $\dot{V}O_{2k}$ , dando início a esta fase e levando o  $\dot{V}O_2$  a atingir o estado estacionário, fase III (Jones & Burnley, 2009). É de mencionar que ao comportamento da fase II é adicionada uma componente lenta quando o exercício é realizado no domínio de intensidade pesado/severo. Sendo que, quando a CL entra no domínio severo, aumenta até ao consumo máximo de oxigênio, não existindo estado estacionário, cessando o exercício devido à exaustão.

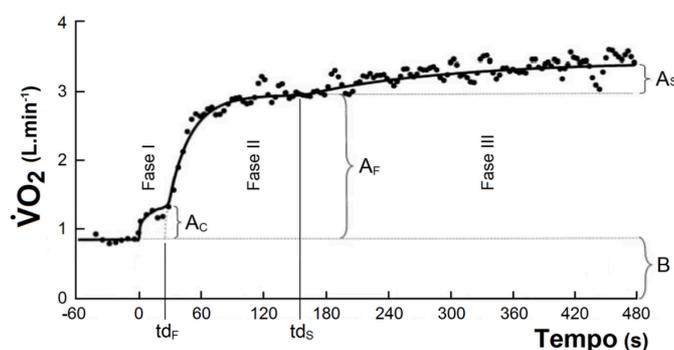
A componente primária é caracterizada por um rápido aumento exponencial no  $\dot{V}O_2$  que o dirige para o valor atual ou previsto no estado estacionário (Hughson & Morrissey, 1983; Wasserman, Whipp, & Castagna, 1974; Whipp, Ward, Lamarra, Davis, & Wasserman, 1982; Whipp et al., 2005) citado por Reis, (2011a). Ou seja, durante esta fase, a resposta exponencial poderá ser descrita através de três componentes (Barstow, Casaburi, & Wasserman, 1993; Barstow & Molé, 1991; Koga, Shiojiri, & Kondo, 2005; Whipp & Wasserman, 1972):

- i. **Amplitude ( $A_p$ )**- que é principalmente determinada pela intensidade imposta do ritmo de trabalho (Wilkerson et al, 2004), mas também é influenciada por padrões de ativação do músculo (Burnley et al, 2002).
  - ii. **Constante temporal ( $\tau_p$  - tau)** – é o tempo em segundos necessário para atingir 63% da assíntota de resposta do  $\dot{V}O_2$  para uma intensidade do exercício
  - iii. **Atraso temporal (td)** - que é o tempo de atraso antes de começar a exponencial.
- **Fase III – Estado estável (steady state) ou componente lenta (CL)** - ocorre a estabilidade do  $\dot{Q}$  e na extração de  $O_2$  pelos músculos nos domínios moderado e pesado.

A origem da componente lenta (CL) tem sido atribuída à redução da eficiência muscular durante o exercício, que pode promover um ganho no  $\dot{V}O_2$  a partir dos 100-180s até 360-600s de exercício (Grassi, 2001; Poole, Barstow, Gaesser, Willis, & Whipp, 1994; Sahlin, Sørensen, Gladden, Rossiter, & Pedersen, 2005). A CL é caracterizada pela ocorrência de uma resposta

adicional à primária. No domínio pesado de exercício, há uma estabilização tardia do  $\dot{V}O_2$ . No entanto, no domínio severo, o  $\dot{V}O_2$  atinge o valor máximo, caso a duração do exercício permita, e a amplitude da CL parece estar relacionada com a tolerância ao exercício (Carita, Pessoa Filho, Barbosa, & Greco, 2014).

Gráfico 1 - Apresentação das fases caracterização da resposta do  $\dot{V}O_2$  – adaptado de Bearden and Moffatt (2000).



### 2.7.1.2 DOMÍNIOS DE INTENSIDADE NA CINÉTICA DE OXIGÉNIO ( $\dot{V}O_{2K}$ )

A resposta do  $\dot{V}O_2$  e do  $[La^-]$  ao exercício de carga constante tem sido utilizada para descrever os diferentes domínios de intensidade de exercício (moderada, pesada, severa e supramáxima ou extrema) (Gaesser & Poole, 1996; Hill, Poole, & Smith, 2002).

Os autores propõem que o **domínio moderado** compreende todas as intensidades de esforço que podem ser realizadas sem a modificação do lactato sanguíneo relativamente aos valores de repouso, ou seja, abaixo do LL e o  $\dot{V}O_2$ , após 2-3 minutos do início do exercício entra em equilíbrio ao longo do tempo.

O **domínio pesado**, começa a partir da menor intensidade de esforço onde existe uma elevação do lactato (LL) e tendo como limite superior a intensidade correspondente à máxima fase estável de lactato (MLSS) ou Potência Crítica (PC). A esta intensidade a concentração de lactato é maior ( $2-6 mmol \cdot L^{-1}$ ), contudo, ainda possui estabilidade ao longo do tempo. Neste domínio, a estabilidade do  $\dot{V}O_2$  é mais demorada devido ao aparecimento da CL, isto é, cerca de 15-20min (Carita et al., 2014; Caritá, Picarelli, Greco, & Denadai, 2015).

No que diz respeito ao **domínio severo**, este envolve intensidades de exercício acima da PC/MLSS, em que o  $[La^-]$  e o  $\dot{V}O_2$  não apresentam estabilidade ao longo do tempo registando um aumento gradativo até à exaustão do atleta. A maior CL do  $\dot{V}O_2$  permite que o seu valor

máximo seja alcançado. Recentemente Hill et al., (2002) sugeriram que o limite superior deste domínio corresponde á intensidade acima da qual a duração do esforço é tão curta que o  $\dot{V}O_{2PICO}$  não é alcançado. Como se pode observar nas figuras abaixo indicadas (Fig.8 e 9) em indivíduos ativos, esta intensidade correspondeu a 136% da potência máxima atingida ( $P_{PICO}$ ) num teste incremental num cicloergómetro (Denadai & Caputo, 2003).

Figura 2 - Cinética do consumo de oxigénio e do lactato sanguíneo nos domínios moderado, pesado e severo (abaixo do  $\dot{V}O_{2PICO}$ ) retirado de Carita et al., (2014).

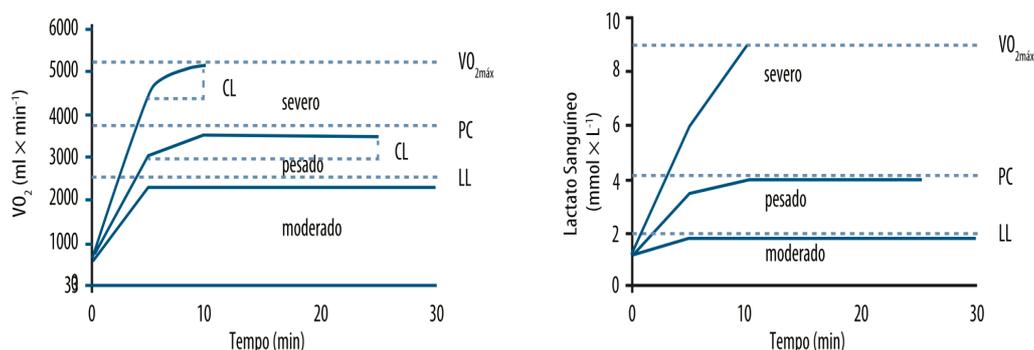
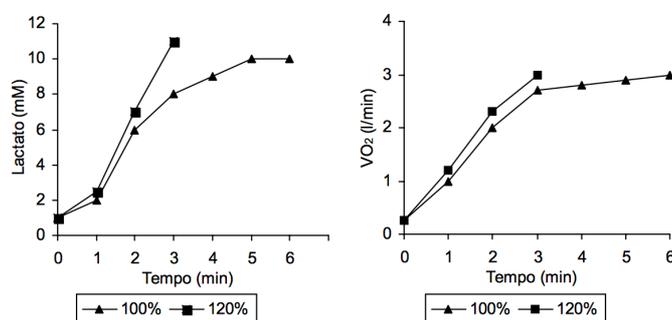


Figura 3 - Cinética do consumo de oxigénio e do lactato sanguíneo no domínio severo para exercícios realizados a 100% e 120%  $\dot{V}O_{2PICO}$ , retirado de Caputo, (2006); Denadai & Caputo, (2003).



### 2.7.1.3 CINÉTICA DE OXIGÉNIO ( $\dot{V}O_{2K}$ ) E TREINO

Está bem fundamentado que o treino de resistência promove determinadas adaptações nos sistemas cardiorrespiratório e neuromuscular. Adaptações essas que permitem ao atleta manter a mesma intensidade durante mais tempo e ou atinja intensidades mais elevadas (Bailey, Wilkerson, Dimenna, & Jones, 2009; Jones & Carter, 2000), fomentando um aumento do consumo máximo de oxigénio (Gaesser & Brooks, 1984), do LL (Norris & Petersen, 1998) e da PC (Alves, 2006; MacLaren & Coulson, 1999).

Estudos de carácter transversal e longitudinal, apontam para a influência do treino no estado da cinética de  $\dot{V}O_2$ . Observou-se que após duas (Womack et al., 1995), seis (Casaburi, Storer, Ben-Dov, & Wasserman, 1987), sete (Poole, Ward, Gardner, & Whipp, 1988) e oito semanas de treino de resistência (Belman & Gaesser, 1991; Casaburi et al., 1987) houve uma redução na resposta submáxima do  $\dot{V}O_2$  num exercício de intensidade pesada.

A discordância em relação às alterações que o treino induz na CL do  $\dot{V}O_2$  poderá ser explicada pela intensidade do exercício (pré-treino), escolhida para provocar a resposta  $\dot{V}O_2$  submáximo. Segundo McKay et al., (2009) observou-se que após dois dias de treino, as transições de intensidade moderada mostravam uma diminuição do  $\tau_p$  na ordem dos 17-20% após o intervalo de treino moderada ou de intensidade elevada.

Embora o tipo de treino (intensidade, volume e duração) que potencializa as melhorias na cinética do  $\dot{V}O_2$  não ser claro, é consensual que o treino induz um aumento de velocidade da cinética do  $\dot{V}O_2$  inicial e/ou uma CL com uma magnitude reduzida em pessoas destreinadas (Bailey et al., 2009; Daussin et al., 2008; Phillips, Green, MacDonald, & Hughson, 1995) e treinadas (Demarle et al., 2001; Norris & Petersen, 1998).

De acordo com Kilding et al., (2006, 2007), num estudo realizado com corredores de fundo e meio fundo treinados em transições de intensidades moderadas, mostraram que os atletas de fundo mostravam uma cinética mais rápida. Apesar do  $\dot{V}O_{2PICO}$  e  $L_V$  serem semelhantes, a  $t$  foi inversamente correlacionado com o volume de treino nos dois grupos, concluindo que o  $t$  é mais sensível que o  $\dot{V}O_{2PICO}$  e  $L_V$ . Ou seja, quanto mais rápida for a  $\dot{V}O_{2k}$  melhor será a performance (Caputo & Denadai, 2004; Demarle et al., 2001; Pringle et al., 2003).

#### **2.7.1.4 CINÉTICA DE OXIGÉNIO ( $\dot{V}O_{2K}$ ) PARTINDO DE TAXA METABÓLICA ELEVADA**

O tau ( $\tau$ ) que descreve o aumento exponencial fundamental no  $\dot{V}O_2$  após um aumento súbito na taxa de trabalho a partir de uma linha de base de repouso ou exercício muito leve tem sido geralmente descrita como sendo maior quando a taxa de trabalho prescrita está acima do LL. De acordo com a revisão dos autores Jones & Poole, (2005), foi referido que a média do grupo  $\tau$  para a cinética da Fase II da  $\dot{V}O_{2k}$  (que é considerada como sendo a cinética do consumo de  $O_2$  muscular (Grassi et al., 1996; Rossiter et al., 2002) foi mais elevada no exercício realizado

acima do LL quando comparado com valores inferiores do mesmo limiar (Wilkerson & Jones, 2006).

Existem evidências de que o ganho "funcional" da resposta de  $\dot{V}O_2$  (aumento do  $\dot{V}O_2$  por unidade de aumento da taxa de trabalho) ou seja (Fase I + Fase II), é significativamente inferior em intensidades superiores a  $\sim 75-85\% \dot{V}O_{2PICO}$  (Carter et al., 2002; Pringle et al., 2002; Scheuermann & Barstow, 2003; Wilkerson et al., 2004). Contudo, em intensidades acima do LL a  $\dot{V}O_{2CL}$  é aumentada de forma a elevar o  $\dot{V}O_2$  no final do exercício para valores superiores do que seriam esperados (Whipp, 1994; Whipp & Wasserman, 1972). Neste domínio de intensidade moderada e com base no pressuposto de que a  $\dot{V}O_{2k}$  reflete quando os músculos se contraem (Barstow, Lamarra, & Whipp, 1990; Grassi et al., 1996; Koga et al., 2005), esses achados indicam que o metabolismo oxidativo do músculo está sob controle linear de primeira instância neste domínio de intensidade, ou seja,  $\dot{V}O_2$  muscular é regulado por um único fator limitante da taxa (Fujihara et al., 1973; Whipp & Mahler, 1980).

É amplamente aceito que a "inércia" metabólica oxidativa do músculo (e especificamente o controle "feedback" da respiração mitocondrial através dos produtos da hidrólise citológica de fosfato de alta energia), em vez da disponibilidade de  $O_2$  muscular seja responsável pela cinética finita de  $\dot{V}O_2$  observada neste domínio (Whipp & Mahler, 1980; Whipp et al., 2005) citado por (Wilkerson & Jones, 2007).

A influência da intensidade do exercício na fase primária da resposta é algo discutida, tendo alguns estudos sugerido que quer o  $\tau$  quer o ganho da resposta são semelhantes para as taxas de trabalho tanto inferiores como superiores ao LL. Enquanto outros sugerem que o  $\tau_p$  se torna mais longo e o ganho é diminuído com taxas de trabalho mais elevadas, especialmente intensidades acima da "potência crítica" (Jones & Poole, 2005).

Contudo, aceita-se que, para taxas de trabalho acima do LL, a resposta fundamental de  $\dot{V}O_2$  seja ampliada por uma  $\dot{V}O_{2CL}$  de início tardio, que eleva  $\dot{V}O_2$  acima do valor de estado estacionário e que pode ser predito para a taxa de trabalho (Barstow & Molé, 1991; Linnarsson et al., 1974; Whipp & Wasserman, 1972).

A  $\dot{V}O_{2CL}$  aumenta a solicitação metabólica do exercício e podendo até resultar na obtenção de  $\dot{V}O_{2PICO}$  durante o exercício acima da PC (Özyener, Rossiter, Ward, & Whipp, 2001; Poole et al., 1988; Wilkerson et al., 2004) limitando assim a tolerância ao exercício. A compreensão dos

fatores fisiológicos que medeiam a  $\dot{V}O_{2CL}$  é, portanto, de importância tanto conceitual quanto prática. A maior complexidade dos perfis de resposta de  $\dot{V}O_2$  durante (Özyener et al., 2001), o exercício de intensidade pesada e severa implicam que um fator adicional pode modular o metabolismo oxidativo muscular nesses domínios mais intensos (Jones & Poole, 2005).

De acordo com Brittain et al., (2001); di Prampero et al., (1989); Hughson & Morrissey, (1983); MacPhee et al., (2005); Wilkerson & Jones, (2006) a alteração da taxa metabólica na resposta a cinética de  $O_2$  após imposição de uma taxa de trabalho específica podem fornecer uma visão útil dos determinantes putativos de controlo da respiração celular. Segundo Hughson & Morrissey, (1983), mencionaram que a fase II da  $\dot{V}O_{2k}$  após uma transição súbita para intensidades moderadas era mais lenta quando o exercício é iniciado a partir de uma intensidade leve quando comparado com inicio em repouso.

Contudo e segundo Brittain et al., (2001), a cinética de resposta de  $\dot{V}O_2$  a uma taxa de trabalho que solicite 90% do LL, foi citada como sendo mais lenta quando o exercício começa de taxas metabólicas na ordem dos 50% do LL, quando comparado com inícios com valores de taxa de trabalho de 20Watts.

A  $\dot{V}O_{2k}$  mais lenta para uma tarefa mais vigorosa quando comparada com intensidade abaixo do LL tem sido tipicamente atribuída a limitações de transmissão de  $O_2$  muscular (Hughson, Tschakovsky, & Houston, 2001) enquanto o aparecimento da componente lenta  $\dot{V}O_2$  durante o exercício acima do LL tem sido relacionado ao recrutamento de fibras musculares de tipo II<sup>5</sup> para atender à elevada demanda metabólica (Barstow, Jones, Nguyen, & Casaburi, 1996; B. Whipp, 1994). A possibilidade de recrutamento de fibras de tipo II com taxas de trabalho mais elevadas também pode influenciar o  $\tau_p$ , independentemente das mudanças no fornecimento de  $O_2$  de massa muscular (Carter et al., 2002; Jones, Carter, Pringle, & Campbell, 2002; Jones & Poole, 2005; Özyener et al., 2001; Pringle et al., 2003; Whipp, Rossiter, & Ward, 2002; Wilkerson & Jones, 2006).

Deste modo, sugeriu-se que essa cinética mais lenta (quando o exercício mais intenso é iniciado a intensidades de baixa taxa metabólica) poderá ser atribuída a alterações nas fibras

---

<sup>5</sup> Fibras Tipo II - São fibras brancas, de maior diâmetro, também designadas de fibras rápidas glicolíticas, inervadas por grandes motoneurónios com elevado limiar de excitação, sendo utilizadas esporadicamente em contrações muito rápidas ou vigorosas mas de curta duração (Mil-Homens, Pezarat-Correia, & Mendonça, 2015)

musculares (Brittain et al., 2001; Wilkerson & Jones, 2006), contribuindo para a produção de força, de acordo com o “princípio de Henneman” (Henneman & Mendell, 1981, 2011).

O princípio de Henneman, postula que as unidades motoras (UM) são recrutadas por ordem crescente da sua capacidade de produção de força ou seja, as Unidades Motoras de menores dimensões possuem limiares de excitabilidade mais baixos e são recrutadas em primeiro lugar. Há evidências de que as fibras que são mais elevadas na hierarquia de recrutamento, que seriam isoladas numa transição “work to work”, têm uma  $\dot{V}O_{2k}$  mais lenta, bem como um custo de contração de  $O_2$  maior em relação às fibras de menor ordem (Crow & Kushmerick, 1982; Reggiani et al., 1997; Willis & Jackman, 1994).

Logo, espera-se que alterações do treino que envolvam predominantemente fibras de tipo I<sup>6</sup> possam melhorar as respostas fisiológicas em protocolos de baixa intensidade, enquanto que as intervenções de treino que recrutam uma maior proporção de fibras tipo II, espera-se um aumento das respostas em grande medida na etapa superior de um protocolo de intensidade mais elevada.

Foi mencionado por Essén, (1978); Gollnick et al., (1972, 1974); Green, (1977); Krustup et al., (2004, 2009); Thomson et al., (1979) que a depleção de glicogénio muscular e de PCr são maiores nas fibras musculares de tipo I em comparação com as fibras musculares de tipo II durante o exercícios de trabalho contínuo entre 30-80%  $\dot{V}O_{2PICO}$ , citado por Da Boit et al., (2014).

Por outro lado, observa-se uma depleção significativa de glicogénio muscular e de PCr nas fibras musculares tipo I e II após intervalos repetidos acima de  $\dot{V}O_{2PICO}$  (Essén, 1978; Gollnick, Armstrong, Sembrowich, Shepherd, & Saltin, 1973; Gollnick et al., 1974), com uma depleção preferencial de glicogénio muscular em fibras musculares tipo II (Da Boit et al., 2014; Essén, 1978; Gollnick et al., 1973).

Além disso, devido ao fato de que o treino intervalado induzir maior adaptação às enzimas oxidativas em fibras de tipo II quando comparados com o treino contínuo (Gjøvaag & Dahl, 2008;

---

<sup>6</sup> Fibras Tipo I - São fibras de contração lenta, ou vermelhas, dependentes sobretudo do metabolismo oxidativo. São inervadas por motoneurónios motores de menor calibre e com limiares de excitabilidade mais baixos. Apresentam grande resistência à fadiga, estando funcionalmente bem adaptadas à produção de contrações pouco intensas mas que podem ser mantidas de forma mais prolongada (Mil-Homens, Pezarat-Correia, & Mendonça, 2015).

Henriksson & Reitman, 1976), e porque as fibras do tipo IIX manifestam maiores elevação da capacidade oxidativa induzidas pelo treino à medida que aumenta a intensidade do mesmo acima do  $\dot{V}O_{2PICO}$ , ou seja, as fibras tipo II após o treino de sprints repetidos podem ser ampliadas em maior dimensão quando comparadas com o treino de resistência)

Seria expectável que essas adaptações específicas do tipo de fibra resultassem numa  $\dot{V}O_{2k}$  mais rápida e uma maior tolerância ao exercício de intensidade severa iniciada a partir de uma linha de base elevada após treino de sprints repetidos quando comparados treino de resistência (Crow & Kushmerick, 1982; Demarle et al., 2001; Krstrup et al., 2008). Contudo, não é evidente a existência de um método de treino perfeito de forma a acelerar a  $\dot{V}O_{2k}$  e melhorar o desempenho do exercício na etapa superior de um protocolo de “work to work” (Da Boit et al., 2014).

## **2.8 Impacto do treino intervalado na capacidade aeróbia**

De acordo com os autores Gibala et al., (2012) e Iaia & Bangsbo, (2010) provaram que o HIIT (4-6\*30s/ 3-5min recuperação) é um excelente estímulo para adaptações musculares e cardiovasculares quer em atletas em pessoas não treinadas.

Alguns indivíduos poderão ter dificuldades em obter melhorias na condição cardiorrespiratória através dos métodos tradicionais de treino de endurance, possivelmente por causas genéticas (Bacon, Carter, Ogle, & Joyner, 2013; Bouchard et al., 2011), dados que contrastam com outros estudos em que o  $\dot{V}O_{2PICO}$  aumenta após intervenções com protocolos de treino intervalado ou protocolos de treino misto (Bacon et al., 2013).

De acordo com Buchheit & Laursen, (2013b); Laursen et al., (2002) foram observadas melhorias cardiorrespiratórias e de performance em ciclistas altamente treinados durante duas semanas com quatro sessões de HIIT (20x60s à potência pico [ $P_{PICO}$ ] com 2min recuperação) ( $\dot{V}O_2 = 68,7 \pm 1,3 \text{ ml.kg}^{-1}\text{min}^{-1}$ ). O desempenho da performance foi acompanhado com a diminuição nas taxas de recuperação tanto no QR como na FC, na recuperação após 1min desde a primeira até à quarta sessão do HIIT ( $p \leq 0,05$ ); o  $L_V$  e a  $P_{PICO}$  também mostraram melhorias no pós HIIT ( $p \leq 0,05$ ).

Foi referido por Åstrand et al., (1960) que quanto menor a duração do pico de carga de trabalho, menor será a oscilação dos valores agudos de  $\dot{V}O_2$  em torno da solicitação da potência média

( $P_{MÉDIA}$ ). Foi observado que intervalos de 30s-1min, apenas 63% do  $\dot{V}O_2$  foi alcançado. Por outro lado (Christensen, Hedman, & Saltin, 1960) observaram que, com curtos períodos de 15s de intensidade elevada com 15s de recuperação passiva, os valores de  $\dot{V}O_{2PICO}$  foram atingidos apenas no final do treino apesar de valores baixos de  $[La^-]$ . Durante o HIIT (com picos de intensidade de 2-3min com a mesma carga de trabalho), verificou-se um aumento do  $\dot{V}O_2$ , atingindo valores máximos no final de cada pico de carga, resultados esses corroborados por (Seiler & Sjuksen, 2004).

Grande parte de estudos envolvendo treinos de HIIT (duas a três semanas) indicam a existência de uma aumento em alguns marcadores:  $\dot{V}O_{2PICO}$ , capacidade oxidativa do músculo esquelético e outros marcadores de condição física (p.ex., saltos verticais, sprints) (Bogdanis, 2012; Buchan et al., 2013; Jacobs et al., 2013; Tjonna et al., 2009, 2013).

Num estudo recente Tjonna et al., (2009) indicaram que um grupo experimental ao realizar apenas um treino de HIIT (1x4min 90%  $\dot{V}O_{2PICO}$ , três séries/semana durante 10 semanas) apresentaram melhorias semelhantes na perda de peso e aumentou  $\dot{V}O_{2PICO}$  para aqueles que participaram em mais séries com mesmo protocolo HIIT. Sugerindo que, mesmo com poucas séries de HIIT poder-se-á obter melhorias cardiorrespiratórias.

A maioria dos estudos mostram também, que o HIIT é uma excelente forma de aumentar a densidade mitocondrial e a biogénese nos músculos, o que também resulta em aumento da capacidade oxidativa (Boyd, Simpson, Jung, & Gurd, 2013; Jacobs et al., 2013). Se número de mitocôndrias for aumentado, pode ser sintetizada mais energia a ser utilizado pelos músculos. Alguns estudos sugerem que as intensidades supramáximas (>100%  $\dot{V}O_{2PICO}$ ) podem ser ainda mais eficazes na melhoria do desempenho aeróbio e nos sprints (Cicioni-Kolsky, Lorenzen, Williams, & Kemp, 2013). Já os autores Buchheit & Laursen, (2013b); Laursen, (2010); Laursen & Jenkins, (2002) indicam que as intensidades máximas ou próximas das máximas são mais efetivas no aumento do  $\dot{V}O_{2PICO}$ .

Embora haja evidências de benefícios no  $\dot{V}O_{2PICO}$  a intensidades mais baixas (Boyd et al., 2013), os maiores resultados obtido são com treino a intensidades mais elevadas (Buchan et al., 2013; Buchheit & Laursen, 2013b; Burgomaster et al., 2006; Gibala & Ballantyne, 2007; Gibala & Jones, 2013; Moholdt, Madssen, Rognmo, & Aamot, 2014; Skelly et al., 2014).

## 2.9 Limiares ventilatórios ( $L_{V1}$ e $L_{V2}$ )

A determinação dos limiares ventilatórios ( $L_V$ ) constitui uma importante predominância para a prescrição e controlo da intensidade na avaliação dos efeitos do treino, no entanto, um determinado parâmetro fisiológico avaliado de forma isolada não contribui para a melhor entendimento dos mecanismos que poderão interferir no rendimento do atleta.

O primeiro limiar ventilatório ( $L_{V1}$ ) ocorre numa intensidade de treino na qual ocorre um aumento do ácido láctico acima dos valores de repouso, contudo o pH sanguíneo não diminui significativamente (Hagberg et al., 1982; Reinhard, Müller, & Schmülling, 1979).

Num treino realizado nesta intensidade, ocorre pouca produção e acumulação de ácido láctico, isto porque, existe muito a participação das fibras tipo I com maior capilarização (Saltin & Gollnick, 1983). De acordo com Jorfeldt, (1970), estas fibras quando ativadas em treinos de baixa intensidade de forma contínua, extraem e oxidam o ácido láctico proveniente das fibras tipo II, que possuem elevado teor glicolítico anaeróbio.

As respostas metabólicas e ventilatórias verificadas acima do  $L_{V2}$ , aumentam de forma substancial quando comparadas com as do  $L_{V1}$ . Ao alcançar a fase do  $L_{V2}$ , o exercício já passa a ser considerado de intensidade moderada a intensa, devido ao aumento das concentrações de lactato acima do  $L_{V1}$ .

O aumento do  $[La^-]$  encontra-se relacionado com as fibras de tipo I e IIa e IIx de padrão mais glicolítico e anaeróbio. Ao atingir esse momento metabólico, a resposta ventilatória é aumentada de forma gradual. A partir do momento em que a capacidade tampão do músculo é suplantada e ocorre maior produção de lactato, o atleta será submetido a uma fadiga muscular intensa. Deste modo, o  $L_{V2}$  representa a intensidade de esforço acima da qual, durante um exercício de intensidade crescente, ocorre acumulação de lactato logo, fadiga precoce. O  $L_{V2}$  está associado a um ponto de compensação respiratória para a acidose metabólica contínua (Dekerle, Baron, Dupont, Vanvelcenaher, & Pelayo, 2003). Estes mecanismos fornecem uma estrutura fisiológica à avaliação da capacidade humana de tolerar o exercício em diversas intensidades e, portanto, é um guia para a prescrição de exercícios de resistência (Boulay, Simoneau, Lortie, & Bouchard, 1997; Dekerle et al., 2003; Goldberg, Elliot, & Kuehl, 1988; Meyer, Lucia, Earnest, & Kindermann, 2005) citado por Fradão, (2013).

Um atleta com  $L_{V2}$  elevado, poder-se-á dizer que está melhor preparado para realizar treinos mais intensos durante mais tempo. Logo, é benéfico utilizar uma alta percentagem de  $\dot{V}O_{2PICO}$  sem entrar em acidose metabólica precoce, citado por Silva et al., (1998). De acordo com Davis et al., (1979); McLellan and Skinner, (1982) a variabilidade dos limiares ventilatórios pode ocorrer a percentagens diferentes do  $\dot{V}O_{2PICO}$ , mesmo que tenham o mesmo valor do  $\dot{V}O_{2PICO}$ . Pode-se concluir que, para os atletas terem uma melhor aptidão aeróbia deverão treinar perto do  $L_{V2}$ , pois a sua eficiência metabólica nesse momento é maior.

### **2.10 Capacidade Anaeróbia (CAN)**

A capacidade anaeróbia (CAN) pode ser definida como a quantidade máxima de energia consumida no exercício por processos anaeróbios (lático e alático) (Noordhof, De Koning, & Foster, 2010). De acordo com Medbø and Tabata, (1993), evidenciaram que, ainda que a quantidade de ATP ressíntetizada anaerobiamente seja limitada, a quantidade de CP utilizada durante o esforço intenso não é reduzida essencialmente a partir dos 120s.

A estimativa da CAN e do sistema anaeróbio tem sido de difícil realização devido à dificuldade que se tem em calcular os marcadores fisiológicos que melhor as representem, causando uma impossibilidade em se estabelecer um teste padrão para medida da CAN (Gastin, 2001).

Os testes mais aceites para a medida e avaliação da CAN apoiam-se na quantificação do desempenho mecânico em exercício supramáximo. Nessa sentido, o teste mais empregue tem sido o de “Wingate”, o qual tem duração de 30s e é realizado num cicloergómetro. No entanto, reconhece-se a limitação dessa técnica, uma vez que, mesmo em testes curtos, há contribuição substancial e inevitável do metabolismo aeróbio (Franchini, Takito, Bertuzzi, & Kiss, 2003), dependente da especialização atlética do avaliado (Granier, Mercier, Mercier, Anselme, & Prefaut, 1995), sem distinção da potência gerada a partir de cada um dos sistemas bioenergéticos (Nakamura & Franchini, 2006).

Das metodologias utilizadas para a avaliação das contribuições anaeróbias durante esforços de alta intensidade e curta duração, destacam-se as seguintes:

- i. Biopsia muscular (Medbø & Tabata, 1993; Spriet, 1995);
- ii. Determinação do máximo défice acumulado de  $O_2$  (MAOD)(Medbø et al., 1988);

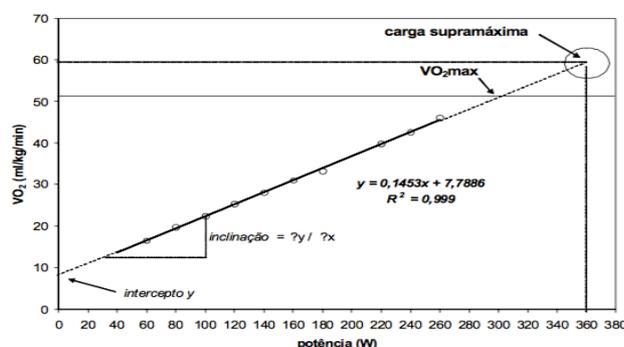
- iii. Análise do consumo excessivo de  $O_2$  pós-exercício (EPOC) (Bertuzzi et al., 2010; Margaria, Edwards, & Dill, 1933; Zagatto et al., 2011);
- iv. Acumulação de  $[La]$  (Bertuzzi et al., 2010; di Prampero & Ferretti, 1999; Zagatto et al., 2011).

### 2.10.1 Máximo Déficit Acumulado De $O_2$ (MAOD)

Existe uma tendência de se conceituar o máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD) como o método mais aceitável para avaliação do metabolismo anaeróbio (Green & Dawson, 1993), sobretudo pela fundamentação teórica que o envolve (Gastin, 1994).

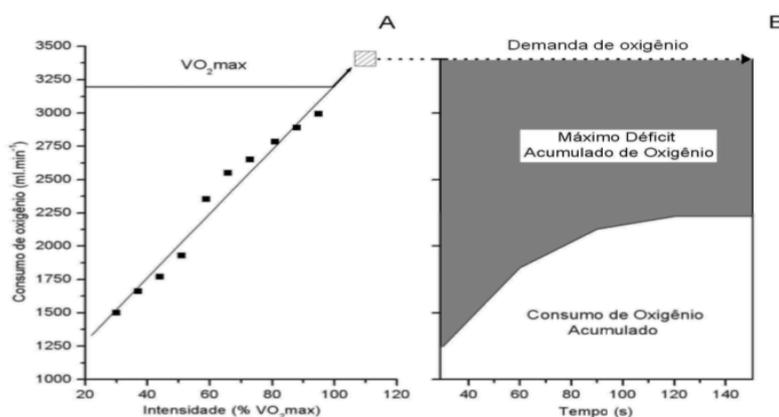
O MAOD foi proposto por Medbø et al., (1988) com o intuito de o utilizar como uma medida indireta da CAN. Segundo o mesmo autor, o primeiro passo para a determinação do MAOD consiste no estabelecimento de uma relação linear individual entre a demanda de  $O_2$  e a intensidade do exercício, sob condições submáximas, com intensidades compreendidas entre 35- 100% do  $\dot{V}O_{2PICO}$  (Figura 4).

Figura 4 - Relação linear entre  $\dot{V}O_2$  e cargas submáximas em cicloergómetro, e extrapolação da relação para carga acima do  $\dot{V}O_{2PICO}$  (supramáxima)



É assumido, como a diferença entre a demanda energética teórica, determinada a partir das relações entre o  $\dot{V}O_2$  e intensidades submáximas ( $\dot{V}O_2$  -intensidade) e o  $\dot{V}O_2$  acumulado ( $\dot{V}O_{2AC}$ ) determinado durante um esforço supramáximo (Medbø et al., 1988; Mezzani et al., 2006; Noordhof et al., 2010; Weber & Schneider, 2000) (Fig. 5).

Figura 5 - Exemplo gráfico dos princípios metodológicos empregados na determinação do MAOD (adaptado de Medbø *et al.*, 1988)



**Legenda:** Painel A: a regressão linear é estabelecida entre o O<sub>2</sub> e as intensidades submáximas do exercício físico. Em seguida, se realiza a extrapolação do O<sub>2</sub> para a intensidade supramáxima desejada (quadrado). Painel B: o MAOD (cinza escuro) é determinado pela diferença entre a demanda de O<sub>2</sub> e o O<sub>2</sub> (branco) sob o período de tempo de duração do exercício. Retirado de Bertuzzi *et al.*, (2008)

Para a determinação da demanda energética teórica, deve-se assumir que a relação  $\dot{V}O_2$  - intensidade possui comportamento linear, sendo que o  $\dot{V}O_2$  aumenta proporcionalmente aos incrementos de intensidade aplicados em esforços submáximos com duração de 6 a 10 min (Medbø *et al.*, 1988; Noordhof *et al.*, 2010). O esforço supramáximo deve possuir duração superior a dois minutos para que o  $\dot{V}O_{2AC}$  não seja subestimado, influenciando os valores finais de MAOD (Medbø & Tabata, 1993).

Além do teste Wingate realizado no cicloergômetro, os valores do MAOD podem aparecer associados também ao teste anaeróbio máximo na passadeira (Maxwell & Nimmo, 1996) e à curvatura constante determinada pelo modelo de potência crítica (PC) (Hill, 1993; Hill & Smith, 1993, 1994).

Além disso, o MAOD aparenta ser perceptível ao treino de intensidade elevada por períodos de seis (Medbø & Burgers, 1990; Tabata *et al.*, 1996) a oito semanas (Weber & Schneider, 2002), não apresentando modificações no que diz respeito ao treino predominantemente aeróbio (Tabata *et al.*, 1996).

A validade do MAOD também foi confirmada a partir das respostas observadas em situação de hipoxia (Medbø *et al.*, 1988) e das alterações induzidas pela suplementação de substâncias estimuladoras da glicólise anaeróbia (p. ex., cafeína, efedrina e creatina) (Bell, Jacobs, & Ellerington, 2001; Doherty, 1998) e dispõe da capacidade de conseguir distinguir de forma transversal sujeitos com diferentes estados de aptidão física (Medbø & Burgers, 1990).

Os investigadores Medbø & Burgers, (1990) citado por Bertuzzi et al., (2008) analisaram de forma transversal e longitudinal os efeitos de diferentes regimes de treino na capacidade anaeróbia. No primeiro, o MAOD foi medido em indivíduos com diferentes níveis de aptidão física, ao passo que no segundo o MAOD foi medido em homens e mulheres fisicamente ativos, antes e após seis semanas de treino predominantemente anaeróbio. Os principais resultados obtidos foram: 1) não havia diferença significativa entre o MAOD dos atletas treinados aerobiamente e o do grupo-controlo, porém, os atletas treinados de forma anaeróbia possuíam o MAOD de 30% maior que esses dois grupos; 2) mesmo detendo o MAOD estatisticamente maior no início do estudo (17%), somente os homens aumentaram o MAOD significativamente após o período de treino (16%), o que sugere que o género parece ser um fator importante na análise da CAN.

Apesar das críticas, o MAOD parece ser válido em estimar a CAN (Bangsbo et al., 1990), todavia a sua reprodutibilidade ainda é interrogada (Noordhof et al., 2010). Além disso, pelo seu referencial robusto a metodologia proposta por Medbø et al., (1988) é utilizada para validar outras ferramentas anaeróbias (Bertuzzi et al., 2010; Zagatto et al., 2011).

#### **2.10.1.1 Máximo Défice Acumulado de O<sub>2</sub> Reduzido (MAOD<sub>RED</sub>)**

Apesar do MAOD ser atualmente reconhecido como o método mais adotado para estimativa da CAN, o grande número de avaliações para determiná-la, limita sua introdução na rotina do treino. Deste modo Bertuzzi et al., (2010) com base nos achados de Margaria et al., (1993) e di Prampero & Ferretti, (1999), Bertuzzi et al. (2010) propuseram um novo método para determinar o MAOD. Este método para calcular o MAOD de forma “reduzida” (MAOD<sub>RED</sub>),, por meio de um único esforço supramáximo realizado até á exaustão do atleta baseada na soma das contribuições anaeróbias láctica e aláctica (Green & Dawson, 1993).

A contribuição anaeróbia aláctica ( $W_{ALA}$ ) pode ser determinada por meio da análise do componente rápido do EPOC (EPOC<sub>RAP</sub>) (Beneke, Beyer, Jachner, Erasmus, & Hütler, 2004; Bertuzzi, Franchini, Kokubun, & Kiss, 2007) e calcular a partir desta ultima e da massa corporal através da seguinte equação:  $W_{ALA} (J \cdot kg^{-1}) = \dot{V}O_{2ALAC} (ml \cdot kg^{-1}) \cdot \text{Equivalente Calórico} (J \cdot ml^{-1})$  (Beneke et al., 2004; Beneke, Pollmann, Bleif, Leithauser, & Hutler, 2002; Knuttgen, 1970; Roberts & Morton, 1978).

Já a contribuição anaeróbia láctica ( $W_{[La^-]}$ ) pode ser estimada através do metabolismo anaeróbio láctico, ou seja pela diferença entre as concentrações de lactato observadas no repouso e após o exercício (di Prampero & Ferretti, 1999).

Os mesmos autores sugeriram um equivalente calórico do lactato sanguíneo foi proposto como sendo de 1mmol de lactato equivalendo a 3.0 ml·O<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>(di Prampero, 1981; di Prampero & Ferretti, 1999) e do O<sub>2</sub> como 1 litro de O<sub>2</sub> equivalendo a 21.131J·ml<sup>-1</sup>, correspondendo ao rácio das trocas gasosas (QR) >1.0 (Beneke et al., 2004; Stegemann, 1991) tornando possível a estimativa da  $W_{[La^-]}$  por meio da determinação das  $[La^-]_{PICO}$ .

Equação 2:

$$W_{[La^-]} = (\Delta[La] * 3) * PC(kg)/1000$$

Onde:  $W_{[La^-]}$  é a contribuição anaeróbia láctica (L.O<sub>2</sub>),  $\Delta[La]$  é a diferença entre as  $[La]$  pico e as  $[La]$  repouso (mmol.L), 3 é o valor fixo para equivalente calórico do lactato sanguíneo (di Prampero & Ferretti, 1999) e PC é o peso corporal do participante (Kg).

Assim sendo e partindo do pressuposto que o MAOD espelha a energia ocorrida do metabolismo anaeróbio durante o esforço, a soma das componentes aláctica e láctica, pode ser assumida como uma forma reduzida para o cálculo do MAOD (MAOD<sub>RED</sub>) (Bertuzzi et al., 2010; Kalva-Filho et al., 2015; Zagatto et al., 2011).

De acordo com Kilding et al., (2006), foi verificada uma elevada reprodutibilidade nos valores da  $A_p$  e do  $t$  após um esforço com intensidade equivalente a 80% do  $\dot{V}O_{2PICO}$ . Também Zagatto & Gobatto, (2012) não observaram diferenças significativas na  $W_{ALA}$ ,  $W_{[La^-]}$  e na  $W_{TOT}$  apresentadas durante quatro esforços realizados até à exaustão (95%-130% do  $\dot{V}O_{2PICO}$ ). Estes resultados vêm corroborar em que as contribuições anaeróbias podem atingir valores máximos em esforços intensos, independentemente da intensidade ou tempo até à exaustão. Contudo e de acordo com Bertuzzi et al., (2008), existem algumas limitações na predição da CAN através do método MAOD<sub>RED</sub>.

A concentração de lactato utilizado para determinar a  $W_{[La^-]}$  poderá ser um fator limitativo do MAOD<sub>RED</sub>, pelo facto, do lactato libertado no sangue pelo músculo ativo poder ser oxidado pelos outros tecidos, e além de que, ser um método subjetivo de estimativa de energia libertada (Bertuzzi et al., 2010; Nakamura & Franchini, 2006).

Apesar da limitação supracitada, existe uma correlação significativa ( $r=0,78$ ;  $p<0,05$ ) entre os índices durante exercício até a exaustão em cicloergómetro e elevados níveis de concordância

(Bertuzzi et al., 2010). Alegando que a soma das contribuições anaeróbias (lática e alática) pode ser um método eficaz e prático para estimativa da CAN. Porém, são necessários mais estudos acerca da validade dessa ferramenta em protocolos e padrões de movimento diferentes.

### **2.11 Destreino (DT)**

As modificações induzidas pelo treino são temporárias ou provisórias. Todas as características secundárias adquiridas no treino perdem-se e retornam aos limites pré-iniciais após certo período de inatividade. Por este motivo, existe sempre a necessidade de manutenção do treino em níveis contínuos para a manutenção de um estado de treino mais elevado (Mujika & Padilla, 2001).

De acordo com o princípio da reversibilidade do treino, espera-se que o incremento do nível de aptidão física obtido através do treino, como a melhoria do equilíbrio estático e dinâmico (Toulotte, Thevenon, & Fabre, 2006), melhoria da flexibilidade (Fatouros et al., 2006; Nelson et al., 2007), o aumento do  $\dot{V}O_{2PICO}$  (Arciero et al., 2006; Volaklis, Douda, Kokkinos, & Tokmakidis, 2006), o aumento da força através do aumento da massa muscular e da capacidade de ativação voluntária máxima (Andersen, Tufekovic, et al., 2005; Andersen, Andersen, Magnusson, & Aagaard, 2005; Hakkinen, Alen, Kallinen, Newton, & Kraemer, 2000), a melhoria da composição corporal através da redução da gordura corporal (Arciero et al., 2006, 2008) e o aumento da densidade mineral óssea (Meyer et al., 2005; Santa-Clara, Fernhall, Baptista, Mendes, & Bettencourt-Sardinha, 2003; Teixeira et al., 2003; Yázigí, 2008) seja perdido ou reduzido após a interrupção do treino.

Se por um lado, o treino leva à melhoria dos parâmetros acima mencionados, o tempo necessário para que essas melhorias sejam sustentadas após a interrupção do treino (DT) parece mais discutível (Elliott, Sale, & Cable, 2002; Fatouros et al., 2004; Raso, Matsudo, & Matsudo, 2001; Teixeira-Salmela et al., 2005). Assim, desse modo, o DT leva à perda parcial ou total das adaptações anatômicas, morfológicas, fisiológicas e de desempenho induzidas pelo treino, variando qualitativa e quantitativamente do período de pausa (Mujika & Padilla, 2000b, 2000a, 2001). Os mesmos autores referiram a necessidade de diferenciar o conceito de DT do síndrome do DT ou relaxamento (caracterizada pelo estado clínico onde os atletas fundistas que interrompem os treinos repentinamente, começam a sentir fadiga, palpitações, arritmias, insónias....). De acordo com os investigadores Evangelista & Brum, (1999), entre os vários

efeitos, o DT causa perda das adaptações centrais e periféricas, que foram adquiridas com as adaptações ao treino físico aeróbio, e conseqüentemente, resultarão na diminuição do  $\dot{V}O_{2PICO}$ .

Vários estudos em jogadores de futebol mostraram que mais de uma semana de DT causaram diminuição no desempenho do exercício (Melchiorri et al., 2014; Thomassen, Christensen, Gunnarsson, Nybo, & Bangsbo, 2010). Todavia, numa investigação com ciclistas masculinos, depois seis semanas de treino indicaram após que uma semana de DT não houve alterações no contrarrelógio (Burgomaster et al., 2007). De acordo com estudos prévios, uma única semana de DT não provocou diminuição da performance, até podendo ser benéfico ao nível da recuperação psicológica.

### **2.11.1 CARACTERÍSTICAS CARDIORRESPIRATÓRIAS DO DESTREINO DE HIIT**

Várias evidências mostram que o DT de HIIT poderá comprometer a capacidade cardiorrespiratória (diminuição do  $\dot{V}O_{2PICO}$ , ventilação pulmonar, ventilação máxima equivalente e o pulso de  $O_2$ ) (Coyle, Hemmert, & Coggan, 1986; Fringer & Stull, 1974; Mujika & Padilla, 2000b, 2000a, 2001; Orio et al., 2008).

A diminuição do  $\dot{V}O_{2PICO}$  como consequência do período de DT depende do tempo do mesmo e do nível de condição física do indivíduo (Mujika & Padilla, 2000a, 2001). O DT num período inferior a quatro semanas em atletas treinados mostrou uma diminuição do  $\dot{V}O_{2PICO}$  com valores entre 4-14% (Mujika & Padilla, 2001), quando comparados com indivíduos sedentários, a diminuição no  $\dot{V}O_{2PICO}$  durante um período de duas a quatro semanas é inferior a 3 - 6% (Mujika & Padilla, 2000b, 2000a, 2001). Estes resultados estão de acordo com os resultados mostrado por Coyle et al., (1986), onde apresentam correlações ( $p=0,93$ ) entre  $\dot{V}O_{2PICO}$  em atletas treinados e a reversão no DT, ou seja quanto maiores os valores de  $\dot{V}O_{2PICO}$ , maior a diminuição no DT.

A diminuição do  $\dot{V}O_{2PICO}$  após dois meses de DT em jovens (9 - 25anos) e adultos (50 - 65anos) treinados, apresentaram uma diminuição de 16,3% e 16,9% respetivamente (Giada et al., 1998). Ou seja a perda de adaptações do treino em atletas treinados não dependem da idade dos indivíduos (Giada et al., 1998; Ormsbee & Arciero, 2012).

Algumas evidências suportam a manutenção da “memória muscular” das fibras em nadadores treinados após um período de inatividade associado a uma ligeira atrofia (Costill et al., 1985)

demonstrando mudanças dramáticas ao nível metabólico com um DT entre uma e quatro semanas. A existência dessa memória muscular irá permitir no entanto, uma rápida recuperação ao nível da força uma vez retomado o treino (Staron et al., 1991). No entanto se houver uma interrupção abrupta do treino, esse ganho rápido está excluído quer em jovens (Giada et al., 1995; Izquierdo et al., 2007) quer em adultos (Fatouros et al., 2005; Giada et al., 1995; Harris, DeBeliso, Adams, Irmischer, & Spitzer, 2007).

De acordo com Arciero, Smith, & Calles-Escandon, (1998); Vukovich et al., (1996) mostraram que entre 6/7-10 dias de DT estão associados a uma redução da tolerância à glicose, ação de insulina e aos níveis ao nível do transporte de GLUT-4. Contudo, outros, apontaram reduções na capacidade total aeróbia (Coyle et al., 1984, 1986; García-Pallarés, García-Fernández, Sánchez-Medina, & Izquierdo, 2010) capacidade respiratória do músculo deltoide e conteúdo de glicogénio muscular, quando comparados com os níveis no treino durante a época alta (Costill et al., 1985). Ainda no campo da natação, foram relatados que após dois meses de DT em jovens do sexo feminino ( $\dot{V}O_{2PICO} = 54,9 \pm 5,8 \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1}$ ) observou-se um incremento significativo de PC (4,8kg) e de Mg (4,3kg) .

Segundo os investigadores Binder et al., (2005), o treino de resistência no atleta, sugere um aumento massa muscular e trocas respiratórias, diminuindo a massa gorda total mudando a composição corporal de forma significativa (Shinkai et al., 1994) induzindo aumentos no  $\dot{V}O_{2PICO}$  e adaptações metabólicas levando a um aumento da performance (Hakkinen et al., 2003; Tabata et al., 1996).

#### **2.11.1.1 DESTREINO E RESPOSTAS CARDIORRESPIRATÓRIAS**

O  $\dot{V}O_{2PICO}$ , após duas ou mais semanas de DT poderá ser reduzido na ordem dos 4% a 20% (Allen, 1989; Coyle et al., 1984). A redução do volume sanguíneo é o principal fator responsável pelo declínio cardiovascular em cerca de 5-12% nos primeiros dias de inatividade em atletas de resistência (Cullinane, Sady, Vadeboncoeur, Burke, & Thompson, 1986; Lo, Lin, Yao, & Ma, 2011).

#### **2.11.1.2 DESTREINO E RESPOSTAS METABÓLICAS**

O aumento da troca respiratória durante o esforço máximo e submáximo sugere um aumento da dependência de hidratos de carbono como fonte energética após a fase de DT (Mujika &

Padilla, 2000a). A sensibilidade para o corpo todo e a absorção da glicose mediada pela insulina diminui rapidamente, podendo resultar num teor muscular reduzido ao nível da GLUT-4, nos primeiros 6-10 dias em 17%-33% (Godfrey, Madgwick, & Whyte, 2003; Vukovich et al., 1996).

Os níveis de concentração de lactato mais elevados foram medidos em nadadores, atletas de corrida de resistência e ciclistas, após alguns dias de DT. Além disso, o LL em atletas destreinados é de menor percentagem de  $\dot{V}O_{2PICO}$  quando comparado com atletas treinados, contudo, nos atletas treinados esse limiar é encontrado em maior percentagem do que em indivíduos previamente sedentários (Coyle, Martin, Bloomfield, Lowry, & Holloszy, 1985).

Por outro lado, Mujika & Padilla, (2000a, 2000b), salientam que a discrepância encontrada na literatura sobre a redução no  $\dot{V}O_{2PICO}$  em atletas altamente treinados, com variações entre 0 a 20% de perda do  $\dot{V}O_{2PICO}$  a partir de duas a cinco semanas de conclusão do treino. Podendo ser explicado em parte pela quantidade da atividade física praticada durante o período de ausência do treino, pela especificidade das modalidades praticadas, pelo tempo do DT e pelo passado de treino do atleta (se é recente ou se possui longo historial de treino).

Os mesmos autores reforçam que em atletas altamente treinados, o  $\dot{V}O_{2PICO}$  após o DT mantém-se acima dos valores de sedentários, enquanto as pessoas sedentárias submetidas a um curto período de treino (9-12 semanas) parecem estar mais suscetíveis ao DT de curta duração, a partir de quatro semanas (Wang, Jen, & Chen, 1997).

Em conformidade, ao estudar as adaptações metabólicas e cardiorrespiratórias do DT em sete atletas treinados (3 ciclistas e 4 corredores de fundo) os investigadores (Coyle et al., 1985) registaram redução do  $\dot{V}O_{2PICO}$  de 7% após 21 dias, 16% após 56 dias de conclusão do treino e de seguida observaram a estabilização dos valores em torno dos 17,5% acima dos valores do grupo controlo de sedentários a partir de 56 dias (Yázigí, 2008).

### III. **CAPITULO – METODOLOGIA**

*Este capítulo inclui a descrição dos meios e métodos utilizados na fase experimental do estudo e os respetivos procedimentos de análise.*



Neste capítulo são detalhadas as condições gerais em que o estudo se desenvolveu, desde a caracterização da amostra, seguindo-se a apresentação das condições de realização do estudo, onde serão apresentadas as opções metodológicas tomadas, quer no que se refere à sua execução em termos temporais, aos equipamentos e materiais utilizados, bem como as condições em que os dados relativos às principais variáveis foram recolhidos. O procedimento utilizado no tratamento dos dados e a análise estatística dos mesmos são apresentados no final do capítulo.

### 3.1 Caracterização da amostra

Um total de 15 atletas do género masculino voluntariou-se para participar neste trabalho, ainda que distribuídos pelas diferentes investigações. Os participantes apresentavam uma experiência desportiva bastante homogénea, possuindo prática de treino de CrossFit®. Estes atletas constituíram a amostra, quer do estudo I (n=12), quer do estudo II (n=8).

O recrutamento dos participantes foi efetuado em diversas “Box’s de CrossFit® da região de Lisboa. Inicialmente, foi organizada uma sessão aberta aos atletas, onde foi apresentada a informação pertinente relativa a objetivos, metodologias, e procedimentos de treino. Posteriormente, a adesão ao estudo foi concretizada através do preenchimento do consentimento informado, depois de lhes ter sido explicado oralmente e por escrito, o conjunto de procedimento a utilizar, bem como a descrição pormenorizada dos testes que iriam realizar.

Tabela 5- Caracterização da amostra (estudo I). São apresentados os valores de média e desvio padrão das variáveis estudadas (n=12)

	<b>Média ± dp</b>
<b>Idade (anos)</b>	28,67±5,00
<b>Peso (kg)</b>	75,34±8,26
<b>Altura (cm)</b>	175,50±6,10
<b>%MG</b>	10,64±3,30
<b>MIG (kg)</b>	65,07±6,10
<b>FC<sub>MAX</sub> (bat.min<sup>-1</sup>)</b>	191,25±4,29
<b>ḂO<sub>2PICO</sub> (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	49,33±4,23
<b>ḂO<sub>2PICO</sub> (L.min<sup>-1</sup>)</b>	3,711 ±0,38

Onde se lê: (cm) centímetros; (bat.min<sup>-1</sup>) batimentos por minuto; (Kg) quilogramas; (MG) massa gorda; (MIG) massa isenta de gordura; (FC<sub>MAX</sub>) frequência cardíaca máxima; (ḂO<sub>2PICO</sub>) consumo máximo de oxigénio

Tabela 6 - Caracterização geral da amostra (estudo II). São apresentados os valores de média e desvio padrão das variáveis estudadas (n=8).

	<b>Média ± dp</b>
<b>Idade (anos)</b>	28,62±7,63
<b>Altura (cm)</b>	175,9±4,28
<b>Peso (Kg)</b>	78,39±10,03
<b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b>	25,31±2,39
<b>%MG</b>	12,51±5,33
<b>MIG(kg)</b>	65,05±4,85
<b>FC<sub>REP</sub> (bat.min<sup>-1</sup>)</b>	68,62±7,76
<b>FC<sub>MED</sub> (bat.min<sup>-1</sup>)</b>	160,25±6,98
<b>FC<sub>MAX</sub> (bat.min<sup>-1</sup>)</b>	183,50±11,71
<b>ḂO<sub>2</sub>PICO (L.min<sup>-1</sup>)</b>	3,82±0,33
<b>ḂO<sub>2</sub>PICO (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	48,88±4,91

Onde se lê: (cm) centímetros; (bat.min<sup>-1</sup>) batimentos por minuto; (Kg) quilogramas; (Kg/M<sup>2</sup>) divisão da massa do indivíduo pelo quadrado de sua altura; (IMC) índice massa corporal; (MG) massa gorda; (MIG) massa isenta de gordura; (FC<sub>REP</sub>) frequência cardíaca repouso; (FC<sub>MED</sub>) frequência cardíaca média; (FC<sub>MAX</sub>) frequência cardíaca máxima; (ḂO<sub>2</sub>PICO) consumo máximo de oxigênio.

### 3.2 Critérios de exclusão

Foram recrutados voluntários do gênero masculino, de idade compreendida entre os 18 e os 45 anos (idade ativa de competição), que não apresentassem patologias musculares e ortopédicas dos membros inferiores. A necessidade de investigar a análise metabólica da modalidade de CrossFit®, exigiu a inclusão de sujeitos que manifestassem experiência em TF há pelo menos 3 anos e com uma prática de CrossFit® há pelo menos 1 ano.

Foram definidos como critérios de exclusão, o surgimento de lesões músculo-esqueléticas que comprometessem o padrão motor exigido, indivíduos sujeitos a medicação passível de influenciar a resposta ao esforço, o consumo de suplementação termogénica ou anabólica durante nos últimos 3 meses. A permanência dos participantes até ao final do período de intervenção obrigava a um cumprimento mínimo de 90% das sessões prescritas.

### 3.3 Procedimentos transversais a todos os estudos

Em todos os testes, os atletas foram aconselhados a evitar treino intenso no dia anterior às avaliações e a manter inalterados os seus hábitos nutricionais. Um aquecimento padrão, de intensidade baixa a moderada, foi realizado antes de cada sessão de avaliação.

Os testes foram conduzidos num período horário similar entre os diferentes dias por parte de cada atleta com o objetivo de minimizar o efeito da variação circadiana no desempenho (Atkinson & Reilly, 1996). Os testes para cada atleta decorreram em dias separados.

### **3.4 Métodos**

#### **3.4.1 Desenho experimental - Estudo I**

##### **PROCEDIMENTOS**

O estudo foi dividido em duas partes: 1) testes de laboratório, e 2) realização dos dois Wod's em Box's de CrossFit®. As sessões de laboratório foram realizadas ao longo de um período de 10 dias. Primeiro foi cumprido um teste progressivo contínuo máximo para determinar o consumo máximo de oxigênio ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ), os limiares ventilatórios 1 e 2 ( $LV_1$  e  $LV_2$ ) e a velocidade aeróbia máxima (VAM) ou seja, a velocidade mínima necessária, neste teste, para obter o  $\dot{V}O_{2PICO}$  e que passaremos a designar por ( $v\dot{V}O_{2PICO}$ ) (Bentley, Newell, & Bishop, 2007). Foi realizada também uma avaliação antropométrica sumária. Após 24h, os participantes foram submetidos a um teste supramáximo de velocidade constante realizado a 110% de velocidade aeróbia máxima (110%VAM) para detetar a capacidade anaeróbia (CAN). Após os testes laboratoriais, os atletas realizaram dois Wod's de CrossFit® (com três a cinco dias de intervalo entre si).

Em ambos os treinos (Wod's) foi realizado um aquecimento prévio de aproximadamente 5 -10 min, seguido de uma familiarização com a tarefa de 5 min. Após esses procedimentos iniciais foi colocado o cardiófrequencímetro em cada atleta e o analisador de gases portátil para se iniciar a recolha de dados.

A colheita de sangue foi realizada através uma micro-punção no lóbulo da orelha. A colheita teve lugar imediatamente antes do aquecimento e no final de cada série de exercícios. Os atletas forma avaliados quanto à escala da Percepção Subjetiva de Esforço (PSE) após cada teste de passada e cada Wod, de acordo com a escala adaptada de Borg (1998).

#### **3.4.2 Desenho experimental – Estudo II**

Neste segundo estudo pretendeu-se avaliar os efeitos do treino e do destreino da modalidade CrossFit®, tendo a coleta de dados decorrido em três fases.

A fase 1 do estudo compreendeu uma fase inicial de avaliação laboratorial conforme supracitado no desenho experimental do estudo I e a realização de uma sessão de treino de modelo Wod<sub>1</sub>.

A fase 2, decorreu imediatamente após seis semanas de treino da modalidade, onde foram repetidos todos os procedimentos efetuados na fase anterior.

Os atletas treinaram com uma frequência de quatro a cinco vezes por semana, com duração de 60 minutos/sessão, num total de 30 sessões de treino, completando assim as 6 semanas de treino.

A carga interna de cada sessão de treino foi quantificada através do cálculo de unidades arbitrárias de carga, decorrente (1) da determinação dos impulso de treino (TRIMPs) com base na monitorização da frequência cardíaca (2) do produto da duração de cada sessão pela estimativa da PSE-sessão.

Por fim, na fase 3, as variáveis supracitadas foram avaliadas novamente após período de destreino de três semanas.

### **3.4.3 Materiais**

Nos testes laboratoriais, todos os atletas foram avaliados em passadeira (h/p/cosmos, Pulsar, Nussdorf-Traunstein, Germany). As trocas gasosas foram quantificadas com a utilização de um analisador portátil de respiração por respiração (Metamax 3B, Cortex, Alemanha) A concentração de lactato no sangue [La<sup>-</sup>] foi medida usando o dispositivo portátil Lactate Pro 2™ (Arkray, Koji, Japão). A frequência cardíaca (FC) foi monitorizada usando um Polar Heart Rate Monitor RCX5 (Polar Electro, Kempele, Finlândia). A composição corporal foi determinada através da Balança de bio-impedância tetrapolar “Tanita BC-601” (Tanita Corp., Tokyo, Japan – frequência a 50 kHz, 100 µA ) em que se incluíram os parâmetros de massa gorda, massa isenta de gordura total.

Os Wod's foram realizados com os seguintes materiais: remoergómetro (Concept-II Plus; Modelo D; Concept II, Morrisville USA), Barra Olímpica pro-bearing XENIOS<sub>USA</sub>® (28mm) de 20kg (220mm\*28mm\*40,5cm); Discos de competição XENIOS<sub>USA</sub>® (50,4mm\*450mm [5-25kg]); caixas de madeira com 1,8mm de espessura XENIOS<sub>USA</sub>® (51\*61\*76cm).

### 3.4.4 Protocolo combinado de teste cardiorrespiratório contínuo progressivo máximo com transições no regime moderado

O protocolo do teste progressivo foi combinado com a realização prévia de uma transição no regime de intensidade moderado de 4 minutos e um patamar inicial, à mesma intensidade, também de 4 minutos, o que permitiu a modelação da cinética do  $\dot{V}O_2$  a partir de duas transições repouso – exercício.

Deste modo, este protocolo começou com dois minutos de repouso para obter a linha de base do  $\dot{V}O_2$  ( $\dot{V}O_{2BASE}$ ), após o que os participantes realizaram dois episódios de quatro minutos a oito  $km.h^{-1}$ , intercalados com 4 minutos de repouso para determinar a cinética de  $O_2$  ( $\dot{V}O_{2k}$ ) a intensidade moderada. Logo após o o segundo período de 4 minutos a 8  $km.h^{-1}$ , sem pausa, a velocidade foi aumentada em 1  $km.h^{-1}$  a cada minuto até o participante atingir o exaustão volitiva. O valor médio  $\dot{V}O_2$  mais elevado numa janela temporal de 30 s, foi considerado como o  $\dot{V}O_{2PICO}$ . A  $v\dot{V}O_{2PICO}$  foi registada como sendo a velocidade na qual ocorreu o  $\dot{V}O_{2PICO}$  (Billat, Slawinski, et al., 2000).

O limiar ventilatório 1 ( $L_{V1}$ ) foi determinado por meio de três parâmetros ventilatórios (Bhambhani & Singh, 1985): 1) primeira perda na linearidade da ventilação; 2) aumento da curva representativa do equivalente ventilatório de oxigénio ( $\dot{V}_e/\dot{V}O_2$ ), sem concomitante aumento do equivalente ventilatório de  $CO_2$ ; 3) aumento da fração expirada de oxigénio ( $\%FeO_2$ ).

O Limiar Ventilatório 2 ( $L_{V2}$ ), ou ponto de compensação respiratória, foi também determinado por meio de três parâmetros ventilatórios: 1) segunda perda na linearidade da ventilação; 2) aumento da curva representativa do equivalente ventilatório de  $CO_2$  ( $\dot{V}_e / \dot{V} CO_2$ ) em concomitância com aumento do equivalente ventilatório de oxigénio ( $\dot{V}_e/\dot{V}O_2$ ); 3) diminuição da fração expirada de  $CO_2$  ( $\%FeCO_2$ ). De realçar que tanto o  $L_{V1}$  como o  $L_{V2}$  foram determinados através de observação, por 2 pesquisadores experientes e independentes.

Relativamente à percentagem de inclinação da passadeira esta permaneceu constante (2%) durante todos os patamares para simular o esforço de corrida/caminhada em terreno plano e ao ar livre (Jones & Doust, 1996). Forneceram-se fortes incentivos verbais ao longo do teste.

### 3.4.5 Teste supramáximo de velocidade constante

O teste supramáximo de velocidade constante foi realizado a  $110\%v\dot{V}_{2PICO}$ , 24h após o teste anterior. Antes do início do teste, os atletas permaneceram em repouso com a máscara de recolha conectada ao analisador de gases durante dois minutos, de modo a obter o  $\dot{V}O_{2BASE}$ , após os quais os atletas realizaram quatro minutos de corrida a  $8\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  intercalado com quatro minutos de recuperação de modo a integrar os dados decorrentes desta transição no procedimento de modelação para a estimação da  $\dot{V}O_{2k}$  a intensidade moderada. Quando os quatro minutos de recuperação foram concluídos, o atleta apoiou as mãos no corrimão da passadeira, colocou os pés na passadeira soltando as mãos assim que se conseguisse ajustar à velocidade da passadeira. O tempo foi medido para o segundo mais próximo desde o momento em que o atleta se soltou do corrimão da passadeira até ao segundo em que se apoiou novamente para finalizar o teste. O valor mais alto de  $\dot{V}O_2$  obtido durante 30s do teste que levou o atleta à exaustão, foi considerado como o  $\dot{V}O_{2PICO}$ . O tempo de recuperação utilizado para obter o Consumo em Excesso de oxigênio Pós-Esforço/cinética de oxigênio de recuperação ( $EPOC_{RAPIDO}/\dot{V}O_{2KOFF}$ ) foi de seis minutos.

Recolha de sangue para efeitos de determinação da concentração máxima de lactato foi realizada no 1º, 3º e 7º minuto após cada teste. A inclinação da passadeira foi mantida constante, a 2%), durante todo o teste, incluindo a transição no regime moderado feita previamente ao esforço supramáximo. Forneceram-se incentivos verbais ao longo do teste.

### 3.4.6 Performance no CrossFit®

Com o objetivo de avaliar o desempenho específico na modalidade e a sua alteração com o treino, os atletas que participaram neste estudo realizaram dois CrossFit® Wods de âmbito transversal com um intervalo de uma semana entre cada um. Durante estes desempenhos, o analisador de gás foi colocado na região dorsal do atleta, através de um colete próprio para o efeito. O atleta permaneceu com o equipamento durante todo o teste/Wod e por 6 minutos após o termo da atividade. O aquecimento foi sempre realizado individualmente, seguindo os hábitos de cada atleta.

O desempenho em ambos os Wod's foi quantificado a partir da duração do tempo total necessário ( $Duração_{TOT}$ ) para completar sequência completa de exercícios.

**WOD<sub>1</sub> – “CHRISTINE”**

O primeiro Wod (Wod<sub>1</sub>) consistiu nos seguintes exercícios: 500 metros num remoergómetro; 12 repetições de Peso Morto (peso corporal do atleta); 21 saltos para a caixa com 61 cm. Os atletas completaram os exercícios em sequência para um número estabelecido de três séries/voltas.

**WOD<sub>2</sub> – “DIANE”**

O segundo Wod (Wod<sub>2</sub>) consistiu em três séries em que a primeira se realizaram 21 repetições de Peso Morto (70% de 1 Repetição Máxima [RM]) mais 21 repetições de “HSPU” (extensões de cotovelo em apoio facial invertido), na segunda 15 repetições de ambas as tarefas e 9 repetições de cada tarefa.

**3.5 Análise de dados****3.5.1 Cálculo do Custo energético**

A estimação do custo energético total das tarefas específicas de CrossFit realizadas, assim como da sua decomposição nas componentes aeróbia, anaeróbia láctica e aláctica foi realizada utilizando o procedimento descrito por Beneke et al., (2002).

A quantificação do custo aeróbio líquido ( $W_{AER}$ ) foi realizada a partir do volume de oxigénio acumulado utilizado durante a tarefa, diminuído do valor basal, relativizado à massa corporal. Para efeitos comparativos, foi feita a transformação do custo de equivalentes energéticos em L de O<sub>2</sub> para unidades de energia (J·kg<sup>-1</sup>), usando o equivalente calórico de 21,131 J·ml<sup>-1</sup> (Stegemann, 1991), considerado válido para um quociente das trocas respiratórias superior à unidade. Este valor foi o considerado para todas as restantes operações de transferência entre equivalentes de O<sub>2</sub> e unidades de energia.

A estimação da componente anaeróbia láctica ( $W_{[La]}$ ) foi realizada levando em conta o gradiente de lactatemia antes e depois do esforço a caracterizar. Foi usada a equação:

$W_{[La]} \text{ (J·kg}^{-1}\text{)} = \text{Net}_{[LAC]} \text{ (mmol·L}^{-1}\text{)} \cdot \text{equivalente de O}_2 \text{ (ml·kg}^{-1}\text{·mmol·L}^{-1}\text{)} \cdot \text{equivalente calórico (J·ml}^{-1}\text{)}$  em que  $\text{Net}_{[LAC]}$  corresponde à diferença entre a lactatemia no momento prévio ao início do exercício e o valor máximo registado nas recolhas pós-exercício, o equivalente de O<sub>2</sub> é definido a partir da equivalência 1 mmol de lactato = 3.0 ml·O<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup> (di Prampero, 1981; di

Prampero & Ferretti, 1999), onde se aceita uma distribuição do lactato por um espaço correspondente a 45% da massa corporal.

O custo anaeróbio alático ( $W_{ALA}$ , em  $J \cdot kg^{-1}$ ) foi calculado a partir da fase rápida da curva de  $\dot{V}O_2$  de recuperação ( $EPOC_{RAPIDO}$ ), definida nos seus limites após modelação biexponencial, valor este depois relativizado para a massa corporal. Neste modelo, a primeira exponencial descreve a componente rápida da cinética de recuperação do  $\dot{V}O_2$  (Knuttgen, 1970). Assume-se que a ressíntese da fosfocreatina utilizada no exercício seja responsável pela quase totalidade do oxigénio consumido no tecido muscular nestes primeiros segundos de recuperação (Roberts & Morton, 1978). Deste modo, através da equação:

Equação 3

$$VO_{2(t)} = VO_{2BASE} + A_p(1 - e^{-\left(\frac{t}{t_p}\right)}) + A_{CL}(1 - e^{-\left(\frac{t}{t_{CL}}\right)})$$

em que, (t) é o tempo (s),  $VO_{2BASE}$  é o consumo de oxigénio no início do exercício ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ),  $A_p$  e  $A_{CL}$  são as amplitudes da componente rápida e lenta,  $t_p$  e  $t_{CL}$  são os tempos de início da componente rápida e lenta e  $t_p$  e  $t_{CL}$  são as constantes temporais da componente rápida e lenta (s), respetivamente.

Calculou-se a área representativa do custo alático em equivalentes de  $O_2$ , de acordo com:

Equação 4

$$W_{ALA} = A_p * t_p$$

em que,  $W_{ALA}$  é o sistema anaeróbio alático;  $A_p$  e  $t_p$  são a amplitude e constante de tempo, correspondente à componente rápida.

### 3.5.2 Determinação da capacidade anaeróbia (CAN)

Apesar do MAOD ser atualmente reconhecido como o método mais adotado para estimativa da CAN, o grande número de avaliações para a determinar limita sua introdução na rotina do treino. Em alternativa, foi validado por Bertuzzi et al., (2010) um procedimento onde se estima o custo metabólico anaeróbio láctico e alático, utilizando os processos de cálculo referidos em 3.5.1, sendo a soma dos dois o correspondente a um custo metabólico anaeróbio total que, quando avaliado num exercício supramáximo até à exaustão, será um bom indicador da CAN.

Assim, no presente estudo, a CAN foi avaliada através da soma das componente alática e láctica ( $W_{ALA} + W_{[La]}$ ) num teste supramáximo de velocidade constante, igualmente já descrito.

### 3.5.3 Modelação da cinética do $\dot{V}O_2$ ( $\dot{V}O_{2k}$ )

De modo a modelar a curva do  $\dot{V}O_2$  ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ) para estimação da respetiva cinética, os dados foram recolhidos no modo “respiração a respiração”. Em ficheiro Excel com uma macro construída para o efeito, foram retirados os dados aberrantes ( $\pm 2$  DP) e criada uma série de valores segundo a segundo, por interpolação.

Por observação direta da morfologia da curva, foram retirados os primeiros segundos de valores após o início do exercício, correspondendo à fase cardiodinâmica (Poole & Jones, 2012), constituindo o designado atraso temporal (“*time delay*”), que oscilou, conforme os casos, entre os 10 e os 20 segundos. A partir daí os valores do  $\dot{V}O_2$  foram sujeitos a uma modelação monoexponencial, usando uma macro no programa SPSS concebida para o efeito (Reis et al., 2012), através de um procedimento iterativo que minimiza o erro quadrado médio entre os valores de  $\dot{V}O_2$  modelados e os valores  $\dot{V}O_2$  medidos, de acordo com a seguinte equação:

Equação 5

$$\dot{V}O_{2(t)} = \dot{V}O_{2BASE} + A_p(1 - e^{-\left(t - \frac{td_p}{\tau_p}\right)})$$

Onde  $\dot{V}O_2(t)$  representa o  $\dot{V}O_2$  relativo a um dado instante,  $\dot{V}O_{2BASE}$  representa o  $\dot{V}O_2$  em repouso;  $td_p$ ,  $\tau_p$ ,  $A_p$  representam o atraso temporal, a constante de tempo e a amplitude do componente rápido

### 3.6 Lactatemia [ $\text{La}^-$ ]

Os valores de lactatemia foram obtidos no início do teste Supramáximo e de cada Wod de modo a obter o valor de [ $\text{La}^-$ ] de repouso. No final de cada uma destas tarefas as recolhas, por micro-punção no lóbulo da orelha, foram cumpridas aos 1º, 3º, 5º e 7º minutos de recuperação, ou até se ter atingido a lactatemia máxima [ $\text{La}^-_{\text{PICO}}$ ]. Antes de cada colheita a área foi desinfetada e seca, com a utilização de lancetas próprias para punccionar. De modo a evitar erros de análise pela variação da lactatemia com o local da recolha, teve-se em conta, a utilização do mesmo compartimento vascular (Gomes-Pereira, 1992). A operação de recolha das micro-amostras sanguíneas foi realizada de acordo com as recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS) para o manuseamento de amostras de sangue, com utilização de luvas cirúrgicas.

### 3.7 Percepção Subjetiva de esforço (PSE)

A percepção subjetiva de esforço (PSE) possui aplicabilidade fidedigna referente à medida das intensidades em diferentes situações de estímulos, ou seja, ela responde de forma diretamente

proporcional ao aumento da intensidade, fornecendo informações relevantes quanto ao stress gerado, assim sendo, em contexto desportivo, ela representa uma ferramenta útil, podendo substituir marcadores fisiológicos de monitorização de intensidade do exercício (Pinheiro, Viana, & Pires, 2014).

Foram tidos alguns cuidados e dadas algumas instruções aos atletas, respeitando os princípios enunciados por Noble & Robertson, (1996), para a utilização destas escalas, ou seja, “estimar” a dificuldade global induzida pela realização da tarefa e não focada num único segmento corporal. Foi pedido ao atleta que indicasse o número exato que correspondia à sua descrição.

### **3.8 Frequência cardíaca (FC)**

Durante os testes e Wod's, os atletas usaram um monitor de frequência cardíaca Polar® RCX5 (Polar, Kempele, Finlândia) com o respetivo sensor H7, sendo os valores da FC transferidos e registados para computador com a utilização do *software* “Polar PersonalTrainer”.

A frequência cardíaca máxima ( $FC_{MAX}$ ) estipulada foi determinada como o valor máximo alcançado num período de 30s durante o esforço realizado.

### **3.9 Antropometria e composição corporal**

Todas as medições antropométricas foram efetuadas com o atleta na posição anatómica: na posição vertical, com o olhar dirigido para a frente e com os membros superiores no prolongamento do tronco com as palmas das mão voltadas para fora.

Para a medição da massa corporal dos sujeito, os atletas apresentavam-se descalços e com a menor roupa possível (calções e t-shirt). A leitura foi realizada com os sujeitos totalmente imóveis sobre a balança com o olhar dirigido para a frente. Os valores foram registados em quilogramas, com aproximação às centenas de gramas.

### **3.10 $\dot{V}O_2k$ no regime de intensidade moderado**

Os parâmetros da cinética do consumo de oxigénio em intensidade moderada foram calculados a partir de três transições repouso-exercício.

Numa primeira fase foram realizadas duas transições de quatro minutos de corrida na passadeira, a 8km/hora, com um intervalo de quatro minutos de repouso passivo entre cada

uma, colocados no início do protocolo do teste progressivo máximo anteriormente descrito. Numa segunda fase, 24-72 horas após a sessão onde se executou o dito teste progressivo, os sujeitos realizaram outra transição de carga constante, com características idênticas às anteriores, deste vez integrada no protocolo do exercício supramáximo de carga constante a 110%VAM, antecedendo-o e sendo seguido de uma pausa passiva de 4 minutos.

Após transformação dos dados em valores segundo a segundo, conforme referido anteriormente, procedeu-se à sua combinação numa série única de valores, utilizando o valor médio das três séries, igualmente, segundo a segundo. A modelação foi monoexponencial.

### **3.11 $\dot{V}O_2k$ em intensidade Supramáxima**

Os parâmetros da cinética do consumo de oxigénio foram determinados no teste de carga constante a 110%VAM. Os procedimento de preparação e tratamento dos dados foram os já referidos, sendo que, neste caso, se utilizou apenas uma transição, correspondendo a cada exercício supramáximo. A modelação foi monoexponencial.

### **3.12 Organização do Protocolo de Treino (Wod's)**

O processo de treino (intervenção longitudinal – estudo II) decorreu durante 6 semanas, com 4/5 sessões semanais (com 1 a 2 dias de intervalo entre sessões), realizadas numa Box de CrossFit®. Todas as sessões de treino, num total de 24 a 30, foram conduzidas e supervisionadas por treinadores/professores com experiência em TF e na metodologia de CrossFit® (Tabela 7).

### **3.13 Carga Interna de Treino (estudo II)**

A quantificação e controlo das cargas de treino é elementar para avaliar as respostas dos atletas e determinar a relação dose-resposta entre a aplicação de estímulos de treino organizados ao longo de várias semanas e o efeito detetável em alterações no desempenho. No presente estudo, a quantificação da carga interna de treino realizou-se de acordo com o método dos Impulsos de treino (TRIMPs) proposto por Banister et al. (1991) e através do processo da PSE-sessão (Coutts, Reaburn, Murphy, Pine, & Impellizzeri, 2003; Coutts, Wallace, & Slattery, 2003).

Os TRIMPs de cada sessão de treino são calculados, exercício a exercício, a partir da duração,  $FC_{MAX}$ , FC de repouso ( $FC_{REP}$ ) e FC média ( $FC_{MED}$ ) durante o treino, utilizando um fator de

ponderação que enfatiza a não linearidade entre intensidade do exercício e impacte metabólico deste último (Y). A equação para a sua estimação é representada da seguinte forma:

Equação 6

$$TRIMP = \text{duração do exercício (min)} \times \text{relação } \Delta FC \times Y$$

em que

$$\Delta FC = \frac{FC \text{ média do exercício} - FC \text{ repouso}}{FC \text{ máxima} - FC \text{ repouso}}$$

e

$$y (\text{sexo masculino}) = 0,64e^{1,92x}$$

sendo  $x = \Delta FC$

O cálculo da CIT através da PSE-sessão (Foster et al., 1995), foi realizado calculando unidades arbitrárias de carga derivadas da multiplicação do volume de treino (expresso em minutos) com o valor identificado da escala de PSE CR-10, modificada por Foster et al., (1995) e denotando a dificuldade atribuída pelo atleta à sessão de treino que acabou de realizar. A solicitação da indicação da resposta à apresentação da escala era feita 30 minutos após o termo de cada treino«.

Tabela 7 – Organização do Protocolo de Treino e respetiva periodização durante 6 semanas de CrossFit®.

SEMANA 1	2ªfeira	3ªfeira	4ªfeira	5ªfeira	6ªfeira
<b>Warm-up</b>	7min	Dinâmico	2min em cada uma das posições	Coach	6'
	20m Bear Crawl		couch stretch (perna esquerda)		
	10 shoulder to Overhead		couch stretch (perna direita)		10 Air squat
	20m Crab Walk		Pigeon Stretch (perna esquerda)		5 Worm Walk
	10 shoulder to Overhead		Pigeon Stretch (perna direita)		10 Air squat
	20m Worm Walk				20 Sit-ups
<b>Strength / Skill</b>	EMOM 10min	Kipping Drills	Dia Pesado		
	Push Press (3-5 reps)	Toes to Bar (T2B)	Front squat @ 1RM	HSW (Hand Stand Walk) + EMOM Wall Ball	Cluster (clean + thruster)
	No mesmo minuto - 8-12 pushups				
<b>WOD</b>	4 Rondas:	Para Tempo	3 rondas		15-12-09 reps
	30 Double Unders (DU's)	10 Toes to Bar	10 front squat @ 60/40kg	Corrida 400metros	Cluster @ 50/30kg
	10 Hang Squat Clean @ 60/40kg	30 Double Unders	24 Kettlebell Swing @ 24/16kg	50 pushups	Chest to Bar Pull Ups
	5 Muscle Ups (MU's)	20 Dips	14 Burpees Over the Bar (por cima da Barra)	Corrida 400metros	
		30 Double Unders		50 sit-ups	
		30 Box Jumps		Corrida 400metros	
		30 Double Unders		50 Air squats	
		20 Dips			
		30 Double Unders			
	10 Toes to Bar				

SEMANA 2	2ªfeira	3ªfeira	4ªfeira	5ªfeira	6ªfeira
<b>Warm-up</b>	Mobilidade por Agachamento	7min		3 rondas	Corrida
	10metros walking lunges	10 air squat	aquecimento dinâmico	10 thruster com disco	
	10metros walking squat	10 (G2O) ground to Overhead com disco		20 sit-ups	
	10metros walking lunges overhead	10 Power lunges		10 ring rows	
	10metros walking Overhead squat	10 pushups		20metros bear crawl	
	10metros walking Overhead lunges com disco				
	10metros walking Overhead squat com disco				
<b>Strength / Skill</b>	Back Squat	Clean & Jerk	3 rondas	Overhead Squat	
	5*10 reps	EMOM 10min	10 Toes to Bar (T2B)	10 RM	Ring Muscle Ups + Pull Ups
		5min - 6 reps @ 40/30kg	10 HSO Shoulder Taps		
		5min - 4 reps @ 50/40kg	10 Pistols		
<b>WOD</b>	4 rondas	AMRAP 15min	Figth Gone Bad	emom - Dead by..	OPEN - 14.4
	20 Kettlebell Swing Unbroken @ 24/16kg	40 Double Unders	3 séries de 1 minuto cada exercício	1º min - 1 rep / 2ª min -2 rps/ 3min - 3reps....	60 calorias remo
	15 Pull ups	10 Deadlift @ 60/45kg	Wall-Ball, bola 9 kg a 3 metros (reps)	Thrusters + Burpee over the Bar	50 Toes to Bar
	Corrida 400metros	40 Double Unders	Sumo deadlift high-pull, 34kg (Reps)	(1+1/ 2+2/ 3+3...)	40 Wall Ball @9/6kg
		5 Clean & Jerk @ 60/45kg	Box Jump, 50cm (Reps)		30 Clean's @61kg
			Push-Press, 34kg (Reps)		20 Muscle Ups
			Remoergómetro (Calorias)		
		1minuto descanso			

SEMANA 3	2ªfeira	3ªfeira	4ªfeira	5ªfeira	6ªfeira
<b>Warm-up</b>	3 rondas	3 rondas	Corrida	7min	7min
	1min remo	10 good-mornings	1km	10 Ground to Overhead com disco	20metros Bear Walk
	1min GHD ABS	10 up & down		15 kettlebell Swing	10 Shoulder to Overhead
	1min Bear Walk	10 Broad Jumps		20 abs	20metros Crab Walk
	1min Prisoner squat			15 kettlebell Swing	10 Shoulder to Overhead
	1min pushups			10 Ground to Overhead com disco	20metros Worm Walk
	1min rest				
<b>Strength / Skill</b>	EMOM 15'	Deadlift - (Heavy day)	Pré-Wod	????	(Dia Pesado)
	1º min - 10 kipping's ring dips	5*10reps Unbroken			Strict Press Bar
	2º min - 2 Rope climb	2' rest			5*15reps
	3º min - Handstand Hold (nose to wall)				30s rest
<b>WOD</b>	Open 12.1	21-15-09 reps para tempo	Jacinto Storm	5 AMRAP (Rest 3min)	5 rondas
	7' máximo de Burpees	Dinamic Lunges cada perna @40/25kg	Corrida 570 metros	A - 400metros corrida	12 Shoulder to Overhead @60/40kg
		Box Jumps	71 Squats	3 Ring Muscle-Ups	50 Double Unders
			71 Pushups	Rest time - max Thrusters @60/40kg	rest time : max Burpees
			71 Pull-up s or Ring Rows	B - 400metros corrida	
			71 Wall Ball Shots @ 9/6kg	3 Bar Muscle-Ups	
			71 Kettlebell Swings @24/16kg	Rest time - max Handstand Pushups	
			71 Deadlifts @ 43/29kg	C - 400metros corrida	
			Corrida 570 metros	3 Ring Muscle-Ups	
				Rest time - max Clean & Jerk @60/40kg	
			D - 400metros corrida		
			3 Bar Muscle-Ups		
			Rest time - max Ring dips		

SEMANA 4	2ªfeira	3ªfeira	4ªfeira	5ªfeira	6ªfeira
<b>Warm-up</b>	Tabata	dinâmico	Jami 27 squats	Coach	2 rondas
	MedBall Clean		2 rondas		1min remo
	Double Under mins		10 thrusters Bumper @5/10kg		1min ring Row
			15 Air squat		1min MedBall clean
<b>Strength / Skill</b>			20 V-sit		1min GHD Abs
					1min Pushup
	EMOM 12min		Heavy Day	Power Snatch	EMOM 15min
	3 posições	1min Wall Handstand Hold	Front Squat		5min Strict Pullups
	Squat Clean	1min Hallow Rocks Position	5* 6-4reps com pausa 2minmin		5min Chest to Bar
		1min Wall Climb	rest = 30seg		5min Kipping Pullups
		1min Hallow Rocks Dinamic	5 *10ring Dips		
<b>WOD</b>		1min Handstand Wall / Handstand Pushup técnica	rest = 2min		
	Dirty 30	EMOM 15min	For Time	Open 11.1	Squat Clean Biathlon
	30 Box Jumps @60/50cm	5 Power Clean @ 60/40kg	10 thrusters @40/25kg	AMRAP 10min	400metros corrida
	30 Jumping Pull-Ups	10 HandStand Pushup	10 Box Jumps	30 Double Unders	15 squat clean @ 61/43kg
	30 Kettlebell Swings @15/11kg	15 Wall Ball @ 9/6kg	10 thrusters @50/30kg	15 Power Snatch @ 34/24kg	400metros corrida
	30 Lunges		10 Box Jumps		12 squat clean @ 61/43kg
	30 Knees-to-Elbows		10 thrusters @60/40kg		400metros corrida
	30 Push Press @20/15kg		10 Box Jumps		9 squat clean @ 61/43kg
	30 Back Extensions				400metros corrida
	30 Wall Ball @ 9/6kg				6 squat clean @ 61/43kg
	30 Burpees				
30 Double-Unders					

SEMANA 5	2ªfeira	3ªfeira	4ªfeira	5ªfeira	6ªfeira
<b>Warm-up</b>	2 rondas	7min	3 rondas	dinâmico	7min
	20 metros Overhead walking Lunge	10 MedBall Clean's	20metros Bear Walk		10 air squat
	20 Ground to Overhead	10 Kettlebell High Pull	20 Kettbell swing @ 24/16kg		5 Worm Walk
	20 Half Burpee	10 Goblet Squat			10 air squat
<b>Strength / Skill</b>	Heavy day	EMOM 10min	1min work/ 30s rest	Burning legs	20 V-Sit
	Bench Press	3 posições	L-Sit		Toes to Bar
	5* 5 reps	Power Clean	Swing Pull-Up		
	rest - 90s sets		Handstand Hold		
	Deficit Pushups		Rope climb		
	5* 10 reps		ring dips		
	rest - 30s sets		Kipping pull-up		
			HandStand Pushup		
<b>WOD</b>		Open 11.5		AMRAP	
	100 Double Unders	5 Power Clean's @ 65/47kg	400metros corrida	2 sets : 2min work / 2min rest	3min remo
	25 Shoulder to Overhead @40/25kg	10 Toes to Bar	20 HandStand Pushup	6 Thrusters @ 50/35kg	50 Snatch haltere @ 25/15kg
	100 Double Unders	15 Wall Ball @ 9/6kg	1 Rope climb	6 Box Jumps Over	4min Double Unders
	25 Shoulder to Overhead @40/25kg		400metros corrida	-----	50 Snatch haltere @ 25/15kg
	100 Double Unders		20 pull-ups	6 Overhead Walking Lunge @ 50/35kg	5min corrida
	25 Shoulder to Overhead @40/25kg		1 Rope climb	6 Burpees Over the Bar	50 Snatch haltere @ 25/15kg
			400metros corrida		
			20 ring dips		
			1 Rope climb		

SEMANA 6	2ªfeira	3ªfeira	4ªfeira	5ªfeira	6ªfeira
<b>Warm-up</b>	Tabata	Mobilidade dinâmica	Coach	Turkish Get Up	Coach
	Double Unders	Agachamento			
	Mobilidade Ombro				
<b>Strength / Skill</b>	Clean & Jerk	Heavy day	EMOM 10min	Kettlebell Skill	Heavy Day
	Power Clean & Jerk	Back Squat	Handstand Pushup		Push Press
		5* 5reps - 80%RM	10reps		10reps - 65%RM
					10reps - 70%RM
					8reps - 75%RM
				8reps - 80%RM	
				6reps - 85%RM	
<b>WOD</b>		5 rondas	11.2	4 rondas	Jackie
	800 metros corrida	50 Double Unders	AMRAP 15min	1-2 Rope climb	1000metros remo
	4 rondas:	10 Toes to Bar	9 Deadlifts @ 70/45kg	20 kettlebell Snatch @ 24/16kg	50 thrusters @ 20kg
	10 Jerks @ 40/25kg	15 Front squats @ 40/30kg	12 pushups	50 Double Unders	30 pullups
	10 Kettlebell Swing @ 24/16kg		15 Box Jumps @ 60/50cm		
	10 Pistols				
	10 Ring dips				

### 3.14 Análise Estatística

O tratamento estatístico foi realizado com o auxílio do programa informático SPSS (IBM SPSS Statistics for Macintosh, Version 25.0). Os dados são apresentados segundo o formato média  $\pm$  desvio padrão. O pressuposto de normalidade dos dados foi verificado através do teste de Shapiro-Wilk. Quando este se confirmou, as diferenças entre médias respeitantes aos vários momentos de avaliação foram analisadas usando o teste ANOVA para medidas repetidas. Em caso de significância nas medidas repetidas foi aplicado um teste *post-hoc* com o ajustamento de Bonferroni. Foi controlada a esfericidade (teste de Mauchly) e usada a correção de Huynh-Feldt sempre que necessário. Quando não se verificaram as condições requeridas, foi usado o teste não-paramétrico de Wilcoxon (teste dos postos sinalizados). Adicionalmente, foi calculado o  $d$  de Cohen para estimar o efeito dimensional entre as condições emparelhadas que revelaram diferenças. A magnitude da diferença de médias foi considerada trivial:  $< 0,2$ ; pequena:  $0,2 - 0,5$ ; média:  $> 0,5 - 0,8$ ; elevada  $> 0,8 - 1,3$ ; e muito elevada:  $> 1,3$ . O grau de associação entre variáveis foi determinado pelo coeficiente de correlação simples de Pearson ou pela técnica não paramétrica  $\rho$  de Spearman, nos casos de ausência de normalidade de uma ou de ambas as variáveis, ou quando o número de casos foi inferior a 20. Nos casos em que se considerou relevante, procedeu-se a uma análise de regressão múltipla *step-wise*. Para efeitos de interpretação e análise dos dados, o grau de significância adotado foi de  $p = \leq 0,05$ .



#### **IV . CAPÍTULO - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

*Este capítulo apresenta e discute os resultados alcançados, sendo organizado por estudos, exibindo, por isso, dois subcapítulos*



## **4.1 Contribuição energética e parâmetros determinantes metabólicos para o desempenho da performance no CrossFit® (estudo I)**

### **4.1.1 Introdução**

O CrossFit® é descrito como um método de treino baseado em “movimentos funcionais, constantemente variados realizados a alta intensidade” (Bellar et al., 2015; Glassman, 2012). O CrossFit® consiste na combinação de diversos exercícios, onde se inclui a ginástica (exercícios calistênicos); halterofilismo (exercícios com carga externa de potência como o agachamento, peso morto, arremesso) e exercícios metabólicos (corrida, remo, natação, saltar à corda, entre outros ...).

Segundo os mesmos autores, condição física (Fitness), é definido como o “aumento da capacidade de trabalho ao longo do tempo amplo em diversos domínios”, ou seja, a capacidade adaptativa que o indivíduo tem para realizar qualquer atividade física (cardio, força, potência, etc.) para qualquer quantidade de tempo (curta, média ou longa duração). Esta definição abrange todos os tipos de aptidão: a resistência cardiovascular e respiratória, resistência, força, flexibilidade, potência, velocidade, coordenação, agilidade, equilíbrio e precisão. O treino é organizado em treinos diários denominados de “Wod” (workout of the day, ou em português “exercícios do dia”). Estes exercícios são muitas vezes combinados em alta intensidade com uma rápida execução, com pouco ou nenhum tempo de recuperação (Bergeron et al., 2011; Glassman, 2003; Goins et al., 2014; Heinrich et al., 2014). Alguns exercícios são realizados para um melhor tempo possível e outros são realizados nas “máximo de repetições num determinado tempo”.

Vários estudos foram realizados segundo a metodologia do CrossFit®. Estes estudos basearam-se basicamente em dois pontos: 1) avaliação dos benefícios do CrossFit® (aspectos de vida e saúde [n=4]; comportamento psicossocial [n=11]; composição corporal [n=4] e parâmetros psicofisiológicos [n=12] e 2) aqueles que mencionavam as incidências e taxas de lesão na modalidade (risco de lesão músculo-esquelética [n=7])(Claudino et al., 2018). Todos os estudos foram realizados com adultos saudáveis com vários níveis de experiência da modalidade.

A soma de todos os estudos mostrou que o CrossFit® é comparável a outros tipos de treino de intensidade elevada no que à taxa de lesão e efeitos físicos dizem respeito (Meyer et al., 2017). Por outro lado, verificaram-se os seguintes benefícios da prática do CrossFit®: a) melhor

desempenho em testes de avaliação física nas forças armadas; b) aumento da capacidade de trabalho; c) aumento da potência; d) aumento da capacidade anaeróbia e aeróbia; e) resistência muscular e f) melhoria da composição corporal (Heinrich et al., 2014; Jeffery, 2012; Meyer, Morrison, & Zuniga, 2017; Patel, 2012).

Para realizar este estudo, foram verificados os seguintes marcadores metabólicos ( $FC_{MAX}$ ,  $FC_{PICO}$ ,  $\%FC_{MAX}$ ,  $\%FC_{PICO}$ ,  $\dot{V}O_2$ ,  $\%\dot{V}O_{2PICO}$ , Kcal,  $J.kg^{-1}.min^{-1}$ ), contudo até à data, nenhum estudo analisou as diferentes contribuições energéticas em Wod's do CrossFit®. Aceita-se que uma melhor compreensão da contribuição dos diferentes sistemas energéticos durante os treinos, possibilitará uma melhor periodização e organização dos treinos. A fim de compreender a performance ao nível do CrossFit®, é necessário determinar a relação dos sistemas anaeróbio e aeróbio. Tanto quanto sabemos este é o primeiro estudo a investigar a contribuição energética durante vários exercícios idênticos à competição.

Desta forma, são o objetivos deste estudo caracterizar a resposta fisiológica a tarefas típicas de CrossFit®. Mais especificamente: 1) Investigar a contribuição dos sistemas energéticos e o custo energético em dois treinos representativos da modalidade; 2) Descrever as componentes da cinética do  $\dot{V}O_2$  em atletas de CrossFit®, verificando a sua relação com o desempenho competitivo e outros parâmetros do desempenho aeróbio e anaeróbio.

#### 4.1.2 Resultados

As respostas fisiológicas dos testes progressivo e supramáximo encontram-se descritos na tabela 8 e as respostas durante os desafios (Wod's) encontram-se na tabela 9.

Tabela 8 – Resposta fisiológica durante os testes progressivo e supramáximo.

	Progressivo	Supramáximo
$FC_{MAX}$ (bat.min <sup>-1</sup> )	185,25 ± 5,28	179 ± 10,00
$\% FC_{MAX}$	97,21 ± 5,1%	94 ± 5,20%
$\dot{V}O_{2PICO}$ (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	49,33 ± 4,22	50,02 ± 4,33
$\dot{V}O_{2PICO}$ (L.min <sup>-1</sup> )	3,71 ± 0,37	3,75 ± 0,38
$\dot{V}O_{2MED}$ (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	38,61 ± 2,34	40,02 ± 3,54
$\dot{V}O_{2MED}$ (L.min <sup>-1</sup> )	2,89 ± 2,45	3,00 ± 0,42
$[La^-]_{PICO}$ (mmol.L <sup>-1</sup> )	na	12,24 ± 3,17
$\Delta[La^-]$ (mmol.L <sup>-1</sup> )	na	10,92 ± 3,23
$L_{V1}$ (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	32,66 ± 3,57	na

<b>LV<sub>2</sub> (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	42,50 ± 3,42	na
<b>VAM (km.h)</b>	15,75 ± 1,76	na
<b>110%VAM (km.h)</b>	na	17,20 ± 1,86

Onde se lê: ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ) consumo máximo de oxigênio; (FC) frequência cardíaca; (bat.min<sup>-1</sup>) batimentos por minuto; ([La]pico) valor máximo lactato sanguíneo; ( $\Delta[La]$ ) diferença entre o valor de lactato pico e o lactato de repouso; (VAM) velocidade máxima aeróbia; (km.h) quilômetros por hora; (LV<sub>1</sub> e LV<sub>2</sub>) primeiros e segundos limiares ventilatórios; (MAX) máximo; (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) mililitros por quilograma por minuto; (mmol.L<sup>-1</sup>) milimole por minuto; (na) não avaliado.

Como se poderá observar na tabela 8 durante o teste progressivo realizado na passadeira os atletas obtiveram um valor relativo de  $\dot{V}O_{2PICO}$  49,33 ± 4,22 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> e valor absoluto de 3,71 ± ,37 L.min<sup>-1</sup>, correspondendo a uma FC<sub>MAX</sub> 185 ± 5,28 bat.min<sup>-1</sup>. Já no teste supramáximo, foi obtido um valor superior de  $\dot{V}O_{2PICO}$  relativo e absoluto correspondendo a uma FC<sub>MAX</sub> 179 ± 10,0 bat.min<sup>-1</sup>.

Tabela 9 - Resposta fisiológica durante os Wod's de CrossFit®.

	<b>Wod<sub>1</sub></b>	<b>Wod<sub>2</sub></b>
<b>FC<sub>PICO</sub> (bat.min<sup>-1</sup>)</b>	179,59 ± 9,47	171,33 ± 7,94*
<b>FC<sub>MED</sub> (bat.min<sup>-1</sup>)</b>	160,70 ± 14,53	153,76 ± 9,91*
<b>% FC<sub>PICO</sub></b>	93,56 ± 4,60	89,21 ± 3,53
<b>% FC<sub>MED</sub> (bat.min<sup>-1</sup>)</b>	83,63 ± 7,18	80,04 ± 5,01
<b><math>\dot{V}O_{2PICO}</math> (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	46,27 ± 4,27	34,17 ± 3,45*
<b><math>\dot{V}O_{2PICO}</math> (L.min<sup>-1</sup>)</b>	3,47 ± 0,34	2,57 ± 0,34*
<b><math>\dot{V}O_{2MED}</math> (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	39,13 ± 4,72	28,38 ± 4,09*
<b><math>\dot{V}O_{2MED}</math> (L.min<sup>-1</sup>)</b>	2,93 ± 0,36	2,13 ± 0,33
<b>[La]<sub>PICO</sub> (mmol.L<sup>-1</sup>)</b>	15,67 ± 2,24	16,79 ± 3,12
<b><math>\Delta[La]</math> (mmol.L<sup>-1</sup>)</b>	14,35 ± 2,23	14,71 ± 2,37

Onde se lê: ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ) consumo máximo de oxigênio; (FC) frequência cardíaca; (bat.min<sup>-1</sup>) batimentos por minuto; ([La]<sub>PICO</sub>) valor máximo lactato sanguíneo; ( $\Delta[La]$ ) diferença entre o valor de lactato pico e o lactato de repouso; (MAX) máximo; (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) mililitros por quilograma por minuto; (mmol.L<sup>-1</sup>) milimole por minuto; (na) não avaliado, \*Diferenças significativas entre Wod<sub>1</sub> e Wod<sub>2</sub> (p=0,05);

No que diz respeito aos Wod's (Tabela 9), foram encontradas diferenças com uma magnitude elevada a muito elevada nas variáveis FC<sub>MAX</sub>, FC<sub>MED</sub>,  $\dot{V}O_{2PICO}$ ,  $\dot{V}O_{2MED}$  e na duração total do desafio (Duração<sub>TOT</sub>) sendo os valores no Wod<sub>1</sub> superiores aos do Wod<sub>2</sub> (p=0,000). Já o [La] não mostrou diferenças significativas (p=0,63).

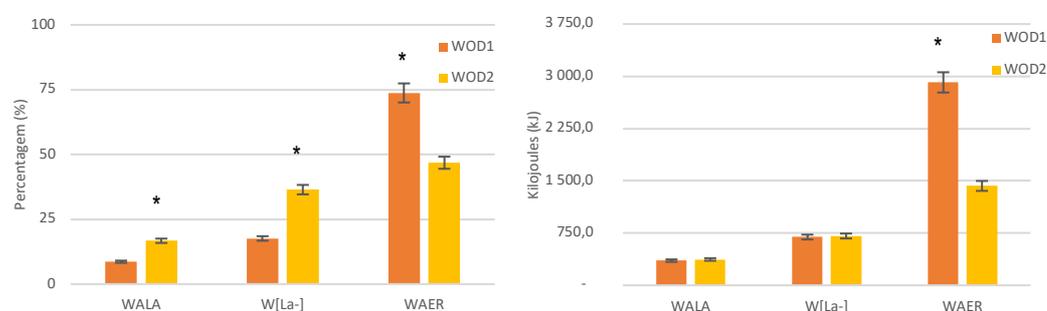
Tabela 10 – Respostas Metabólicas dos Wod's de CrossFit®

	Wod <sub>1</sub>	Wod <sub>2</sub>
<b>Duração<sub>TOT</sub> (s)</b>	709,48 ± 103,30	261,83 ± 103,83*
<b>W<sub>AER</sub> (J.kg<sup>-1</sup>)</b>	2912,78 ± 347,11	1009,34 ± 437,18*
<b>W<sub>[La-]</sub> (J.kg<sup>-1</sup>)</b>	692,78 ± 152,10	708,01 ± 161,09
<b>W<sub>ALA</sub> (J.kg<sup>-1</sup>)</b>	354,31 ± 219,20	371,04 ± 239,63
<b>% W<sub>AER</sub></b>	73,75 ± 3,45	46,83 ± 13,53*
<b>% W<sub>[La-]</sub></b>	17,61 ± 3,90	36,45 ± 14,28*
<b>% W<sub>ALA</sub></b>	8,63 ± 4,93	16,72 ± 8,22*
<b>Calorias (kcal.min<sup>-1</sup>)</b>	14,67 ± 1,78	10,65 ± 1,62
<b>kJoules (J.kg<sup>-1</sup>)</b>	61,42 ± 7,45	44,60 ± 6,83*
<b>kJoules total (kJ.total)</b>	740,19 ± 110,53	198,55 ± 93,45*
<b>PSE (6-20)</b>	18,58 ± 0,79	18,50 ± 0,79

Onde se lê: (W<sub>AER</sub>) energia aeróbia; (W<sub>ALA</sub>) energia anaeróbia alática; (W<sub>[La-]</sub>) energia anaeróbia láctica; (kJ) Kilojoules; (kcal) quilocalorias; (min) minutos; (s) segundos; (PSE) escala subjetiva de esforço; (Wod) treino do dia; (1, 2) primeiro e segundo; (Duração<sub>TOT</sub>) duração total; (% percentagem; \*Diferenças significativas entre Wod<sub>1</sub> e Wod<sub>2</sub> (p=0,05);

Os resultados das contribuições energéticas relativa (%) e absoluta (J.kg<sup>-1</sup>) (Tabela10) revelaram que o sistema aeróbio é predominante nos dois Wod's (73,7% [Wod<sub>1</sub>]; 46,8% [Wod<sub>2</sub>]). Em relação ao custo absoluto de energia (J.kg<sup>-1</sup>) encontramos diferenças significativas sobre a energia aeróbia (W<sub>AER</sub>) (2912,7J.kg<sup>-1</sup> [Wod<sub>1</sub>]; 1426,8J.kg<sup>-1</sup> [Wod<sub>2</sub>]) (p=0,000). Quanto ao custo relativo da energia (%) foram encontradas diferenças significativas entre os dois Wod's nos três sistemas de energia (W<sub>AER</sub>; W<sub>[La-]</sub>; W<sub>ALA</sub>) (p= 0,000) com valores (73,7%; 17,6% e 8,6%) no Wod<sub>1</sub> e (46,8%; 36,4% e 16,7%) no Wod<sub>2</sub> respetivamente. A magnitude das diferenças apresentou-se de elevada a muito elevada em todas as variáveis.

Gráfico 2 - Sistemas energéticos Wod's de CrossFit®



CINÉTICA DE OXIGÉNIO ( $\dot{V}O_{2K}$ )

Os parâmetros da cinética de oxigénio ( $\dot{V}O_{2K}$ ) obtidos no testes de intensidade moderada e supramáxima encontram-se descritos na tabela 11.

Tabela 11 - Valores médios e desvio padrão dos parâmetros da cinética do  $\dot{V}O_2$  no teste na passadeira a intensidade moderada e supramáxima a 110% da VAM.

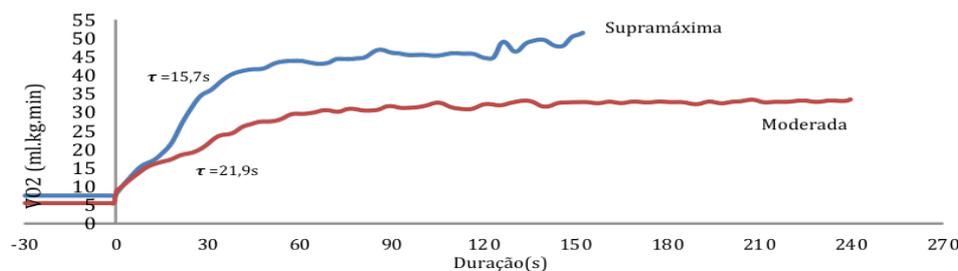
	Moderado	Supramáxima
$A_p$ (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	25,65 ± 2,00	40,46 ± 4,30*
$td_p$ (s)	8,75 ± 4,87	8,41 ± 5,03
$\tau_p$ (s)	21,9 ± 4,88	15,78 ± 5,00*
$\dot{V}O_{2PICO}$ (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	32,71 ± 1,88	47,52 ± 3,99*
Duração <sub>TOT</sub> (s)	240 ± 0	122,25 ± 29,75*
R	,93 ± 0,02	,95 ± 0,03

Onde se lê: ( $A_p$ ) amplitude; ( $td_p$ ) tempo de atraso; ( $\tau$ ) constante temporal - o tempo necessário para alcançar 63% do plateau desta fase ( $\tau_p$ ); ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ) consumo máximo de Oxigénio; (Duração<sub>TOT</sub>) Duração total; (R) coeficiente de determinação; segundos (s); (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) mililitros de consume de oxigénio por quilograma por minuto; \* diferença estatística ≤0,05

Podemos verificar uma maior  $A_p$  em intensidades supramáximas quando comparação com intensidades moderadas ( $p=0,000$ ) e um  $\tau$  mais rápido na intensidade supramáxima quando comparada com moderada (15,78 ± 5,00s vs. 21,9 ± 4,88s) ( $p=0,023$ ). A tendência visa que quanto maior for a intensidade, maior é a  $A_p$ , o  $\tau$  é mais rápido e o  $\dot{V}O_2$  atingido maior. A

No gráfico 3 são apresentadas duas curvas ilustrativas da  $\dot{V}O_{2K}$  de um atleta de CrossFit®, a intensidade moderada (linha vermelha) e a uma intensidade supramáxima (linha azul), em que o  $\dot{V}O_2$  sobe inevitavelmente até o  $\dot{V}O_{2PICO}$  ser alcançado (na intensidade supramáxima) surgindo a fadiga pouco tempo após.

Gráfico 3 - Exemplo de uma resposta da cinética (suavizada) de  $\dot{V}O_2$ , observada num atleta do exercício em intensidades Moderada e Supramáxima.



## CORRELAÇÕES BIVARIADAS

No Wod<sub>1</sub> foi encontrada uma correlação positiva entre a Duração<sub>TOT</sub> (performance) e o  $\tau_p$  ( $r=0,582$ ;  $p=0,046$ ), e por outro lado foi encontrada uma correlação negativa entre a Duração<sub>TOT</sub> (performance) e o tempo de atraso (td) no teste progressivo ( $r= -0,632$ ;  $p=0,027$ ), sem significado fisiológico. No Wod<sub>2</sub> foram encontradas correlações positivas entre a Duração<sub>TOT</sub> (performance) e a  $W_{AER}$  ( $J.kg^{-1}$ ) ( $r=0,806$ ;  $p=0,002$ ); o  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $r=0,635$ ;  $p=0,027$ ) e a  $W_{AER}$  (%) ( $r=0,903$ ;  $p=0,000$ ) e correlações negativas entre a Duração<sub>TOT</sub> (performance) e a  $W_{[La]}$  ( $J.kg^{-1}$ ) ( $r= -0,592$ ;  $p= 0,042$ );  $[La]_{PICO}$  ( $r= -0,668$ ;  $p=0,018$ ) e  $W_{[La]}$  (%) ( $r= -0,694$ ;  $p= 0,012$ ).

Gráfico 4 -Exemplo de uma resposta da cinética de  $\dot{V}O_2$ , observada num atleta do estudo durante as 3 voltas de 500metros num remoergómetro.

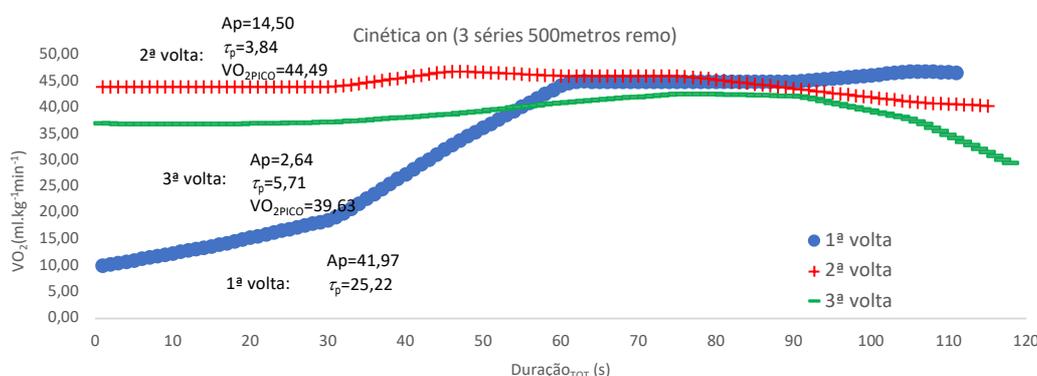


Gráfico 5 - Exemplo da Cinética de consumo de Oxigênio ( $\dot{V}O_2k$ ) de um atleta na tarefa (wod<sub>1</sub>) com início a diferentes taxas metabólicas

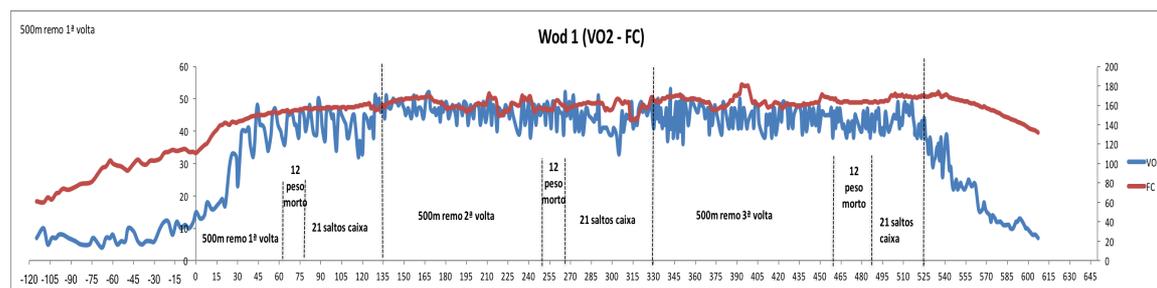


Gráfico 6 - Resposta da FC e do  $\dot{V}O_2$  de um atleta durante o treino nos 2 Wod's

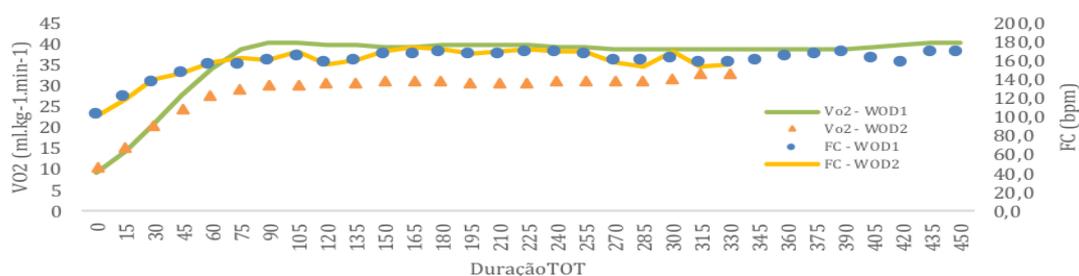


Tabela 12 – Capacidade Anaeróbia (CAN)

Sistema Energético	Média ± dp
R <sup>2</sup>	0,88 ± 0,07
kcal	12,25 ± 4,58
J.kg <sup>-1</sup>	51,05 ± 19,27
L.O <sub>2</sub>	2,45 ± 0,91
%	33,9%
kcal	23,88 ± 27,05
J.kg <sup>-1</sup>	86,95 ± 116,40
L.O <sub>2</sub>	4,77 ± 5,41
%	66,1%
Kcal	36,13 ± 25,86
J.kg <sup>-1</sup>	138,00 ± 112,83
L.O <sub>2</sub>	7,23 ± 5,17

A Tabela 12 mostra o cálculo das contribuições dos sistemas energéticos e do gasto energético total utilizando apenas um teste exaustivo supramáximo (CAN). Os valores da contribuição do metabolismo alático ( $W_{ALA}$ ) e lático ( $W_{La}$ ) corresponderam a 66,1% e 33,9% de CAN, respetivamente.

#### 4.1.3 Discussão

Tanto quanto sabemos, esta é a primeira investigação a estudar e apresentar a contribuição dos sistemas energéticos durante dois Wod's CrossFit® e quais as variáveis fisiológicas/metabólicas que podem determinar o desempenho. A contribuição dos diferentes sistemas de energia descritos no presente estudo mostra que o  $W_{AER}$  é predominante em ambos os Wod's ("Christine" e "Diane") contribuindo com 80,82% ± 3,63 e 57,02% ± 16,11 respetivamente, o que está de acordo com a duração apresentada por cada um deles em termos médios. Em

contraste, o  $W_{[La]}$  contribuiu com  $19,15\% \pm 3,60$  para  $Wod_1$  e  $42,97\% \pm 16,11$  para  $Wod_2$ . Isso implica que o perfil de atividade acíclica do CrossFit®, uma vez dada a execução contínua da sequência das tarefas, não põe em causa um perfil metabólico no qual o metabolismo aeróbio é a principal fonte de energia. Por outro lado, em média, considerada a totalidade da tarefa, incluindo as fases de transição, o  $\dot{V}O_2$  esteve acima do  $L_{V1}$  ( $32,66 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) previamente avaliado, com valores superiores no  $Wod_1$  ( $39,13 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) quando comparados com  $Wod_2$  ( $28,38 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ).

A menção de que o CrossFit® é fisicamente exigente surge da análise de diversas variáveis estudadas, tais como: 1) despesa energética (DE); 2)  $\dot{V}O_{2PICO}$ ; 3)  $FC_{MAX}$ . No  $Wod_1$ , que teve uma duração média de 12min, obtivemos valores de  $61,42 \text{ J.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  (DE),  $46,2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  de  $\dot{V}O_{2PICO}$  e  $179 \text{ bat.min}^{-1}$  ( $83\% FC_{MAX}$ ). Já o  $Wod_2$  teve uma duração média de 4:30min, obtivemos valores de  $44,60 \text{ J.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  (DE);  $34,1 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  de  $\dot{V}O_{2PICO}$  e  $171 \text{ bat.min}^{-1}$  ( $80\% FC_{MAX}$ ). Estes achados vão de encontro aos encontrados por Perciavalle et al. (2016) de  $97\%$  da  $FC_{MAX}$ . Contrastam, no entanto, com os dados apresentados por outros estudos, como os de Escobar, Morales, & VanDusseldorp (2017) de  $37,0 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  de  $\dot{V}O_{2PICO}$ ; Shaw et al. (2015) ( $54\%$  da  $FC_{MAX}$ ); (Babiash, 2013) ( $32,4 - 44,2 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  de  $\dot{V}O_{2PICO}$ ) o que se explicará por diferentes níveis de treino e de desempenho dos sujeitos analisados em cada um destes estudos, mas também da grande variedade de Wod's avaliados. Por outro lado, Bellar et al. (2015) encontraram o  $VO_{2PICO}$  e a potência anaeróbia como preditores significativos de desempenho no CrossFit® após um período de treino nesta modalidade.

Os nossos dados mostram claramente que, embora a diversidade de exercícios existente no CrossFit® provoque taxas metabólicas altas e elevado empenhamento muscular localizado, (Castagna, Impellizzeri, Chaouachi, Ben Abdelkrim, & Manzi, 2011; Farrar, Mayhew, & Koch, 2010; Gillen & Gibala, 2014; Narazaki, Berg, Stergiou, & Chen, 2009; Nolte, 2005; Secher, 1983) a sua predominância é aeróbia. Estes valores são consistentes com os achados gerais sobre a interação do sistema de energia durante o exercício máximo contínuo de duração comparável (Gastin, 2001; Spencer & Gastin, 2001).

Os resultados do presente estudo contradizem, portanto aquele conceito do CrossFit® ser uma modalidade predominantemente anaeróbia, assumindo-se que possa existir uma elevada contribuição anaeróbia tendo por base apenas a [La] encontrada após o treino. No entanto, estas podem ser decorrentes de picos de solicitação localizada muito intensos, com alteração

imediate das regiões musculares envolvidas, o que impede a entrada em falência do organismo no seu todo, mas leva a recrutamento significativo de fibras de contração rápida e, provavelmente, um mecanismo de recuperação ativa “cruzado” com estimulação dos mecanismos de remoção e reoxidação parcial do lactato acumulado. Pode-se, assim, associar os efeitos do treino de com o que se sabe da eficácia relativa do HIIT. Com efeito, os mecanismos subjacentes responsáveis pelas adaptações metabólicas neste tipo de treino, poderão ser devidas ao elevado recrutamento de fibras que poderá ocorrer durante o treino (Bailey et al., 2009; Burgomaster et al., 2007; Gibala et al., 2006).

Segundo Gjøvaag & Dahl, (2008) e Henriksson & Reitman, (1976) o treino intervalado induz maiores adaptações de enzimas oxidativas nas fibras tipo II quando comparado com o treino contínuo. À medida que a intensidade do treino aumenta acima do  $\dot{V}O_{2PICO}$ , as fibras tipo IIx manifestam maiores aumentos na capacidade oxidativa induzida pelo treino. Assim sendo, espera-se que essas adaptações específicas deste tipo de fibras resultem numa  $\dot{V}O_{2k}$  mais rápida e com uma maior tolerância ao treino de intensidade elevada (Bailey et al., 2009; Crow & Kushmerick, 1982; Demarle et al., 2001; A. Jones & Poole, 2005b; Krstrup et al., 2008, 2004)

De acordo com o princípio de Henneman (Henneman, Clamann, Gillies, & Skinner, 1974), qualquer aumento da intensidade no exercício implicará um maior recrutamento de fibras musculares tipo II. Espera-se, portanto que estas fibras sejam menos eficientes e mais suscetíveis à fadiga (Horowitz, Sidossis, & Coyle, 1994) contribuam fundamentalmente para a potência total de um treino de intensidade supramáxima, mas com uma contribuição relativa maior de anaerobiose que as fibras musculares tipo I.

Este equívoco sobre os fatores metabólicos que limitam a performance pode ser atribuído ao fato de se presumir que a acumulação de exercícios de intensidade elevada ser de natureza anaeróbia, ignorando as possíveis interações dos vários sistemas energéticos.

A reposição imediata durante as breves transições dos sistemas energéticos láctico e alático acentuam a importância dos atletas terem uma grande capacidade aeróbia. Essa maior capacidade aeróbia poderá coincidir também com uma  $\dot{V}O_{2k}$  mais rápida, assim como uma cinética de recuperação que permite uma mais eficiente reposição da PCr nas transições/pausas curtas no exercício intermitente (Dupont & Berthoin, 2004; Dupont, McCall, Prieur, Millet, & Berthoin, 2010).

No que diz respeito à [La-], os resultados mostraram ser mais elevados, quando comparados com a literatura no CrossFit®. Perciavalle et al. (2016) obtiveram valores de 14 mmol.L<sup>-1</sup>, Escobar et al., (2017) 12,5mmol.L<sup>-1</sup>, Babiash, (2013) 11,6mmol.L<sup>-1</sup>. Essas diferenças podem-se dever ao nível de treino elevado dos atletas que participaram no nosso estudo.

A correlação entre  $\dot{V}O_{2PICO}$  e o desempenho aeróbio é considerado suficientemente forte para que os investigadores procurem de forma específica técnicas de treino para otimizar o rendimento do atleta e aumentar o  $\dot{V}O_{2PICO}$  (Fay, Londeree, LaFontaine, & Volek, 1989; Lehmann, Berg, Kapp, Wessinghage, & Keul, 1983; Maughan & Leiper, 1983; Midgley & Mc Naughton, 2006; Saltin & Astrand, 1967; Saltin & Strange, 1992). Contudo, no presente estudo apenas foi encontrada associação inversa entre o desempenho e o  $\dot{V}O_{2PICO}$  no Wod<sub>2</sub>, significando, portanto que os melhores desempenhos foram realizados por atletas com um menor  $\dot{V}O_{2PICO}$ .

No Wod<sub>1</sub> foi verificada uma ligeira correlação entre a performance no Wod<sub>1</sub> e o  $\tau_p$  no teste supramáximo ( $r=0,0584$ ,  $p=0,046$ ), o que poderá pressupor que uma  $\dot{V}O_2k$  mais rápida durante o exercício de carga constante leva a um ajuste de  $\dot{V}O_2$  mais rápido durante as fases mais intensas. Este é um dado interessante, na medida em que se considera que em indivíduos jovens saudáveis e bem treinados, um  $\tau_p$  rápido é um indicador de adaptações mitocondriais elevadas, no caso vertente, com implicação nas fibras de contração rápida Poole & Jones (2012)

De acordo com Phillips et al., (1995) um  $\dot{V}O_2$  mais rápido durante um exercício de carga constante poderá reduzir a concentração de fosfocreatina muscular. A capacidade de recuperar rapidamente durante as transições poderá ser um fator adicional para uma melhor performance. Sugere-se que a performance durante os treinos de CrossFit® poderá depender da capacidade de saturação rápida da mioglobina e, assim, ressintetizar a PCr de forma mais rápida.

As associações lineares entre a FC e o  $\dot{V}O_2$  são visíveis com o aumento da carga de trabalho. Neste tipo de treino (HIIT, CrossFit®), a FC pode aumentar independentemente do  $\dot{V}O_2$  para manter o  $\dot{Q}$ . Uma possível explicação para a problemática duma maior dependência da FC para poder manter o  $\dot{Q}$ , é que medida que a intensidade aumenta para além de 40%  $\dot{V}O_{2PICO}$ , a FC torna-se o principal fator para o aumento do Q (Rowell, 1974). Com esse aumento da FC, a

capacidade da rede venosa não é capaz de reenviar o sangue ao coração (Allen, Byrd, & Smith, 1976; Hurley et al., 1984).

#### 4.1.4 Conclusão

Em conclusão, este é o primeiro estudo a avaliar o custo metabólico em treino de CrossFit® usando exercícios transversais da modalidade, e que demonstra que o CrossFit® requer uma alta taxa metabólica e implica a utilização de recursos aeróbios e anaeróbios de um forma coordenada. No entanto, ao contrário do previsto é uma modalidade de domínio aeróbio, isto é, o perfil de atividade acíclica que inclui movimentos variados, de alta intensidade e transições curtas subsequentes, causam um perfil metabólico no qual o metabolismo aeróbio é a fonte predominante de energia.

Apesar dos segmentos dos exercícios com cargas adicionais elevadas exigirem intensidades quase máximas, de grande pendor anaeróbio, devido ao elevado volume dos exercícios e à alternância de grupos musculares induzida para alteração na estrutura motora das tarefas, tornam a exigência dos Wod's menos dependente da potência e mais da capacidade anaeróbia, mas também da potência aeróbia ( $\dot{V}O_2$ ), tornando-se esforços aeróbios de intensidade elevada. Este carácter quase intervalado do CrossFit® fomenta um custo energético alto ( $>10\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$ ).

No que diz respeito à cinética, este é o primeiro estudo a descrever a constante temporal ( $\tau$ ) em CrossFit® usando exercício específicos e métodos apropriados. A cinética mais rápida no CrossFit® suscitará que os atletas serão capazes de alcançar o  $\dot{V}O_{2\text{PICO}}$  num período de tempo mais curto, logo, terão um pequeno défice de  $O_2$ ; menor acumulação de  $[La^-]$  e outros metabolitos associadas ao processo de fadiga, devendo, portanto, ter uma melhor tolerância do exercício. No entanto, devido à sua periodização complexa, há necessidade de novos estudos levando em consideração as várias variáveis num Wod de CrossFit®, sendo necessárias mais pesquisas para entender melhor as respostas fisiológicas e metabólicas na metodologia da modalidade. Pode-se dizer que não existe um perfil fisiológico padrão mas sim vários.



## **4.2 Efeitos do treino e destreino sobre os indicadores cardiorrespiratórios em atletas de CrossFit® (estudo II)**

### **4.2.1 Introdução**

CrossFit® é uma metodologia de treino que assenta na constante variação de movimentos funcionais realizados em alta intensidade, tendo como objetivo a melhoria da forma física, ou seja, condição física (fitness) (Bellar et al., 2015; Glassman, 2012). O treino é organizado em treinos diários denominados de “Wod”. Os Wod’s diferem amplamente de dia para dia. De acordo com o conteúdo dos treinos, existem três modalidades: ginástica (G), treino metabólico (M) e Halterofilismo (WL) (Glassman, 2012).

De acordo com Claudino et al., (2018), os estudos que até à data investigaram a modalidade basearam-se em dois sectores: 1) benefícios do CrossFit® (Saúde [n=4]; comportamento psicossocial [n=11]; composição corporal [n=4] e parâmetros psicofisiológicos [n=12] e 2) taxa lesional na modalidade (lesão músculo-esquelética [n=7]). Todos os estudos incluíram adultos saudáveis com diversos níveis de experiência de CrossFit®. Resumindo, pode-se dizer que o CrossFit® ao nível de taxa de lesão e resultados na saúde, é equiparável a outros tipos de treino intervalado de intensidade elevada (HIIT) (Meyer et al., 2017). Contudo, de acordo com Drum, Bellovary, Jensen, Moore, & Donath, (2017); Heinrich et al., 2014; Jeffery, (2012); Meyer et al., (2017); Murawska-Cialowicz, Wojna, & Zuwała-Jagiello, (2015); Patel, (2012) foram observados benefícios com a prática de CrossFit®, em 1) desempenho em testes de avaliação física nas forças armadas; 2) capacidade de trabalho; 3). potência; 4) capacidade aeróbia e anaeróbia; 5) resistência muscular e 6) composição corporal.

A sua filosofia e método de treino são distintos das demais modalidades de “fitness” pela junção das três variáveis de treino: variação, movimentos funcionais e alta intensidade. O seu objetivo é a “não especialização” numa única vertente de treino ou seja, segue procedimentos que levam ao variar do leque de estímulos de treino para treino. Esta variação permite que o atleta desenvolva diversas capacidades físicas em “simultâneo” e, que este esteja preparado para qualquer contingência física que a vida diária possa apresentar e não estar apenas focado numa área específica do treino (Glassman, 2012). Apesar de serem poucas as investigações acerca da modalidade, tem-se tornado notório que na procura da melhoria no desempenho dos atletas, são cada vez mais investigadas as adaptações fisiológicas a fim da melhor utilização de suas características e manutenção da condição física (Denadai, Ortiz, & Mello, 2004).

Foi recentemente revista a literatura acerca deste tipo de metodologia de treino, próxima na estruturação da carga e efeitos encontrados com o HIIT através de trabalhos como os de Buchheit & Laursen, (2013a, 2013b); Kessler, Sisson, & Short, (2012); M. Weston, Taylor, Batterham, & Hopkins, (2014). De acordo com Salmon, Owen, Crawford, Bauman, & Sallis, (2003) um dos principais obstáculos à realização em programas de exercício físico é a falta de tempo, logo, uma forma rápida é a realização de treinos curtos de intensidade elevada. Gillen & Gibala (2014) mostraram que apenas três sessões de 10min/semana de 3x20s de intensidade elevada, podem provocar alterações na capacidade oxidativa muscular e em diversos marcadores cardiometabólicos.

Portanto, o principal objetivo deste estudo foi o de averiguar o efeito de um período de treino de CrossFit® nas capacidades aeróbia e anaeróbia. Mais especificamente: 1) Avaliar os efeitos de seis semanas de treino e três semanas de destreino de CrossFit® sobre os indicadores cardiorrespiratórios em atletas da modalidade; 2) Descrever as componentes da cinética do  $\dot{V}O_2$  em atletas de CrossFit®, verificando a sua relação com o desempenho competitivo e outros parâmetros do desempenho aeróbio e anaeróbio. Neste âmbito, foram colocadas as seguintes perguntas: 1) Um período de 6 semanas de treino de CrossFit® resultou numa melhoria dos indicadores cardiorrespiratórios e num aumento da performance? 2) O destreino de 3 semanas induz uma diminuição da performance no CrossFit®?

#### **4.2.2 Resultados**

Neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados das avaliações realizadas nos três momentos de recolha referentes ao teste progressivo máximo, ao teste supramáximo e à caracterização da resposta aguda ao Wod<sub>1</sub>, conforme explicitado o Cap. III..

#### **CARGA INTERNA DE TREINO – SEIS SEMANAS**

A quantificação das cargas de treino a que um atleta está sujeito é fundamental para garantir o seu sucesso em competição, e por essa razão torna-se fundamental quantificar de forma precisa e eficiente as cargas a que o atleta foi submetido durante o processo de treino.

As tabelas 13 e 14 apresentam a distribuição da carga interna de treino (CIT) realizada nas seis semanas de treino referentes aos impulsos de treino (TRIMPs) e à PSE.

Com base nos valores obtidos, podemos observar que na primeira semana verificou-se o volume mais reduzido de toda a periodização com um TRIMP total de 316 unidades arbitrárias de carga (U.A.C). Na 3ª semana verificou-se o maior volume com um valor de 436 U.A.C.

Tabela 13 - Distribuição dos volumes de treino de acordo com os impulsos de treino (TRIMPs) em cada uma das semanas

<b>Sessão</b>	<b>1ª semana</b>	<b>2ª semana</b>	<b>3ª semana</b>	<b>4ª semana</b>	<b>5ª semana</b>	<b>6ª semana</b>
<b>1</b>	72	73	97	86	77	66
<b>2</b>	97	77	60	55	70	76
<b>3</b>	66	60	78	66	97	68
<b>4</b>	-	58	109	53	71	101
<b>5</b>	82	92	93	83	111	83
<b>Média</b>	79,0 ± 33,3	71,8 ± 12,4	87,3 ± 17,1	68,6 ± 13,7	85,4 ± 16,1	79,2 ± 12,6
<b>Total</b>	<b>316</b>	<b>359</b>	<b>436</b>	<b>343</b>	<b>427</b>	<b>396</b>

Tabela 14 - Distribuição dos volumes de treino de acordo com a percepção subjetiva de esforço (PSE) em cada uma das semanas

<b>sessão</b>	<b>1ª semana</b>	<b>2ª semana</b>	<b>3ª semana</b>	<b>4ª semana</b>	<b>5ª semana</b>	<b>6ª semana</b>
<b>1</b>	450	480	570	495	468	300
<b>2</b>	483	495	354	343	420	424
<b>3</b>	364	343	448	408	448	416
<b>4</b>	-	416	531	350	392	480
<b>5</b>	477	540	459	468	580	450
<b>Média</b>	443,6 ± 182,5	454,868,6	472,4 ± 74,5	412,8 ± 61,1	461,6 ± 64,5	414,0 ± 61,2
<b>Total</b>	<b>1 774</b>	<b>2 274</b>	<b>2 362</b>	<b>2 064</b>	<b>2 308</b>	<b>2 070</b>

Os gráficos 7 e 8 apresentam as unidades arbitrárias de carga (U.A.C) das seis semanas antes de cada momento de avaliação, pois demonstram uma variação das mesmas, tal como acontece teoricamente na metodologia de CrossFit®.

Gráfico 7 - Dados do total de sessões dos TRIMPs e PSE nas seis semanas de treino

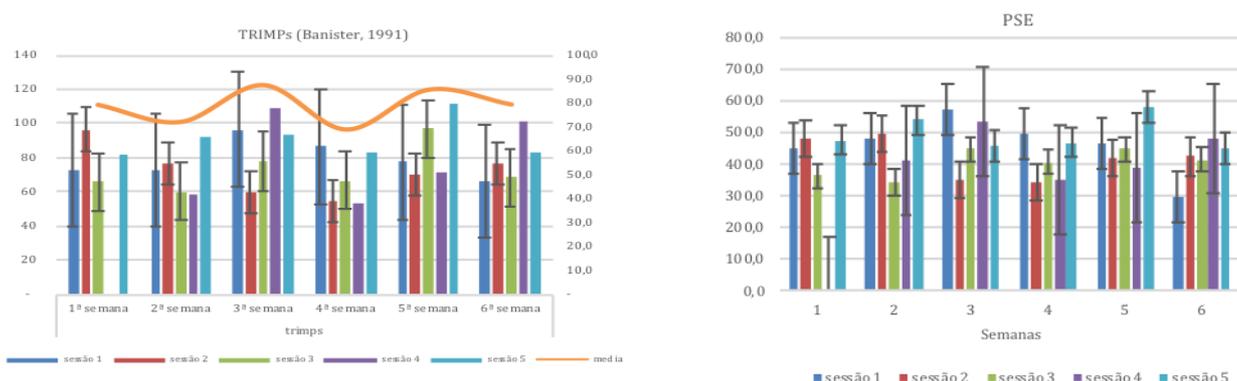


Gráfico 8 - Dados dos totais dos TRIMPs e PSE referentes a seis semanas de treino

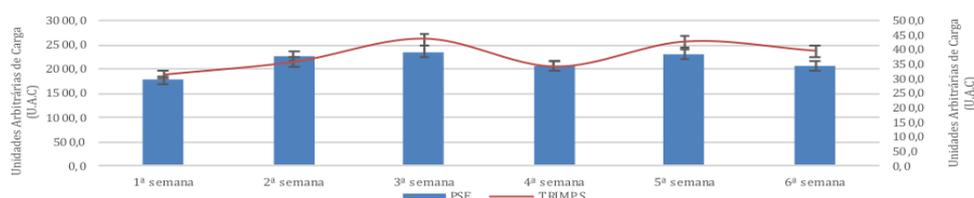


Gráfico 9 - Duração (min) e carga interna de treino (TRIMPs) por zonas de intensidade

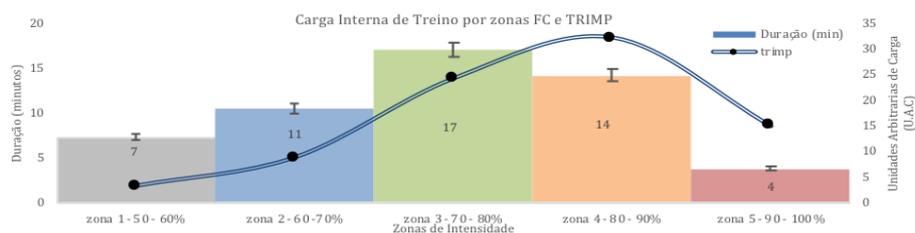
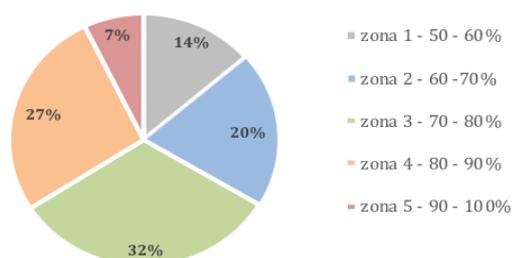


Tabela 15 - --Valores médios e desvio padrão da duração; FC<sub>MED</sub>; TRIMPs e PSE de cada zona de treino

Zonas Intensidade	Duração	FC <sub>MED</sub>	TRIMPs	PSE
zona 1 - 50 - 60%	7,2 ± 4,3	108,7 ± 3,3	3,2 ± 1,9	
zona 2 - 60 - 70%	10,5 ± 5,4	126,4 ± 2,8	8,8 ± 4,5	
zona 3 - 70 - 80%	17,0 ± 7,6	144,4 ± 3,0	24,2 ± 10,6	<b>7,9 ± 1,8</b>
zona 4 - 80 - 90%	14,2 ± 8,7	161,0 ± 4,7	32,1 ± 20,3	
zona 5 - 90 - 100%	3,8 ± 3,3	173,3 ± 4,5	14,8 ± 8,5	
<b>total</b>	<b>52,8min</b>		<b>83,1</b>	

Ao calcular a carga interna de treino durante as seis semanas, utilizando o método proposto por TRIMP<sub>BANISTER</sub> a percentagem do tempo gasto em cada zona foi de: 14% na zona 1 (50-60%); 20% na zona 2 (60-70%); 32% na zona 3 (70-80%); 27% na zona 4 (80-90%) e 7% na zona 5 (90-100%) como se pode verificar no gráfico 10.

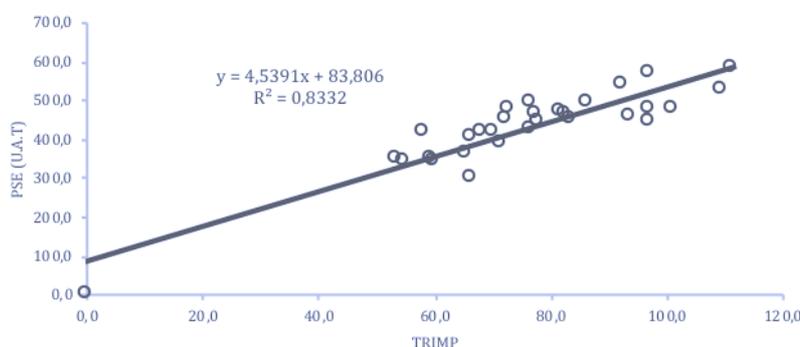
Gráfico 10 - Percentagem de carga de treino em zonas de intensidade



As correlações dos dados da PSE da sessão com os valores das zonas de FC alcançaram valores de ( $r=0,531$ ;  $p<0,005$ ); entre o  $TRIMP_{BANISTER}$  e PSE ( $r=0,838$  ( $p<0,000$ ))  $TRIMP_{BANISTER}$  e  $FC_{MED}$  ( $r=0,630$ ;  $p<0,000$ ).

A correlação encontrada entre PSE da sessão e  $TRIMP_{BANISTER}$  no presente estudo ( $r=0,83$ ) foi ligeiramente superior aos resultados encontrados em diferentes modalidades desportivas de caráter intermitente, tais como rugby ( $r=0,46 - 0,94$ ) (Coutts, Wallace, & Slattery, 2003), futebol masculino ( $r=0,50 - 0,77$ ) (Impellizzeri, Rampinini, Coutts, Sassi, & Marcora, 2004) e futebol feminino ( $r=0,84$ ) (Alexiou & Coutts, 2008). Entretanto, e de acordo com Borresen & Lambert, (2008, 2009) estima-se que a  $FC_{MED}$  seja limitada para exercícios intermitentes de alta intensidade, já que ao utilizar o método  $TRIMP_{BANISTER}$  (utiliza a  $FC_{MED}$  da sessão para a quantificação da CIT), pode não representar a real intensidade realizada. Todas as correlações foram significativas ( $P < 0,05$ ).

Gráfico 11 - Relação entre os métodos de quantificação de cargas: PSE e  $TRIMP_{BANISTER}$



Os resultados decorrentes das cargas de treino nas seis semanas estão apresentadas na tabela 19, onde que são descritos os valores das variáveis corporais ao longo dos três momentos.

Tabela 16 - Tabela com valores ao longo dos momentos das variáveis corporais, peso e composição corporal

	<b>PRÉ (n=8)</b>	<b>PÓS (n=8)</b>	<b>DT (n=8)</b>	<b>p</b>
<b>Peso (kg)</b>	78,39±10,03	78,6±10,01	82,35±11,04	#a (p=0,001); †a (p=0,001)
<b>IMC (kg/m<sup>2</sup>)</b>	25,31±2,39	25,37±2,40	26,45±2,69	#a (p=0,000); †a (p=0,001)
<b>%MG</b>	12,51±5,33	11,63±4,89	15,28±5,77	#a (p=0,001); †a (p=0,008)
<b>MIG (kg)</b>	65,05±4,84	65,66±4,73	65,08±5,20	#a (p=0,002)

Onde se lê: \* Diferença do pré-treino para o pós-treino; #a diferença do pós-treino para o destreino; †a diferença do pré-treino para o destreino.

Foram notadas diferenças significativas, com uma magnitude de d de Cohen muito elevada nas variáveis acima descritas somente ao nível do DT, tanto em relação ao pré como ao pós treino, tais como: Peso (p=0,001; [+4,8% - pós] e [+5,1% - pré]); IMC (p=0,000; [+4,3% - pós] e [+4,6% - pré]); %MG (p=0,000; [+23,9% - pós] e [+17,58% - pré]); MIG (p=0,000; [-0,08% - pós] e p=0,008 [+0,05% - pré]).

A tabela 17, descreve os resultados obtidos no teste progressivo, no pré e pós treino e subsequente ao DT.

Tabela 17 – Tabela com valores ao longo dos momentos das variáveis cardiorrespiratórias e ventilatórias obtidas no teste progressivo

<b>Teste Progressivo</b>	<b>PRÉ (n=8)</b>	<b>PÓS (n=8)</b>	<b>DT (n=8)</b>	<b>p</b>
<b>FC<sub>REP</sub> (bat.min<sup>-1</sup>)</b>	68,62 ± 7,76	65,75 ± 9,49	70,33 ± 6,43	
<b>ḂO<sub>2</sub>PICO (L.min<sup>-1</sup>)</b>	3,82 ± 0,33	3,98 ± 0,28	3,88 ± 0,33	* (p=0,016); #a (p=0,012)
<b>ḂO<sub>2</sub>PICO (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	48,88 ± 4,91	51,13 ± 4,73	47,83 ± 5,34	* (p=0,000); #a (p=0,001)
<b>LV<sub>1</sub> (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	31,50 ± 3,93	32,88 ± 4,09	31,50 ± 2,59	
<b>% LV<sub>1</sub></b>	69,38 ± 9,15	71,13 ± 10,89	68 ± 9,76	†a (p=0,012)
<b>vLV<sub>1</sub> (km/h)</b>	9,12 ± 0,99	9,87 ± 1,55	9,00 ± 1,30	* (p=0,020); #a (p=0,006)
<b>LV<sub>1</sub>FC (bat.min<sup>-1</sup>)</b>	135,50 ± 4,58	134,87 ± 3,64	139,0 ± 3,62	†a (p=0,003); #a (p=0,010)
<b>%LV<sub>1</sub> (VAM)</b>	59,2 ± 0,06	63,9 ± 0,07	58,2 ± 0,05	* (p=0,014); #a (p=0,008)
<b>%LV<sub>1</sub> (FC<sub>MAX</sub>)</b>	71,4 ± 0,04	71,1 ± 0,04	73,2 ± 0,04	#a (p=0,006); †a (p=0,003)
<b>LV<sub>2</sub> (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	41,75 ± 3,77	44,63 ± 3,62	42 ± 4,00	* (p=0,000); #a (p=0,001)
<b>% LV<sub>2</sub></b>	84,88 ± 4,88	88,63 ± 5,29	85,83 ± 3,76	
<b>vLV<sub>2</sub> (km/h)</b>	12,25 ± 0,88	13,00 ± 1,07	12,25 ± 0,88	* (p=0,003); #a (p=0,003)
<b>LV<sub>2</sub> FC (bat.min<sup>-1</sup>)</b>	161,25 ± 9,87	162,25 ± 7,28	163,0 ± 6,59	
<b>%LV<sub>2</sub> (VAM)</b>	79,8 ± 0,09	84,6 ± 0,09	79,8 ± 0,09	* (p=0,003); #a (p=0,003)
<b>%LV<sub>2</sub> (FC<sub>MAX</sub>)</b>	84,9 ± 0,04	85,3 ± 0,05	85,9 ± 0,05	
<b>VAM</b>	15,5 ± 1,93	15,5 ± 1,60	14,5 ± 1,64	#a (p=0,000); †a (p=0,041)
<b>FC<sub>MAX</sub> (bat.min<sup>-1</sup>)</b>	183,50 ± 11,71	180,88 ± 9,92	185,17 ± 10,1	#a (p=0,014); †a (p=0,016)
<b>Duração (s)</b>	592,87 ± 146,96	584,75 ± 83,08	564,66 ± 110,00	
<b>PSE (6-20)</b>	17,50 ± 1,30	18,25 ± 1,75	18,16 ± 0,75	

Onde se lê: ( $FC_{REP}$ ) frequência cardíaca repouso; ( $FC_{MAX}$ ) frequência cardíaca máxima; ( $FC_{MED}$ ) frequência cardíaca média; ( $\dot{V}O_{2BASE}$ ) consumo de oxigênio de repouso, ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ) consumo máximo de oxigênio; ( $LV_1$ ) limiar ventilatório 1; ( $LV_2$ ) limiar ventilatório 2; ( $VAM$ ) velocidade aeróbia máxima, ( $PSE$ ) percepção subjetiva de esforço; \* Diferença do pré-treino para o pós-treino; #a diferença do pós-treino para o destreino; †a diferença do pré-treino para o destreino.

### CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO

Após seis semanas de treino de CrossFit® verificaram-se diferenças significativas, com uma pequena a média magnitude de d de Cohen, do pré para o pós treino nos valores relativos e absolutos do  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $p=0,000$ ; [+4,6%] e  $p=0,016$ ; [+4,3%]) respetivamente. Relativamente ao DT, também aqui se verificaram diferenças significativas:  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $L \cdot min^{-1}$ ) ( $p=0,012$ ; [+2,1% - pós]) e  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) ( $p=0,001$ ; [-6,4% - pós]). No que diz respeito à VAM, verificaram-se diferenças significativas relativamente ao DT ( $p=0,000$ ; [-5,65% - pré e pós]). No que concerne aos  $LV_1$  e  $LV_2$ , verificaram-se diferenças na % $LV_1$  ( $p=0,012$ ; [-2,0% - pré]);  $LV_2$  ( $p=0,001$ ; [-3,2% - pré]).

Ainda referente aos LV relacionados com a VAM, observaram-se alterações significativas na VAM do  $LV_1$  ( $vLV_1$ ) ( $p=0,020$ ; [+8,2%]),  $LV_2$  ( $vLV_2$ ) ( $p=0,003$  [-0,5%]); percentagens da VAM do  $LV_1$  (% $vLV_1$ ) ( $p=0,014$  [+7,8%]) e  $LV_2$  (% $vLV_2$ ) ( $p=0,003$  [+6,1%]) do pré para o pós treino. Também do pós treino para o DT se verificaram diferenças significativas no  $vLV_1$  ( $p=0,006$  [-8,86%]), % $vLV_1$  ( $p=0,003$  [-8,91%]);  $vLV_2$  ( $p=0,003$  [-5,77%]) e % $vLV_2$  ( $p=0,003$  [-5,72%]). Relativamente aos valores dos LV relacionados com a FC, foram observadas diferenças significativas no DT do  $LV_1FC$  ( $p=0,003$  [+2,58%]) e % $LV_1FC$  ( $p=0,006$  [+2,61%]) para o pré treino e no  $LV_1FC$  ( $p=0,010$  [+3,06%]) e % $LV_1FC$  ( $p=0,003$  [+3,06%]) para o pós treino .

Gráfico 12 – Variação individual dos valores de  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ) (fig. A) e  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $L \cdot min^{-1}$ ) (fig. B) para o pré treino (pré); pós treino (pós) e destreino (DT)

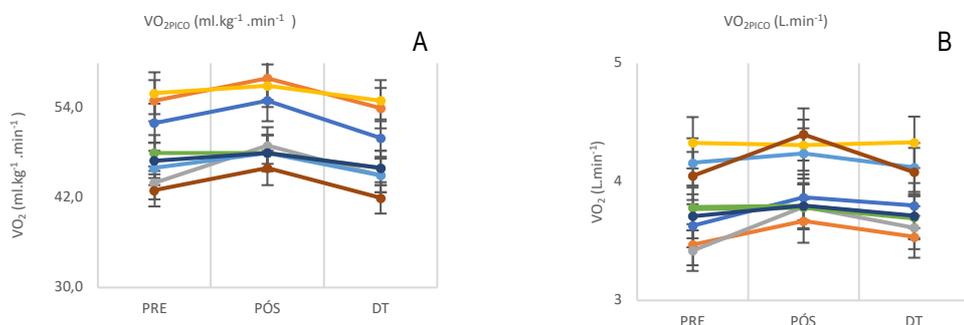


Gráfico 13 – Valores do  $L_{V2}$  ( $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) no pré, pós treino e DT

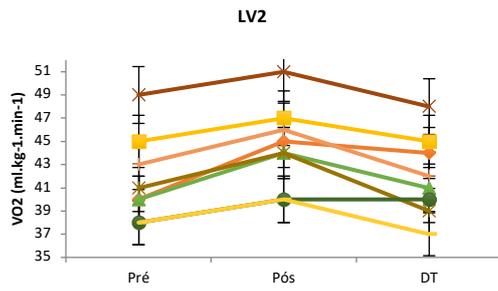


Gráfico 14 - Valores dos  $L_{V1}$  (fig. A) e  $L_{V2}$ (fig. B) da VAM

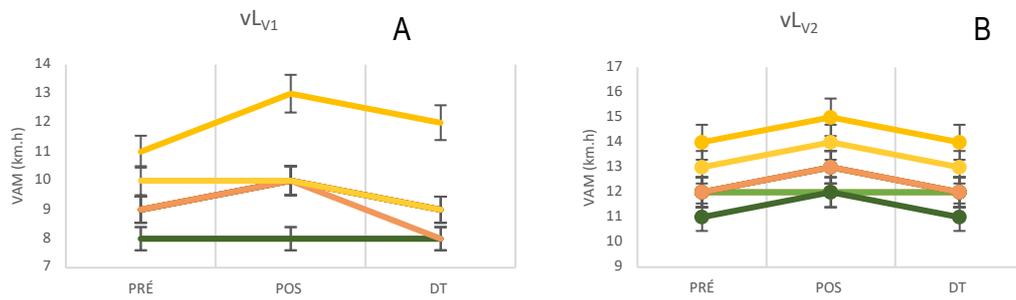


Gráfico 15- Valores dos  $L_{V1}$  (fig. A) e  $L_{V2}$ (fig. B) da FC ( $\text{bat}.\text{min}^{-1}$ )

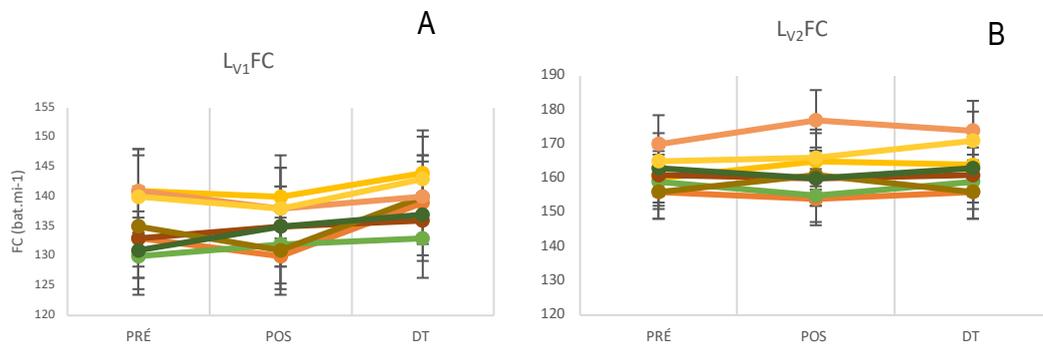
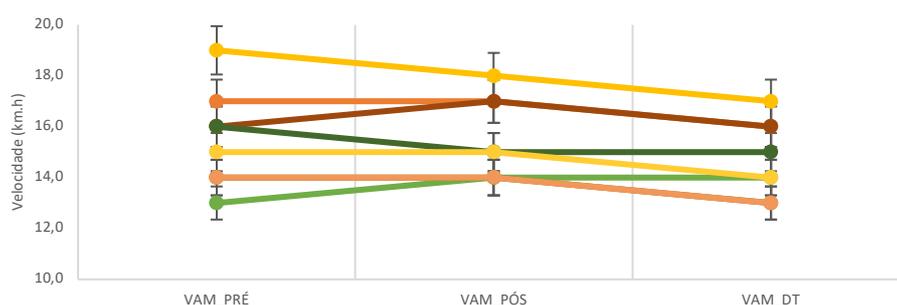


Gráfico 16 - Dados da VAM no pré; pós treino e DT



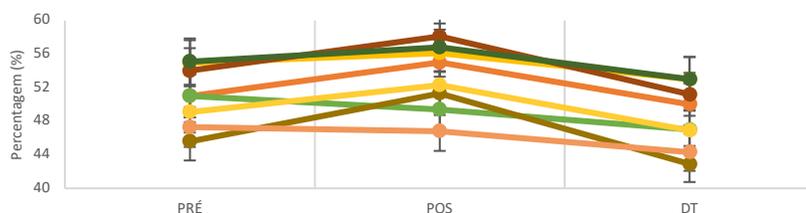
No teste supramáximo (Tabela 18), verificaram-se diferenças significativas, de pequena a média magnitude ao nível do  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ) do pré para o pós treino ( $p=0,03$ ; [+4,4% - pós]) e  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $\text{L.min}^{-1}$ ) ( $p=0,03$ ; [+4,8% - pós]). No que concerne ao DT, a magnitude de  $d$  de Cohen manteve-se de pequena a média nas diferenças do  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $\text{L.min}^{-1}$ ) ( $p=0,030$ ; [-6,2% - pós]) e ( $p=0,025$ ; [-2,5% - pré]);  $\dot{V}O_{2MED}$  ( $\text{L.min}^{-1}$ ) ( $p=0,035$ ; [-2,6% - pós]) e ( $p=0,007$ ; [-6,4% - Pré]). No que diz respeito a 110%VAM, foram encontradas diferenças para o pós treino ( $p=0,005$ ; [-6,06%] (Gráfico 17).

Tabela 18 - Tabela com valores ao longo dos momentos das variáveis cardiorespiratórias e ventilatórias obtidas no teste supramáximo (110%VAM)

Supramáximo	PRÉ (n=8)	PÓS (n=8)	DT (n=8)	p
<b>FC<sub>PICO</sub> (bat.min<sup>-1</sup>)</b>	175,5 ± 14,99	174,13 ± 15,77	174,50 ± 13,84	
<b><math>\dot{V}O_{2BASE}</math> (L.min<sup>-1</sup>)</b>	0,40 ± 0,05	0,39 ± 0,07	0,45 ± 0,08	
<b><math>\dot{V}O_{2BASE}</math> (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	5,20 ± 0,98	5,03 ± 0,85	5,67 ± 0,48	
<b><math>\dot{V}O_{2PICO}</math> (L.min<sup>-1</sup>)</b>	3,98 ± 0,41	4,17 ± 0,51	3,89 ± 0,39	*(p=0,03);#a(p=0,031); †a(p=0,024)
<b><math>\dot{V}O_{2PICO}</math> (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	51,0 ± 3,5	53,2 ± 3,93	47,5 ± 3,89	*(p=0,039)
<b><math>\dot{V}O_{2MED}</math> (L.min<sup>-1</sup>)</b>	3,27 ± 0,35	3,14 ± 0,37	3,06 ± 0,31	#a (p=0,035); †a(p=0,007)
<b><math>\dot{V}O_{2MED}</math> (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	41,02 ± 3,48	40,26 ± 2,93	38,46 ± 3,32	
<b>W<sub>[La]</sub> (J.kg<sup>-1</sup>)</b>	41,90 ± 8,37	52,70 ± 17,71	54,65 ± 13,65	#a (p=0,003); †a(p=0,004)
<b>W<sub>ALA</sub> (J.kg<sup>-1</sup>)</b>	33,43 ± 11,11	11,58 ± 18,0	31,34 ± 15,53	#a (p=0,042);
<b>W<sub>TOT</sub> (J.kg<sup>-1</sup>)</b>	75,33 ± 13,72	69,29 ± 28,53	85,99 ± 24,64	†a(p=0,022)
<b>[La] (mmol.L)</b>	9,91 ± 1,65	11,82 ± 3,50	12,21 ± 2,44	†a (p=0,002)
<b>110%VAM</b>	17,05 ± 2,12	17,05 ± 1,76	16,02 ± 1,74	#a (p=0,005)
<b>Duração (s)</b>	113,25 ± 33,52	103,5 ± 21,83	91,83 ± 14,09	
<b>PSE (6-20)</b>	17,88 ± 1,55	17,75 ± 1,58	19,50 ± 0,55	

Onde se lê: ( $FC_{PICO}$ ) frequência cardíaca máxima atingida; ( $\dot{V}O_{2BASE}$ ) consumo de oxigênio em repouso, ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ) consumo máximo de oxigênio; ( $L_{V1}$ ) limiar ventilatório 1; ( $L_{V2}$ ) limiar ventilatório 2; (%) percentagem; ( $L \cdot \text{min}^{-1}$ ) litros por minuto; ( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) mililitros por quilograma por minuto; ( $W_{[La]}$ ) energia anaeróbia láctica; ( $W_{ALA}$ ) energia anaeróbia aláctica; ( $W_{TOT}$ ) energia total, ( $[La]$ ) lactato; ( $\Delta$ ) delta - diferença entre a variável; ( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) milimoles por litro; ( $VAM$ ) velocidade aeróbia máxima, (s) segundos, (PSE) percepção subjetiva de esforço; \* -Diferença do pré-treino para o pós-treino; #a – diferença do pós-treino para o destreino; †a - diferença do pré-treino para o Destreino.

Gráfico 17 - Dados do  $\dot{V}O_{2PICO}$  no teste Supramáximo a 110% da VAM



No que diz respeito ao  $W_{od1}$ , e como se pode observar na tabela 19 e nos gráficos 18 e 19, foram apuradas diferenças significativas, com uma magnitude elevada a muito elevada nas variáveis do pré para o pós treino no  $W_{od1}$ . Foram observadas diferenças significativas  $FC_{PICO}$  ( $p=0,010$ ; [-4,69%]);  $\%FC_{PICO}$  ( $p=0,014$ ; [-5,29%]);  $\% \dot{V}O_{2PICO}$  ( $p=0,009$ ; [-7,38%]);  $\% \dot{V}O_{2MED}$  ( $p=0,016$ ; [-8,28%]) e na Duração $_{TOT}$  do  $W_{od1}$  ( $p=0,000$ ; [-3,3%]).

Tabela 19 - Tabela com valores ao longo dos momentos das variáveis cardiorrespiratórias e ventilatórias obtidas  $W_{od1}$

<b>WOD<sub>1</sub></b>	<b>PRÉ (n=8)</b>	<b>PÓS (n=8)</b>	<b>p</b>
<b>FC<sub>REP</sub> (bat.min<sup>-1</sup>)</b>	76,50 ± 4,20	70,37 ± 5,18	
<b>FC<sub>PICO</sub> (bat.min<sup>-1</sup>)</b>	181,25 ± 12,28	172,75 ± 13,88	* (p=0,010)
<b>%FC<sub>PICO</sub></b>	94,45 ± 3,53	89,45 ± 5,17	* (p=0,014)
<b>FC<sub>MED</sub> (bat.min<sup>-1</sup>)</b>	161,38 ± 11,78	163,50 ± 14,43	
<b>%FC<sub>MED</sub></b>	84,19 ± 5,38	85,19 ± 5,41	
<b><math>\dot{V}O_{2BASE}</math> (L.min<sup>-1</sup>)</b>	0,52 ± 0,15	0,52 ± 0,08	
<b><math>\dot{V}O_{2BASE}</math> (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	6,65 ± 1,97	6,58 ± 1,56	
<b><math>\dot{V}O_{2PICO}</math> (L.min<sup>-1</sup>)</b>	3,70 ± 0,27	3,59 ± 0,32	
<b><math>\dot{V}O_{2PICO}</math> (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	47,70 ± 4,69	46,02 ± 3,93	
<b><math>\dot{V}O_{2MED}</math> (L.min<sup>-1</sup>)</b>	3,21 ± 0,04	3,07 ± 0,03	
<b><math>\dot{V}O_{2MED}</math> (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>)</b>	40,98 ± 4,24	39,14 ± 3,02	
<b>%<math>\dot{V}O_{2PICO}</math></b>	97,66 ± 3,97	90,46 ± 8,52	* (p=0,009)
<b>%<math>\dot{V}O_{2MED}</math></b>	83,89 ± 3,54	76,95 ± 7,05	* (p=0,016)
<b><math>W_{[La]}</math> (J.kg<sup>-1</sup>)</b>	63,71 ± 13,43	56,21 ± 19,34	
<b><math>W_{ALA}</math> (J.kg<sup>-1</sup>)</b>	18,02 ± 15,65	12,99 ± 16,55	
<b><math>W_{TOT}</math> (J.kg<sup>-1</sup>)</b>	81,73 ± 20,24	69,21 ± 20,50	
<b>[La] (mmol.L<sup>-1</sup>)</b>	14,31 ± 2,58	13,06 ± 2,56	
<b>[<math>\Delta</math>La]</b>	12,98 ± 2,49	11,79 ± 2,59	

<b>Duração<sub>TOT</sub> (s)</b>	710,5 ± 78,96	686,87 ± 81,61	* (p=0,000)
<b>PSE (6-20)</b>	18,37 ± 1,06	18,50 ± 1,41	

Onde se lê: (cm) centímetros; (bat.min<sup>-1</sup>) batimentos por minuto; (Kg) quilogramas; (Kg/M<sup>2</sup>) divisão da massa do indivíduo pelo quadrado de sua altura; (IMC) índice massa corporal; (MG) massa gorda; (MIG) massa isenta de gordura; (H<sub>2</sub>O) água; (FC<sub>REP</sub>) frequência cardíaca repouso; (FC<sub>PICO</sub>) frequência cardíaca máxima atingida; (FC<sub>MED</sub>) frequência cardíaca média; ( $\dot{V}O_{2BASE}$ ) consumo de oxigênio de repouso, ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ) consumo máximo de oxigênio; (L<sub>V1</sub>) limiar ventilatório 1; (L<sub>V2</sub>) limiar ventilatório 2; (%) percentagem; (L.min<sup>-1</sup>) litros por minuto; (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) mililitros por quilograma por minuto; (W<sub>[La]</sub>) energia anaeróbia láctica; (W<sub>ALA</sub>) energia anaeróbia aláctica; (W<sub>TOT</sub>) energia total, (La-) lactato; (Δ) delta - diferença entre a variável; (mmol.L<sup>-1</sup>) milimoles por litro; (VAM) velocidade aeróbia máxima, (s) segundos, (PSE) percepção subjetiva de esforço; \* -Diferença do pré-treino para o pós-treino; #a - diferença do pós-treino para o destreino; †a - diferença do pré-treino para o Destreino.

Gráfico 18 - Dados da FC<sub>PICO</sub> e FC<sub>MED</sub> (fig. A) e duração do Wod<sub>1</sub> (fig. B) no pré e pós treino

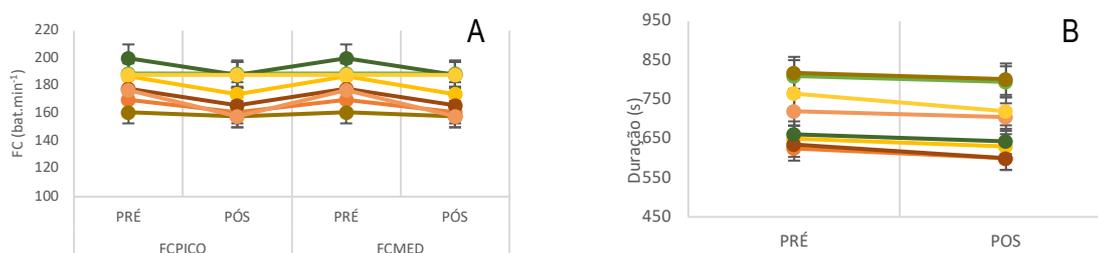
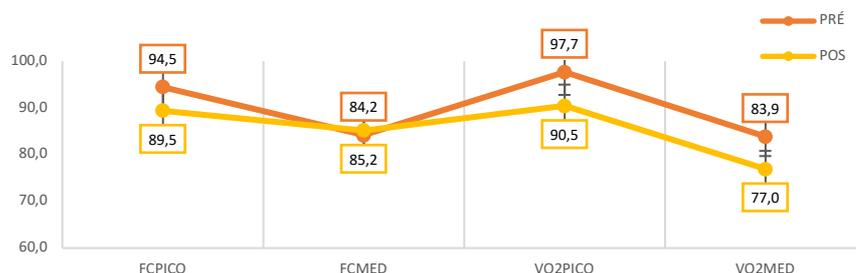


Gráfico 19 - Dados de percentagens da FC<sub>PICO</sub>, FC<sub>MED</sub>;  $\dot{V}O_{2PICO}$ ;  $\dot{V}O_{2MED}$  no pré e pós treino no Wod



### CINÉTICA DE OXIGÉNIO - $\dot{V}O_{2K}$

No que diz respeito aos parâmetros da  $\dot{V}O_{2K}$  os valores obtido no teste progressivo constam na tabela 20, e como se pode observar, foram observadas diferenças significativas com uma magnitude de d de Cohen elevada ao nível da A<sub>p</sub> e do td<sub>p</sub> (p=0,042; p=0,023) do pré para o pós treino, e do pré para o DT (p=0,017; p=0,022) respetivamente.

Tabela 20 - tabela com valores ao longo dos momentos dos parâmetros da  $\dot{V}O_{2k}$  no teste de intensidade moderada

Intensidade moderada	PRÉ (n=8)	POS (n=8)	DT (n=8)	p
$A_p$ (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	24,51 ± 1,81	26,63 ± 1,21	26,56 ± 1,04	*0,042; †a 0,017
$td_p$ (s)	11,18 ± 4,66	5,30 ± 6,25	6,98 ± 6,42	*0,023; †a 0,022
$\tau_p$ (s)	18,75 ± 5,45	18,60 ± 2,32	21,47 ± 4,03	
$A_p'$ (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	24,45 ± 1,90	26,54 ± 1,12	26,51 ± 1,00	*0,044; †a 0,018
$\dot{V}O_{2PICO}$ (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	31,83 ± 1,44	31,95 ± 1,41	31,74 ± 1,16	
Duração <sub>TOT</sub> (s)	240 ± 0,00	240 ± 0,00	240 ± 0,0	
R <sup>2</sup>	0,93 ± 0,04	0,95 ± 0,02	0,95 ± 0,02	
$\dot{V}O_{2BASE}$ (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	5,38 ± 0,74	5,38 ± 1,06	4,33 ± 0,52	

Onde: ( $A_p$ ;  $A_{CL}$ ) amplitude; ( $td_p$ ) tempo de atraso; ( $\tau$ ) constante temporal, o tempo necessário para alcançar 63% do plateau desta fase ( $\tau_p$ ); ( $A_p'$ ) amplitude relevante das componentes rápida; ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ) consumo máximo de oxigênio; (Duração<sub>TOT</sub>) Duração total; (R<sup>2</sup>) coeficiente de determinação\* -Diferença do pré-treino para o pós-treino; #a - diferença do pós-treino para o destreino; †a - diferença do pré-treino para o Destreino.

Relativamente aos dados da  $\dot{V}O_{2k}$  no teste supramáximo (Tabela 21), apenas foram observadas diferenças significativas nos valores do pós treino para o DT na  $A_p$  ( $p=0,046$ );  $\dot{V}O_{2PICO}$  (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) ( $p=0,045$ ) e R<sup>2</sup> ( $p=0,003$ ) e para o Pré-treino  $A_p$  ( $p=0,030$ );  $\dot{V}O_{2PICO}$  (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) ( $p=0,043$ ) e R<sup>2</sup> ( $p=0,028$ ) respetivamente.

 Tabela 21 – Tabela com valores ao longo dos momentos dos parâmetros da  $\dot{V}O_{2k}$  no teste supramáximo a 110%VAM

Supramáximo	PRÉ (n=8)	POS (n=8)	DT (n=8)	p
$A_p$ (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	42,94 ± 4,33	42,38 ± 3,23	34,89 ± 2,67	#a 0,030; †a 0,046
$td_p$ (s)	5,40 ± 5,29	5,40 ± 4,65	10,91 ± 3,50	
$\tau_p$ (s)	18,68 ± 4,94	17,53 ± 6,62	20,32 ± 5,72	
$A_p'$ (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	42,90 ± 4,37	42,36 ± 3,23	34,69 ± 2,72	
$\dot{V}O_{2PICO}$ (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	48,51 ± 4,23	47,68 ± 3,54	39,87 ± 2,80	#a 0,043; †a 0,045
Duração <sub>TOT</sub> (s)	116,25 ± 31,99	108,75 ± 21,30	97,67 ± 16,03	
R <sup>2</sup>	,96 ± 0,03	,95 ± 0,04	,99 ± 0,01	#a 0,028; †a 0,003

Onde se lê: ( $A_p$ ) amplitude; ( $td_p$ ) tempo de atraso; ( $\tau_p$ ) constante temporal; ( $A_p'$ ) amplitude relevante da componentes rápida; ( $\dot{V}O_{2PICO}$ ) consumo máximo de oxigênio; (Duração<sub>TOT</sub>) duração total; (R<sup>2</sup>) coeficiente de determinação; (n) amostras; (s) segundos; (ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) mililitros de consumo de oxigênio por quilograma por minuto; \* -Diferença do pré-treino para o pós-treino; #a - diferença do pós-treino para o destreino; †a - diferença do pré-treino para o Destreino.

Gráfico 20 - Dados da cinética de  $\dot{V}O_2$  de um atleta:  $A_p$  (fig. A);  $\tau$  (fig. B) e  $\dot{V}O_{2PICO}$  (fig. C) nos diferentes domínios de intensidade (moderada, supramáxima) e no Wod<sub>1</sub>, no Pré e Pós e DT

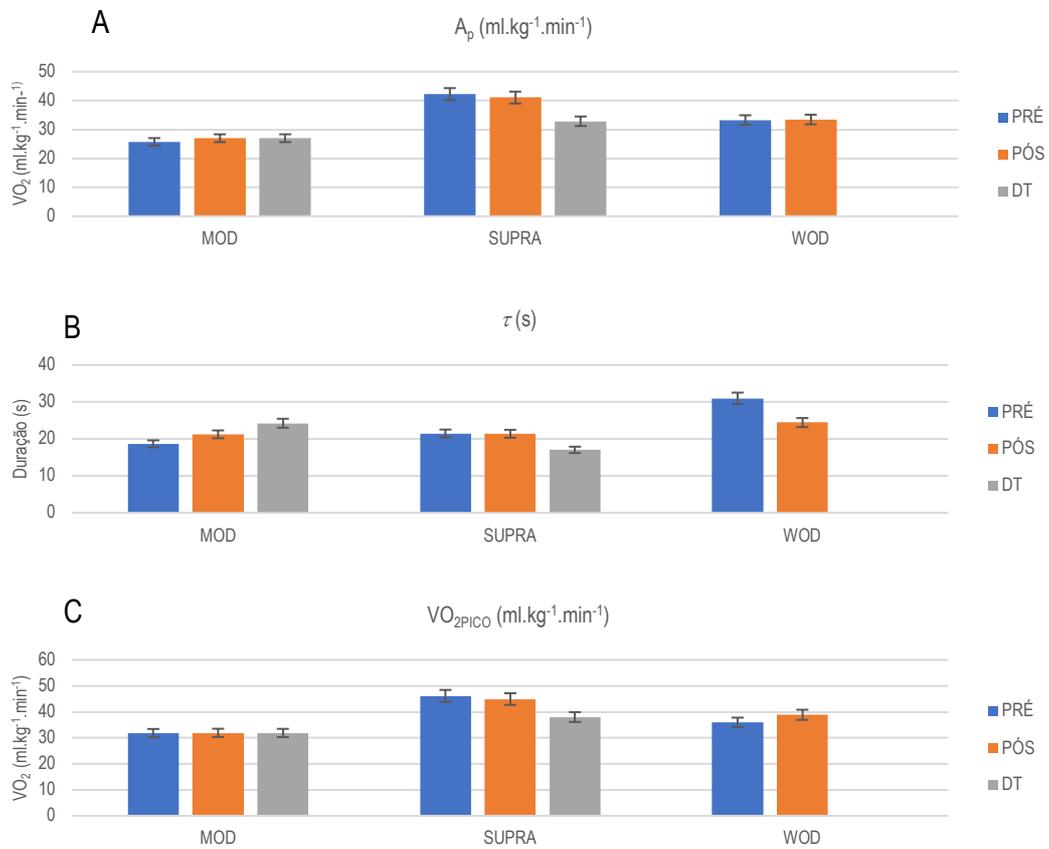


Gráfico 21 - Resposta do perfil de 3 atletas com um  $\dot{V}O_{2PICO}$  similar mas com  $\tau$  diferente (fig. A e B)

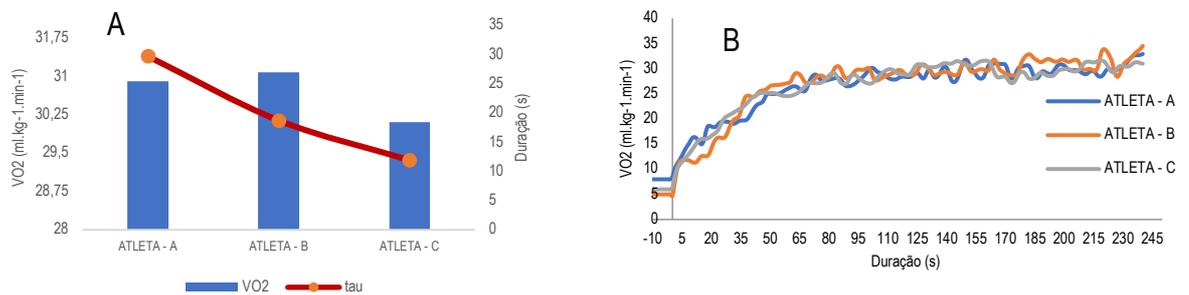


Tabela 22- Constante temporal ( $\tau$ ) na resposta on e off do  $\dot{V}O_2$  no domínio supramáximo e do Wod<sub>1</sub>

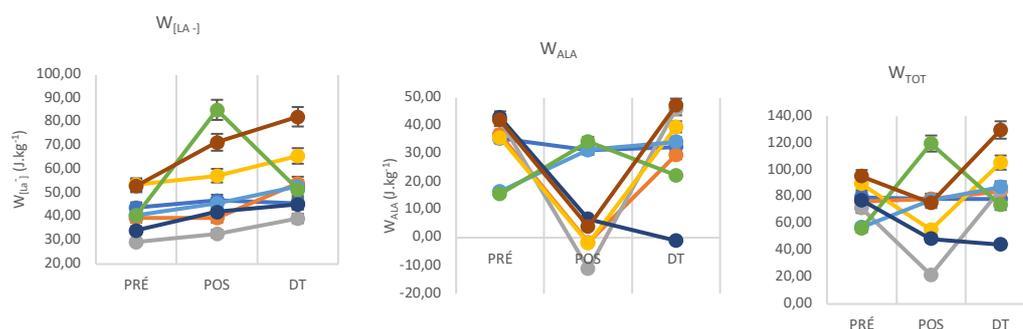
		ON			OFF		
		A <sub>p</sub>	$\tau_p$	$\tau_{CL}$	A <sub>p</sub>	$\tau_p$	$\tau_{CL}$
Supramáximo	Pré	42,94 ± 4,33	18,68 ± 4,54	64,15 ± 0,00	237,9 ± 1810,6	54,0 ± 15,1	72,23 ± 10,5
	Pós	42,38 ± 3,23	17,33 ± 6,62	64,15 ± 0,00	277,3 ± 1156,4	36,4 ± 31,3	65,9 ± 14,0
	DT	34,89 ± 2,67	20,32 ± 5,72	64,15 ± 0,00	1020,7 ± 922,6	69,2 ± 35,1	74,0 ± 20,3
Wod <sub>1</sub>	Pré	36,67 ± 3,47	23,23 ± 6,23	50,64 ± 25,07	390,4 ± 758,9	17,7 ± 15,7	80,4 ± 6,7
	Pós	33,75 ± 2,30	21,78 ± 6,05	64,15 ± 0,00	-36,9 ± 651,9	24,30 ± 35,32	68,62 ± 13,00

Na tabela 22 verificamos que foi possível constatar que, quer a A<sub>p</sub>, quer a  $\tau_p$  da  $\dot{V}O_{2OFF}$  não diferiu estatisticamente do pré para o pós treino ( $p=0,085$ ;  $p=0,233$ ) respetivamente, contudo houve uma diferença significativa do pós treino para o DT na A<sub>p</sub> ( $p=0,046$ ) e no  $\tau_p$  ( $p=0,018$ ). Podendo-se concluir que a intensidade de esforço físico pode interferir nas estratégias de modelação da resposta  $\dot{V}O_{2k OFF}$ , em que o primeiro componente (EPOC<sub>RAPIDO</sub>) mostra-se sensível a essa variável.

### CAPACIDADE ANAERÓBIA (CAN)

No que diz respeito aos valores dos parâmetros da CAN obtidos no teste supramáximo poder-se-á verificar que apenas foi encontrada diferença significativa do pré para o DT ao nível da  $W_{[La]}$  ( $p=0,002$ ).

Gráfico 22 – Contribuição energética da Capacidade Anaeróbia (J.kg<sup>-1</sup>) no teste supramáximo 110%VAM



Ao nível das contribuições energéticas no Wod<sub>1</sub>, tal como se pode verificar na tabela 23, obtivemos diferenças significativas com uma magnitude elevada ao nível da utilização do sistema aeróbio ( $p=0,002$ ; [+4,4%]) com valores do pré para o pós 72,23% vs. 75,44%.

Tabela 23 – Contribuição dos sistemas energéticos pré e pós treino de seis semanas no Wod<sub>1</sub>

Sistemas Energéticos		Contribuição relativa (%)	Contribuição absoluta (J.kg <sup>-1</sup> )
ANAERÓBIO ALÁTICO (W <sub>ALA</sub> )	Pré	13,48 ± 1,12	604,42 ± 53,62
	Pós	13,9 ± 1,57	598,77 ± 44,71
ANAERÓBIO LÁTICO (W <sub>LA</sub> )	Pré	14,29 ± 2,60	644,35 ± 134 ± 81
	Pós	10,67 ± 4,18 * (p=0,054)	468,40 ± 210,97
AERÓBIO (W <sub>AER</sub> )	Pré	72,23 ± 2,78	3254,10 ± 399,99
	Pós	75,44 ± 3,72* (p=0,002)	3285,07 ± 452,40

onde se lê: (Pré) pré-treino, (Pós) pós-treino

Gráfico 23 - Contribuição energética da Capacidade Anaeróbia (J.kg<sup>-1</sup>) no Wod<sub>1</sub>

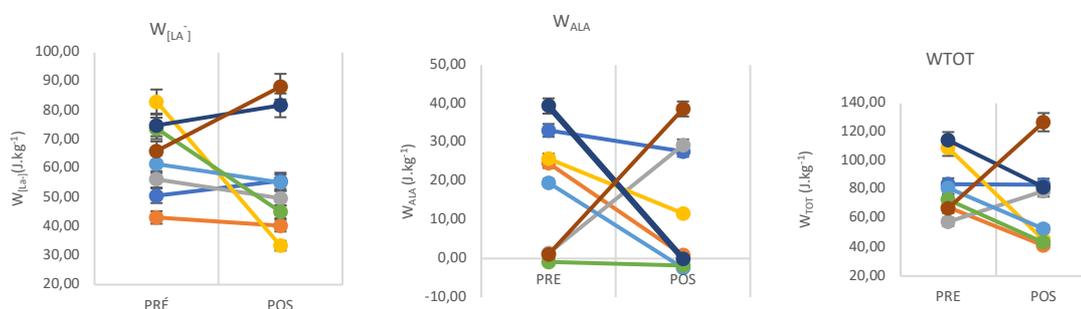
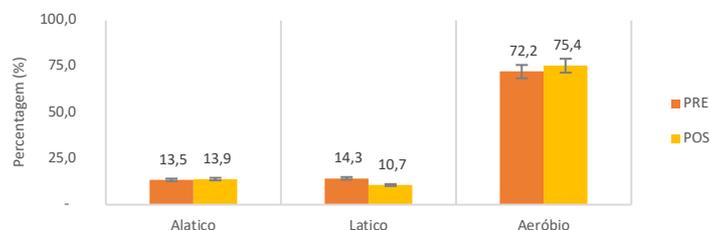


Gráfico 24 - Contribuição energética pré e pós treino no Wod<sub>1</sub>



### 4.2.3 Discussão

O objetivo desta investigação foi a de analisar os efeitos de seis semanas de treino e três semanas de DT de CrossFit® sobre os indicadores cardiorrespiratórios em atletas da modalidade. Os resultados aqui apresentados confirmam as nossas hipóteses de que uma programação de CrossFit® de seis semanas melhora significativamente o  $\dot{V}O_2$  e ainda a composição corporal em atletas.

Embora o treino de HIIT possa instigar à melhoria a composição corporal (Gibala & Jones, 2013; Gillen & Gibala, 2014; Tremblay, Simoneau, & Bouchard, 1994) e  $\dot{V}O_{2PICO}$  (Buchheit, Abbiss,

Peiffer, & Laursen, 2011; Stepto, Hawley, Dennis, & Hopkins, 1999; Trilk, Singhal, Bigelman, & Cureton, 2011) em adultos saudáveis, esta é a primeira pesquisa que mostra que benefícios similares podem ser obtidos usando a metodologia do CrossFit®.

Considerando o facto de que o CrossFit® é um tipo de treino recente e constituído pela combinação de TA e de força, o interesse na utilização deste tipo de treino para a melhoria da performance desportiva ou da condição física em geral ainda não tem merecido atenção por parte da comunidade científica ligada á área desportiva.

### **CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÉNIO ( $\dot{V}O_{2PICO}$ )**

O consumo de oxigénio ( $\dot{V}O_2$ ) é definido como um parâmetro de avaliação correspondente à taxa máxima de captação e utilização de  $O_2$  pelo organismo durante um esforço de grande intensidade prolongado no tempo (Costill et al., 2012; Denadai, 1995; Denadai et al., 2004). Quanto maior o consumo de  $O_2$ , maior será a produção de energia nesse intervalo de tempo (Barata et al., 1997).

É sabido que os TF e TA estimulam a adaptações fisiológicas para melhor otimização da aptidão física, quer ao nível da performance desportiva quer ao nível do desenvolvimento dos níveis de condição física geral (Bastiaans et al., 2001; Granier et al., 1995; Scott, Roby, Lohman, & Bunt, 1991). Habitualmente a realização de ambos os tipos de treino, ocorre em momentos distintos na periodização do treino em atletas de diferentes modalidades, inclusivamente naqueles em que as duas componentes físicas (força e resistência aeróbia) se manifestam de forma concomitante. Este processo pode ser justificado em virtude dos prováveis efeitos antagónicos e contraindicados provocados pelo treino em simultâneo das duas componentes, tanto a nível proteico, mitocondrial e capilar como enzimático. Contudo, parece que a adequada periodização em que estas duas componentes são treinadas em simultâneo, são determinantes para a ocorrência de adaptações fisiológicas da aptidão física (Chilibeck et al., 2002; McCarthy, Agre, Graf, Pozniak, & Vailas, 1995).

O presente estudo levou a um aumento significativo do  $\dot{V}O_{2PICO}$  em valores relativos e absolutos (+4,3% e 4,6% respetivamente). Dados que se enquadram com os dados reportados por Granier et al., (1995) e Weber & Schneider, (2002) com ganhos na ordem dos +4%, e com os de Hill & Smith, (1994) embora um pouco mais baixos, na ordem dos +2,2% e +2,7%.

De igual modo, apresentamos valores que vão ao encontro dos resultados citados por Laursen, et al., (2002), onde constatam que um curto período de treino de HIIT (seis a oito treinos em duas a quatro semanas) complementados com um volume elevado de treino em atletas treinados podem obter melhorias no desempenho entre +2% e +4%. Também os resultados apresentados por Bell et al., (2001); Laursen & Jenkins, (2002); Laursen, Shing, Peake, Coombes, & Jenkins, (2002) exibem valores semelhantes aos mencionados na presente investigação, com incrementos no  $\dot{V}O_{2PICO}$  (5,4 - 8,1%), e intensidade aeróbia pico (+4,7 e +6,2%). Resultados estes que demonstram a eficácia deste modelo de treino na melhoria da função cardiorrespiratória.

O aumento do  $\dot{V}O_{2PICO}$  pode-se dever ao incremento na capilarização sanguínea e na morfologia mitocondrial nos músculos exercitados, logo, ter ocasionado um aumento do potencial oxidativo celular (Boyd et al., 2013; Chilibeck, Bell, Socha, & Martin, 1998; Ferketich et al., 1998; Jacobs et al., 2013), ou seja, se o número de mitocôndrias for ampliado, pode ser sintetizada mais energia a ser utilizada pelos músculos. Este aumento do  $\dot{V}O_{2PICO}$ , bem como de outras variáveis fisiológicas, podem depender de outros fatores, entre os quais se inclui o grau de resposta do organismo a determinado estímulo (janela de adaptação) (Newton et al., 2002). A tendência para um maior aumento do  $\dot{V}O_{2PICO}$  pode ser também o resultado do aumento da capilarização das fibras musculares que parecem aumentar na resposta a este tipo de treino (Ferketich et al., 1998).

Essas melhorias após treino de CrossFit®, podem ser atribuídas a adaptações centrais entre as quais estão a melhoria da eficiência do músculo cardíaco (aumento do volume sistólico [VS], débito cardíaco [ $\dot{Q}$ ], perfusão do miocárdio), quer a adaptações periféricas, que se repartem em: 1) metabólicas (aumento da capilarização muscular esquelética, atividade enzimática a nível oxidativo e aumento do conteúdo de mioglobina), 2) neuromusculares (aumento da força máxima e resistente, frequência de ativação, sincronização e padrão de ativação das unidades motoras (UM); 3) morfológicas (aumento da secção transversal do músculo, alteração das fibras do tipo IIx em IIa). Estudos sobre os efeitos centrais (Astorino, Allen, Roberson, & Jurancich, 2012; Macpherson, Hazell, Olver, Paterson, & Lemon, 2011; Trilk et al., 2011) são mais limitados e ambíguos do que os efeitos acerca da capacidade oxidativa muscular (Burgomaster et al., 2008, 2006, 2005)

Os dados do presente estudo vão de encontro aos apresentados por Borrani et al., (2001); Burgomaster et al., (2008); Nybo et al., (2010); Whipp & Ward, (1992); Zoladz, Gladden, Hogan, Nieckarz, & Grassi, (2008) em que apresentaram melhorias no  $\dot{V}O_{2PICO}$  e na aptidão cardiovascular total após o HIIT. Para uma melhor análise e entendimento da eventualidade do  $\dot{V}O_{2PICO}$  ser modificado em resposta a um programa de treino CrossFit®, convém ser debatido o comportamento do  $\dot{V}O_2$  durante diferentes protocolos de TF, onde se poderá manipular a intensidade (sobrecarga), o volume (repetições e séries) e a pausa entre os exercícios. Isto porque durante a realização do TF ocorrem alterações fisiológicas agudas, sendo que a magnitude destas é influenciada por variáveis características do tipo de treino (tipo e intensidade do exercício, números de repetições, duração das pausas). Portanto, a natureza dos estímulos e o tipo de respostas agudas decorrentes de uma sessão de TF acabam por condicionar o tipo de adaptação crónica resultante do mesmo. Essas adaptações parecem ser decorrentes sobretudo pelo TA que compõe parte da sessão deste tipo de treino. Também o EEML e a economia metabólica parecem ser alterados com o treino concorrente ou o treino de CrossFit®.

De acordo com Granier et al., (1995) o treino concorrente realizado durante 16 semanas por remadores levou a um aumento médio de 4% do  $\dot{V}O_{2PICO}$  (TA foi realizado em remoergómetro de forma contínua e intervalada). Já Scott et al., (1991) mencionaram que o treino misto de 12 semanas levou a um aumento médio de 8% (mulheres) e 7% (homens). Segundo Bertuzzi et al., (2008) revelam que através da inserção do TF explosiva e as alterações neuromusculares decorrentes, em atletas de resistência, não inibem o rendimento físico e sugerem ainda que o desempenho aeróbio pode ser limitado não somente por fatores centrais relacionados ao  $\dot{V}O_{2PICO}$ , mas também por fatores relacionados à potência muscular.

Uma grande parte de estudos conduzem à existência de um aumento acentuado no  $\dot{V}O_{2PICO}$ , capacidade oxidativa do músculo esquelético e outros marcadores de condição física (por exemplo, saltos verticais, sprints) envolvendo treinos de HIIT em duas a três semanas (Bogdanis, 2012; Buchan et al., 2013; Jacobs et al., 2013; Tjonna et al., 2009, 2013). Embora haja evidências de ganhos no  $\dot{V}O_{2PICO}$  a intensidades mais baixas (Boyd et al., 2013), os resultados mais efetivas no aumento do  $\dot{V}O_{2PICO}$ , são obtidos com treino a intensidades máximas ou próximas das máximas (Buchan et al., 2013; Buchheit & Laursen, 2013a, 2013b; Burgomaster et al., 2006; Chang, Buschbacher, & Edlich, 1987; Gibala & Ballantyne, 2007; Gibala & Jones, 2013; Laursen, 2010; Laursen & Jenkins, 2002; Moholdt et al., 2014; Skelly et al., 2014). De acordo com Matsuo et al., (2014) o  $\dot{V}O_{2PICO}$ , após cinco treinos semanais num

período de oito semanas de treino, aumentou  $22,5 \pm 12,2\%$  no grupo HIIT (3x3min a 85-90%  $\dot{V}O_{2PICO}$  com recuperação ativa de dois minutos) quando comparado com o grupo de treino contínuo ( $+10 \pm 8,9\%$ ).

Muitas das diferenças obtidas do pré para o pós treino no estudo atual não são muito elevadas, visto que, em atletas altamente treinados, por si só já têm uma alta capacidade aeróbia, LL e grande economia de movimentos (Hawley, Myburgh, Noakes, & Dennis, 1997; Laursen & Jenkins, 2002; Wells & Pate, 1988). Logo, as adaptações fisiológicas geralmente apresentam melhores índices em população não treinada ou recreacionais (Blomqvist & Saltin, 1983; Green, Jones, & Painter, 1990) podendo não ser aplicado a atletas altamente treinados (Weston et al., 1996). De facto, em atletas treinados, o aumento adicional no volume do treino não aparenta aumentar ainda mais as variáveis  $\dot{V}O_{2PICO}$ , EEML, economia de esforço e nas enzimas oxidativas musculares (Costill et al., 1988; Londeree, 1997).

No respeitante aos efeitos do treino, um dos argumentos que possam explicar a diminuição do  $\dot{V}O_{2PICO}$  no treino do remo poderá ser a redução da densidade mitocondrial próximas do sarcolema e das que se encontram na célula dos músculos (Chilibeck et al., 1999, 2002), mecanismo de adaptação oposto ao que ocorre em resposta ao treino de natureza aeróbia (Bizeau, Willis, & Hazel, 1998), ou seja, a hipertrofia muscular decorrente do tipo de treino de CrossFit® irá incutir a uma redução das mitocôndrias relativamente à área muscular, logo, a uma importante redução do potencial oxidativo muscular (Tesch, Komi, & Häkkinen, 1987).

### **CINÉTICA DE CONSUMO DE OXIGÉNIO ( $\dot{V}O_{2K}$ )**

A cinética é o estudo da alteração de uma variável em ordem ao tempo, neste caso a variável é o oxigénio. Desta forma, a  $\dot{V}O_{2k}$  tem sido sugerida como um importante parâmetro de avaliação da capacidade aeróbia dos atletas e permite verificar os mecanismos fisiológicos responsáveis pela dinâmica da resposta do consumo de oxigénio ao exercício e subsequente recuperação, assim como a sua capacidade de tolerância ao exercício (Jones & Poole, 2005).

A  $\dot{V}O_{2k}$  proporciona informação relacionada com a eficiência e condicionalismo de vários sistemas integrados e as variáveis reveladas pela modelação da resposta da  $\dot{V}O_{2k}$  têm sido evidenciadas como importantes para o desempenho físico durante exercícios de alta intensidade (Doherty, 1998; Doherty, Smith, & Schroder, 2000; Zagatto et al., 2011). O seu entendimento e a determinação dos limiares ventilatórios ( $L_{V1}$  e  $L_{V2}$ ) são fundamentais quer para

a metodologia do treino e quer para o sucesso competitivo no desporto (Astrand, 2003; Bangsbo et al., 2000; Billat, 2001b, 2001a; Saltin, Kim, et al., 1995; Saltin, Larsen, et al., 1995).

De acordo com Bertuzzi, Silva, Abad, & Pires, (2009) tem sido alegado que a cinética do  $\dot{V}O_2$  é importante para exercícios cíclicos de elevada intensidade com uma duração superior a 60s, existindo um assumir de funções por parte do sistema oxidativo, ao transferir a energia química contida nos substratos energéticos para os mecanismos de contração muscular. O que sugere que os atletas com uma cinética mais rápida consigam alcançar o  $\dot{V}O_{2PICO}$  de forma mais rápida, ocasionando um pequeno DefO<sub>2</sub>, acumulando menos lactato, retardar a fadiga, logo uma melhor tolerância ao exercício (Jones, Wilkerson, Vanhatalo, & Burnley, 2008).

A literatura tem dado primazia ao estudo de intensidades de esforço baixas e moderadas sendo parca no que concerne aos domínios de intensidade mais elevados, os quais são os representativos da intensidade utilizados em competição. Adicionalmente, os estudos existentes decorreram em condições laboratoriais (por ex., cicloergómetro e passadeira). Têm também existido alguns estudos em intensidades elevadas e em condições tão próximas quanto possível das condições reais da natação (Reis et al., 2012); escalada (Bertuzzi et al., 2007) corrida (Bertuzzi et al., 2007; Doherty, 1998; Hill et al., 2002; Kalva-Filho et al., 2015; Reis et al., 2012; Zagatto et al., 2011).

Quando se compara a  $\dot{V}O_{2k}$  em diferentes domínios de intensidade, existem dados na literatura muito divergentes. De acordo com Denadai & Caputo, (2003), a  $\dot{V}O_{2k}$  dentro de cada domínio de intensidade é supostamente independentemente da intensidade do exercício. De acordo com Jones & Burnley, (2009) a magnitude e cariz do ajuste no  $\dot{V}O_2$  no início de qualquer exercício físico dependem fortemente da intensidade a que o esforço é realizado. Quando o exercício é executado a intensidade moderada, o  $\dot{V}O_2$  atinge um rápido estado de equilíbrio (*steady state*) após uma única fase de crescimento, denominada componente rápida (Burnley & Jones, 2007).

Já a uma intensidade elevada (acima do EEML), a  $\dot{V}O_{2k}$  revela a existência de uma nova fase – a componente lenta ( $c_L$ ), que exibe uma menor eficiência muscular levando à fadiga (Jones, Grassi, Christensen, Krustup, & Bangsbo, 2011; Zoladz et al., 2008) retardando o aparecimento da estabilização do  $\dot{V}O_2$  (Barstow & Molé, 1991). Assim sendo, pode supor-se que um melhor desempenho poderá estar associado a uma menor componente lenta ( $c_L$ ). A intensidade de exercício abaixo do EEML caracteriza-se pela existência de três fases distintas: cardiodinâmica,

rápida e a estabilização do  $\dot{V}O_2$  que surge três minutos após o início do exercício (Jones & Poole, 2013; Xu & Rhodes, 1999). Não obstante, os investigadores Bertuzzi et al., (2010) e Özyener et al., (2001) referem que as intensidades moderadas são melhor descritas por modelações monoexponenciais, ao invés, as intensidades elevadas (domínios de intensidade elevado e severo) são melhor caracterizadas por ajustes bi-exponenciais.

Billat et al., (2000) e Hill et al., (2002) verificaram que durante exercícios supramáximos a cinética era mais rápida. Contudo, Barstow et al., (1993) e Barstow & Molé, (1991) afirmaram não existirem diferenças ao nível da componente rápida entre intensidades moderadas e pesadas ou severas. Já Carter et al., (2002), num estudo com atletas de corrida, não observaram quaisquer diferenças na cinética entre os diferentes domínios de intensidade. Dados idênticos foram os achados por Domingos, (2014) entre intensidades pesadas e severas durante a corrida. No que concerne a intensidades próximas ou acima do  $\dot{V}O_{2PICO}$  existem poucos dados na literatura relativamente à  $\dot{V}O_{2k}$  e mesmo esses, mostram-se contraditórios.

Os autores Maldonado-Martin et al., (2004) propuseram que a taxa de aumento no  $\dot{V}O_2$  para intensidades acima do  $\dot{V}O_{2PICO}$  seria proporcional à diferença entre o  $\dot{V}O_2$  solicitado e o  $\dot{V}O_2$  medido. Todavia, verificaram que não existiram diferenças no  $\tau_p$  em intensidades que determinam a exaustão entre os 30s-120s e nas intensidades durante o exercício submáximo. Contradizendo com estes dados Hebestreit, Kriemler, Hughson, & Bar-Or, (1998) observaram uma cinética mais rápida a 100-130%  $\dot{V}O_{2PICO}$  em jovens e adultos, muito embora, o procedimento de ajuste da curva possa ter causado uma aparente aceleração da  $\dot{V}O_{2k}$  em intensidades maiores. Já Hughson, O'Leary, Betik, & Hebestreit, (2000) apontaram uma  $\dot{V}O_{2k}$  mais lenta no domínio extremo (96-125%  $\dot{V}O_{2PICO}$ ) quando usaram o modelo de ajuste semi-logarítmico em comparação com o ajuste do modelo exponencial, especulando que a oferta de  $O_2$  poderá limitar a  $\dot{V}O_{2k}$  nas intensidades mais elevadas.

No que aos parâmetros cinéticos diz respeito ( $A_p$ ;  $\tau_p$ ;  $\dot{V}O_{2PICO}$ ) (gráfico 20 - fig. A, B e C), verificamos que os mesmos são significativamente diferentes entre os testes a diferentes intensidades de exercício estudadas. Os valores da  $A_p$  reforçam os que são apresentados na literatura no domínio moderado (Barstow & Molé, 1991; Billat, Hamard, & Koralsztein, 2002; Pereira, 2014; Whipp & Ward, 1990) e no domínio supramáximo (Hill et al., 2002). A tendência para que a amplitude tenha valores mais elevados no domínio de intensidade supramáxima reforça os dados induzidos pela literatura (Billat et al., 2002; Carter et al., 2002; Weston et al.,

1996; Whipp & Ward, 1990) já que as diferenças verificadas poder-se-ão dever aos valores mais elevados do  $\dot{V}O_2$  alcançados no domínio supramáximo, pois à medida em que a intensidade de esforço aumenta, o ganho na amplitude é maior.

Não foram encontradas correlações do  $\tau_p$  com o  $\dot{V}O_{2PICO}$  ( $r=0,07$ ;  $p=-0,80$  e  $r=-0,09$ ;  $p=0,82$  para intensidade moderada e supramáxima respetivamente). De acordo com Whipp et al., (2002) afirmaram que o  $\tau_p$  não é um bom preditor de nível de aptidão individual. Apenas no DT (teste supramáximo) foi encontrada correlação negativa do  $\dot{V}O_{2PICO}$  com o  $\tau_p$  ( $r= -0,88$ ;  $p=0,020$ ). No que diz respeito à  $A_p$ , foram encontradas correlações em todos os testes ( $r=,69$ ;  $p=0,003$  [progressivo e Wod];  $r=0,92$ ;  $p=0,004$  [supramáximo]). De acordo com Reis, (2011), estudos anteriores demonstraram que indivíduos com  $\tau$  similar podiam ter valores diferentes de  $\dot{V}O_{2PICO}$  e o inverso também seria possível, em indivíduos com  $\dot{V}O_{2PICO}$  semelhante poderiam apresentar amplas variações de  $t$ .

No presente estudo obtivemos valores de três atletas com  $\dot{V}O_{2PICO}$  semelhante de 30-32ml.kg<sup>-1</sup>min<sup>-1</sup> e em que apresentaram um  $\tau_p$  de 11,9s - 29,7s conforme apresentado no gráfico 21 (fig. A e B) que está de acordo com os resultados apresentados por Whipp et al., (2002), em que os atletas de  $\dot{V}O_{2PICO}$  semelhante tiveram grande diferenças do  $\tau_p$ . O facto de não se observar uma relação significativa entre  $\dot{V}O_{2PICO}$  e o  $\tau_p$  não é surpreendente, na medida em que as referidas variáveis são sensíveis às adaptações do treino (Demarle et al., 2001; Norris & Petersen, 1998).

Os resultados obtidos estudo aparentam comprovar que a  $\dot{V}O_{2k}$ ,  $\dot{V}O_{2PICO}$  e  $L_{V2}$  são apoiadas em diferentes mecanismos fisiológicos, ou seja, para exercícios envolvendo grandes massas musculares, o consumo máximo de oxigénio é determinado por mecanismos centrais (Saltin & Strange, 1992), sugerindo deste modo que o valor de  $\dot{V}O_{2PICO}$  não é o fator determinante do  $\tau_p$ . Deste modo um  $\tau_p$  mais lento num exercício de intensidade elevada (máxima) apontam para uma redução no  $O_2$  disponível, aumentando deste modo o  $[La^-]$  e a diminuição do pH (Macdonald, Pedersen, & Hughson, 1997; Paterson & Whipp, 1991).

### **Cinética de recuperação ( $\dot{V}O_{2kOFF}$ )**

Relativamente á cinética de recuperação do  $\dot{V}O_2$  ( $\dot{V}O_{2kOFF}$ ) a literatura mostra-nos que a intensidade possui uma maior influência entre os fatores relacionados ao exercício. A  $\dot{V}O_{2kOFF}$  é influenciado(a) por todos os fatores responsáveis pela alteração da respiração mitocondrial,

já que a mitocôndria representa o sítio do consumo de  $O_2$  na célula (Gaesser & Brooks, 1984). Entretanto a cinética de ressíntese de CP e os níveis de ADP intramitocondrial são os que apresentam maior relação com a curva de EPOC. O  $EPOC_{RAPIDO}$  é uma das medidas fisiológicas que tem sido usada para estimar a contribuição da  $W_{PCR}$  durante o exercício físico (Beneke et al., 2004, 2002; Bertuzzi, 2008; Francescato, Talon, & Di Prampero, 1995; Scott, 2006a, 2006b). Do ponto de vista temporal, tal como o aumento dos valores de repouso do  $\dot{V}O_2$  na parte inicial do esforço físico, também eles se mantêm elevados após o final do exercício ( $\dot{V}O_{2KOFF}$ ).

A  $\dot{V}O_{2KOFF}$  é habitualmente subdividida em duas partes que completam a recuperação: 1) uma denominada rápida, ocorrida logo nos primeiros 2-3 minutos do período de recuperação, e 2) outra lenta, que pode ser estendida por mais tempo (~30 minutos ou mais). Esta divisão fundamentou-se no princípio de que durante a componente rápida, o oxigénio em excesso estaria relacionado à ressíntese de ATP-CP muscular, enquanto durante a componente lenta, o oxigénio em excesso estaria ligado à conversão oxidativa do lactato acumulado em glicose e, desta forma, recuperar as reservas de glicogénio.

Entre os demais achados deste estudo, foi possível constatar que quer a  $A_p$  quer a  $\tau_p$  da  $\dot{V}O_{2KOFF}$  não diferiu estatisticamente do pré para o pós treino ( $p=0,085$ ;  $p=0,233$ ) respetivamente, contudo houve uma diferença significativa do pós treino para o DT na  $A_p$  ( $p=0,046$ ) e no  $\tau_p$  ( $p=0,018$ ). Podendo-se concluir que a intensidade de esforço físico pode interferir nas estratégias de modelação da resposta  $\dot{V}O_{2KOFF}$ , em que o primeiro componente ( $EPOC_{RAPIDO}$ ) mostra-se sensível a essa variável. Tem que se ter em conta que estas diferenças poder-se-ão dever a: 1) os testes de cargas contantes (110%VAM) são realizadas em sessões experimentais distintas; 2) a determinação da intensidade do esforço é frequentemente realizada por meios dos domínios metabólicos; 3) é frequente a aplicação de um filtro na resposta da respiração-a-respiração de modo a evitar possíveis ruídos (média de tempo a “x” segundos ou interpolação a cada segundo) (Bertuzzi, 2008).

Uma vez que o  $\tau_p$  reflete a taxa em que o  $\dot{V}O_2$  atinge o seu “steady state”, o valor mais lento do  $\tau_p$  pode ser devido a uma menor capacidade oxidativa do músculo. De acordo com Greenhaff, (2001); Greenhaff & Timmons, (1998) a degradação CP não ocorre apenas para a manutenção de oferta do ATP durante os exercícios de curta duração a uma intensidade elevada. Logo, o comportamento das contribuições do  $W_{[La]}$  e  $W_{ALA}$  durante exercícios de carga constante aumenta as hipóteses relativas entre o  $W_{ALA}$  e o metabolismo oxidativo no início e durante o

exercício moderado, onde a ativação do metabolismo oxidativo é dependente da degradação da ATP-CP na fase inicial do exercício (Rossiter et al., 2002) levando a que o aumento das concentrações de ADP, Pi e da creatina na forma livre sejam responsáveis pela regulação da respiração mitocondrial (Greenhaff, 2001; Rossiter et al., 1999; Walsh et al., 2001). Esta viabilidade dá-se porque a CP tem a capacidade de atuar como um condutor de energia mediante o “creatine shuttle”.

Como se previa no Wod, apenas se verificou a componente rápida, uma vez que a carga não sendo constante (realizada uma intensidade máxima), induziu a um aumento exponencial na  $\dot{V}O_{2k}$ , não permitindo o desenvolvimento da  $\dot{V}O_{2CL}$  (Burnley & Jones, 2007; Whipp, 1994).

### **Parâmetros cinéticos on e off**

Embora tenha sido observado um paralelismo na resposta on/off da  $\dot{V}O_{2k}$ , no Wod<sub>1</sub> a uma intensidade elevada (<120s), observaram-se diferenças entre os parâmetros cinéticos on e off do  $\dot{V}O_2$ . Um valor alto da  $\tau_{pOFF}$ , são corroborados com os dados no domínio pesado (Cleuziou et al., 2004; Sousa et al., 2011; Yano, Yunoki, Matsuura, Arimitsu, & Kimura, 2007) contudo outros estudos relataram o oposto (Engelen et al., 1996; Özyener et al., 2001; Scheuermann, Hoelting, Noble, & Barstow, 2001), bem como para domínio moderado (Paterson & Whipp, 1991). No domínio intenso Billat et al., (2002); Özyener et al., (2001) não descreveram diferenças da  $\tau_p$  ao nível on e off.

De acordo com Casaburi et al., (1987); Koppo, Bouckaert, & Jones, (2004); Phillips et al., (1995) a  $\dot{V}O_{2k}$  é influenciada pelo treino, onde a  $\dot{V}O_{2k}$  mais rápida é verificada em indivíduos treinados. Com efeito o treino parece alterar as características do tipo de fibra muscular, densidade mitocondrial, atividade enzimática oxidativa, disponibilidade de oxigénio, densidade capilar e perfusão muscular (Koppo et al., 2004) evidenciando diferenças entre atletas treinados e não treinados. Embora o objetivo do estudo não tenha sido este, a velocidade elevada para a realização do Wod, tenha levado a um aumento mais rápido das exigências de ATP e acumulação de [La<sup>-</sup>], uma vez que o padrão da contribuição das fibras musculares I e II parece ser restabelecido sem atrasos (Cunningham, Croix, Ozyener, & Whipp, 2000).

O que diz respeito à  $A_p$  do  $\dot{V}O_2$ , o valor médio mais elevado da  $A_{pOFF}$  quando comparado com a  $A_{pON}$ , não coincide com os dados relativos a intensidades moderadas e pesadas (Cleuziou et

al., 2004), nem para intensidades severas (Perrey, Candau, Borrani, Millet, & Rouillon, 2002) onde não apresentavam diferenças significativas entre os valores médios da  $A_{pON}$  e  $A_{pOFF}$ .

#### 4.2.4 Conclusão

O HIIT tem sido usado por atletas e treinadores com o intuito da melhoria da performance desportiva, porém a sua eficácia para melhorar os resultados relacionados à saúde tem recentemente gerado nova curiosidade (Kessler et al., 2012). Contudo, o HIIT normalmente realizado em 85-95% $FC_{MAX}$ , provoca melhorias na captação máxima de oxigénio ligeiramente maior do que é tipicamente relatado com treino contínuo em adultos saudáveis e ativos (Bacon et al., 2013). Os resultados conseguidos no presente estudo sugerem que seis semanas de CrossFit®, induzem a modificações positivas nos indicadores cardiorrespiratórios e metabólicos.

No que diz respeito ao DT, este sugere que um período de três semanas é suficiente para provocar perdas significativas nos parâmetros cardiorrespiratórios, antropométricos e performance desportiva.

As adaptações fisiológicas adquiridas com o treino de CrossFit® são responsáveis pelo melhor aproveitamento do oxigénio pelos músculos esqueléticos, oferecendo ao atleta uma maior capacidade de performance numa maior intensidade e por um tempo mais prolongado. No entanto, essas adaptações são revertidas após um período de DT, provocando uma redução do  $\dot{V}O_2$ , aumento de  $[La^-]$  consequentemente, redução do desempenho do atleta.

O curso temporal e a magnitude de perda das adaptações adquiridas com o treino são controversos na literatura. A maioria dos estudos mostra que, as principais perdas ocorrem no período compreendido entre a segunda e a quarta semana de DT.



## V. **CAPÍTULO - CONCLUSÕES**

*Este capítulo apresenta as conclusões gerais desta investigação, com base nos resultados obtidos, e apresenta sugestões para futuros trabalhos científicos.*



## 5.1 Introdução

Neste capítulo final são apresentadas as principais conclusões e indicações baseadas nos resultados referidos no capítulo anterior (Capítulo IV) relativos às principais variáveis que fundamentaram esta investigação.

Partindo dos objetivos que fundamentaram e orientaram toda a investigação, procuraremos, neste capítulo, responder, de forma clara e sucinta, às hipóteses de estudo colocadas inicialmente.

Procurámos, sempre que possível, retirar dos resultados obtidos, ilações e recomendações práticas e aplicativas que possam vir a ser consideradas no processo de preparação de diferentes populações de atletas da modalidade de CrossFit®.

Finalmente, em sequência das experiências vividas, limitações observadas e expectativas criadas ao longo da realização desta investigação, desde as fases inicial e final de recolha de dados, de execução do processo de treino, de análise, interpretação e reflexão dos resultados alusivos aos testes realizados até a elaboração da redação do texto final, concluímos esta dissertação com algumas recomendações e hipóteses de investigação futuras.

## 5.2 Principais conclusões da investigação

Este é o primeiro estudo a analisar o custo metabólico em treino de CrossFit® através do  $\dot{V}O_2$ , da  $\dot{V}O_{2k}$ , FC e  $[La^-]$  no pré, durante e pós treino, usando exercícios reais. De acordo com as hipóteses iniciais de estudo, a nossa investigação permitiu concluir o seguinte:

- O CrossFit® apresenta-se como um treino com características predominantemente aeróbias, o que sublinha a importância do treino de resistência aeróbia e de força resistente para o atleta. A contribuição do sistema anaeróbio resulta de exercícios de alta intensidade ao nível de lactato sanguíneo  $[La^-]$ . A maioria dos estudos têm mostrando que a intensidade de esforço, quando perto da capacidade cardiorrespiratória máxima resulta num aumento do stress e, portanto, maiores adaptações metabólicas e cardiorrespiratórias;
- O aumento da componente aeróbia poderá ser entendida de tal importância de forma a atender a solicitação fisiológica dos treinos intensos de CrossFit®, uma vez que os valores elevados permitem manter o atleta numa intensidade elevada de modo a retardar o processo de fadiga. A restrição do valor do sistema energético anaeróbio poderá ser

explicada pela quantidade de energia que pode ser ressintetizada quando comparada com as reservas do sistema aeróbio, embora a taxa de libertação de energia do sistema anaeróbio seja maior. Um dado interessante é que a contribuição aeróbia mostra-se superior, seja num Wod longo (Wod<sub>1</sub>), seja no Wod mais curto (Wod<sub>2</sub>);

- A metodologia usada no CrossFit® não é fator limitador para o aumento do  $\dot{V}O_{2PICO}$  em atletas, sendo que as adaptações neuromusculares promovidas pelo treino da modalidade possam ter um papel fundamental nas adaptações fomentadas pelo treino;
- O aumento significativo do  $\dot{V}O_{2PICO}$  apresentado pelos atletas mostrou ser influenciado por fatores periféricos (metabólicos e neuromusculares) e centrais (cardiovasculares). Sendo que o tipo de metodologia (variação de treino) poderá ser potenciador da adaptação dos mesmo fatores. Logo, ser um modelo adequado para aumento progressivo da componente aeróbia, a qual se torna indispensável para a melhoria da condição física e melhoria da performance;
- Na resposta cardiovascular aguda, o treino de CrossFit® apresenta valores em concordância pelos delineados pelo ACSM;

### 5.3 Implicações práticas

A constante variação da natureza do treino de CrossFit® leva a diversas adaptações fisiológicas, podendo aumentar o consumo de oxigénio em intensidades máximas de esforço de modo a que não haja diminuição da velocidade de resposta aeróbia e levando a melhorias na composição corporal. O aumento da capacidade aeróbia dos atletas foi semelhante aos dados relatados por (Burgomaster et al., 2005; Tremblay et al., 1994). Ou seja, em sujeitos com variados níveis de condição física conseguirão obter melhorias a nível aeróbio como da composição corporal. Além disso, estes dados podem ser significativos para os atletas que desejam melhorar seu desempenho aeróbio. Muito embora um TA seja principalmente em exercícios de longos, podemos propor que o treino de CrossFit® possa ser usado para esses objetivos. Além do mais, este tipo de treino requer menos tempo quando comparado com o tradicional e poderá servir como acréscimo benéfico e prática a um regime de treino focado na melhoria da aptidão física e/ou da composição corporal em adultos saudáveis.

Pode também ser facilmente adaptado para atender aos resultados especificamente desejados (condição física geral, força, TA, melhoria da performance...). Também pode ser adequado para investigadores que atendam analisar os efeitos na saúde e a nível cognitivo, permitindo

momentos complementares para a investigação de efeitos transitórios do treino em tais resultados devido ao seu padrão de frequência de exercício.

#### **5.4 Recomendações para Futuras Investigações**

Pesquisas futuras devem avaliar os efeitos do CrossFit® em diferentes faixas etárias e em indivíduos com diferentes níveis atléticos, particularmente comparando com o HIIT com outros programas de intensidade elevada.

Existe a necessidade de estudar separadamente homens e mulheres praticantes regulares da modalidade e alargar a amostra de estudo a outros desafios (Wod's) com diferentes durações e exercícios.



## **VI. CAPÍTULO - BIBLIOGRAFIA**

*Este capítulo apresenta todas as referências que fundamentam e suportam esta dissertação.*



- Aaltonen, S., Leskinen, T., Morris, T., Alen, M., Kaprio, J., Liukkonen, J., & Kujala, U. (2012). Motives for and barriers to physical activity in twin pairs discordant for leisure time physical activity for 30 years. *International Journal of Sports Medicine*, 33(02), 157–163.
- Achten, J., & Jeukendrup, A. (2003). Heart rate monitoring. *Sports Medicine*, 33(7), 517–538.
- Ades, P., Savage, P., Cress, M., Brochu, M., Lee, N., & Poehlman, E. (2003). Resistance training on physical performance in disabled older female cardiac patients. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(8), 1265.
- Alexiou, H., & Coutts, A. (2008). A comparison of methods used for quantifying internal training load in women soccer players. *Int J Sports Physiol Perform*, 3(3), 320–330.
- Allen, G. (1989). Physiological and metabolic changes with six weeks detraining. *Australian Journal of Science and Medicine*, 21(1), 4–9.
- Allen, T., Byrd, R., & Smith, D. (1976). Hemodynamic consequences of circuit weight training. *Research Quarterly. American Alliance for Health, Physical Education and Recreation*, 47(3), 299–306.
- Alves, F. (2006). A síndrome do sobretreino. In *Fadiga e desempenho: uma perspectiva multidisciplinar* (pp. 55–68). Lisboa: FMH Edições.
- Andersen, L., Andersen, J., Magnusson, S., & Aagaard, P. (2005). Neuromuscular adaptations to detraining following resistance training in previously untrained subjects. *European Journal Applied Physiology*, 93(5–6), 511–518. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1297-9>
- Andersen, L., Tufekovic, G., Zebis, M., Crameri, R., Verlaan, G., Kjaer, M., ... Aagaard, P. (2005). The effect of resistance training combined with timed ingestion of protein on muscle fiber size and muscle strength. *Metabolism*, 54(2), 151–156. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2004.07.012>
- Arciero, P., Gentile, C., Martin-Pressman, R., Ormsbee, M., Everett, M., Zwicky, L., & Steele, C. (2006). Increased dietary protein and combined high intensity aerobic and resistance exercise improves body fat distribution and cardiovascular risk factors. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 16(4), 373.
- Arciero, P., Gentile, C., Pressman, R., Everett, M., Ormsbee, M., Martin, J., ... Vukovich, M. (2008). Moderate protein intake improves total and regional body composition and insulin sensitivity in overweight adults. *Metabolism Clinical and Experimental*, 57, 757–765.
- Arciero, P., Smith, D., & Calles-Escandon, J. (1998). Effects of short-term inactivity on glucose tolerance, energy expenditure, and blood flow in trained subjects. *Journal of Applied Physiology (1985)*, 84(4), 1365–1373.

- Arts, F., & Kuipers, H. (1994). The relation between power output, oxygen uptake and heart rate in male athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 15(05), 228–231.
- Assadi, H., & Lepers, R. (2012). Comparison of the 45-second/15-second intermittent running field test and the continuous treadmill test. *Int J Sports Physiol Perform*, 7(3), 277–284.
- Astorino, T. A., Allen, R. P., Roberson, D. W., & Jurancich, M. (2012). Effect of high-intensity interval training on cardiovascular function, VO<sub>2</sub>max, and muscular force. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(1), 138–145.
- Åstrand, I., Åstrand, P., Christensen, E. H., & Hedman, R. (1960). Intermittent muscular work. *Acta Physiologica*, 48(3-4), 448–453.
- Astrand, P. (2003). *Textbook of work physiology: physiological bases of exercise*. Human Kinetics.
- Babiash, P. (2013). *Determining the Energy Expenditure and Relative Intensity of Two Crossfit Workouts*. University of Wisconsin.
- Babraj, J., Vollaard, N., Keast, C., Guppy, F., Cottrell, G., & Timmons, J. (2009). Extremely short duration high intensity interval training substantially improves insulin action in young healthy males. *BMC Endocrine Disorders*, 9(1), 3. Retrieved from <http://www.biomedcentral.com/1472-6823/9/3>
- Bacon, A., Carter, R., Ogle, E., & Joyner, M. (2013). VO<sub>2</sub>max Trainability and High Intensity Interval Training in Humans: A Meta-Analysis. *PLoS ONE*, 8(9), e73182. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073182>
- Bailey, S., Wilkerson, D., Dimenna, F., & Jones, A. (2009). Influence of repeated sprint training on pulmonary O<sub>2</sub> uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. *J Appl Physiol (1985)*, 106(6), 1875–1887. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00144.2009>
- Balabinis, C., Psarakis, C., Moukas, M., Vassiliou, M., & Behrakis, P. (2003). Early phase changes by concurrent endurance and strength training. *Journal of Strength and Conditioning Research/National Strength & Conditioning Association*, 17(2), 393–401.
- Ballor, D., Becque, M., & Katch, V. (1987). Metabolic responses during hydraulic resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19(4), 363–367.
- Bangsbo, J., Gollnick, P., Graham, T., Juel, C., Kiens, B., Mizuno, M., & Saltin, B. (1990). Anaerobic energy production and O<sub>2</sub> deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *The Journal of Physiology*, 422, 539.
- Bangsbo, J., Krstrup, P., González-Alonso, J., Boushel, R., & Saltin, B. (2000). Muscle oxygen kinetics at onset of intense dynamic exercise in humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 279(3), R899–R906.

- Banister, E., MacDougall, J., & Wenger, H. (1991). *Modeling elite athletic performance: physiological testing of the high-performance athlete*.ampaign (IL): Human Kinetics Books.
- Barata, T., Branco, J., Caetano, M., Santa Clara, H., Pereira, J., Horta, L., ... Virella, D. (1997). *Actividade Física e Medicina Moderna*. (Europress, Ed.). Europress, Ed.
- Barstow, T., Casaburi, R., & Wasserman, K. (1993). O<sub>2</sub> uptake kinetics and the O<sub>2</sub> deficit as related to exercise intensity and blood lactate. *Journal of Applied Physiology*, 75(2), 755.
- Barstow, T., Jones, A., Nguyen, P., & Casaburi, R. (1996). Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*, 81(4), 1642–1650.
- Barstow, T., Lamarra, N., & Whipp, B. (1990). Modulation of muscle and pulmonary O<sub>2</sub> uptakes by circulatory dynamics during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 68(3), 979–989.
- Barstow, T., & Molé, P. (1991). Linear and nonlinear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*, 71(6), 2099–2106.
- Bassett, D., & Howley, E. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1), 70–84.
- Bastiaans, J., Diemen, A., Veneberg, T., & Jeukendrup, A. (2001). The effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 86(1), 79–84.
- Bell, D., Jacobs, I., & Ellerington, K. (2001). Effect of caffeine and ephedrine ingestion on anaerobic exercise performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(8), 1399–1403.
- Bellar, D., Hatchett, A., Judge, L. W., Breaux, M. E., & Marcus, L. (2015). The relationship of aerobic capacity, anaerobic peak power and experience to performance in CrossFit exercise. *Biology of Sport*, 32(4), 315–320. <https://doi.org/10.5604/20831862.1174771>
- Belman, M., & Gaesser, G. (1991). Exercise training below and above the lactate threshold in the elderly. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(5), 562–568.
- Beneke, R., Beyer, T., Jachner, C., Erasmus, J., & Hütler, M. (2004). Energetics of karate kumite. *European Journal of Applied Physiology*, 92(4–5), 518–523.
- Beneke, R., Pollmann, C., Bleif, I., Leithauser, R., & Hutler, M. (2002). How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? *European Journal Applied Physiology*, 87(4–5), 388–392. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0622-4>
- Bentley, D., Newell, J., & Bishop, D. (2007). Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Med*, 37(7), 575–

586.

- Bergeron, M., Nindl, B., & O'Connor, F. (2011). Consortium for Health and Military Performance and American College of Sports Medicine Consensus Paper on Extreme Conditioning Programs in Military Personnel. *Current Sports Medicine Reports*, 10(6), 383–389.
- Bertuzzi, R. (2008). *Estimativa dos metabolismos anaeróbios no déficit máximo acumulado de oxigênio*. Universidade de São Paulo, Brasil.
- Bertuzzi, R., Franchini, E., Kokubun, E., & Kiss, M. (2007). Energy system contributions in indoor rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 293–300.
- Bertuzzi, R., Franchini, E., Ugrinowitsch, C., Kokubun, E., Lima-Silva, A., Pires, F., ... Kiss, M. (2010). Predicting MAOD using only a supramaximal exhaustive test. *International Journal of Sports Medicine*, 31(07), 477–481.
- Bertuzzi, R., Silva, A., Abad, C., & Pires, F. (2009). Metabolismo do lactato: uma revisão sobre a bioenergética e a fadiga muscular. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum*, 11(2), 226–234.
- Bertuzzi, R., Silva, A., Pires, F., Dal, M., & Kiss, M. (2008). Déficit máximo acumulado de oxigênio: uma breve revisão histórica e metodológica. *Journal of Physical Education*, 19(1), 131–144.
- Billat, V. (2001a). Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. *Sports Medicine*, 31(1), 13–31.
- Billat, V. (2001b). 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.
- Billat, V. L., Hamard, L., & Koralsztejn, J. P. (2002). The influence of exercise duration at VO<sub>2</sub> max on the off-transient pulmonary oxygen uptake phase during high intensity running activity. *Arch Physiol Biochem*, 110(5), 383–392. <https://doi.org/10.1076/apab.110.5.383.11831>
- Billat, V., Morton, R., Blondel, N., Berthoin, S., Bocquet, V., Koralsztejn, J., & Barstow, T. (2000). Oxygen kinetics and modelling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology*, 82(3), 178–187.
- Billat, V., Slawinski, J., Bocquet, V., Demarle, A., Lafitte, L., Chassaing, P., & Koralsztejn, J. (2000). Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *Eur J Appl Physiol*, 81(3), 188–196. <https://doi.org/10.1007/s004210050029>

- Binder, E., Yarasheski, K., Steger-May, K., Sinacore, D., Brown, M., Schechtman, K., & Holloszy, J. (2005). Effects of progressive resistance training on body composition in frail older adults: results of a randomized, controlled trial. *Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 60(11), 1425–1431.
- Bishop, D., Jenkins, D., Mackinnon, L., McEniery, M., & Carey, M. (1999). The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(6), 886–891.
- Bizeau, M. E., Willis, W. T., & Hazel, J. R. (1998). Differential responses to endurance training in subsarcolemmal and intermyofibrillar mitochondria. *Journal of Applied Physiology*, 85(4), 1279–1284.
- Blomqvist, C., & Saltin, B. (1983). Adaptations to Physical Training. *Ann. Rev. Physiol*, 4, 169–189.
- Bogdanis, G. (2012). Effects of physical activity and inactivity on muscle fatigue. *Front Physiol*, 3, 142. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00142>
- Bompa, T., & Haff, G. (2009). *Periodization: Theory and Methodology of Training*. (I. H. K. Champaign, Ed.) (5th ed.). Human Kinetics.
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. Human Kinetics.
- Borrani, F., Candau, R., Millet, G., Perrey, S., Fuchslocher, J., & Rouillon, J. (2001). Is the  $\dot{V}O_2$  slow component dependent on progressive recruitment of fast-twitch fibers in trained runners? *Journal of Applied Physiology*, 90(6), 2212–2220.
- Borresen, J., & Lambert, M. (2008). Quantifying training load: a comparison of subjective and objective methods. *Internacional Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(1), 16–30.
- Borresen, J., & Lambert, M. (2009). The quantification of training load, the training response and the effect on performance. *Sports Medicine*, 39(9), 779–795.
- Børsheim, E., & Bahr, R. (2003). Effect of Exercise Intensity, Duration and Mode on Post-Exercise Oxygen Consumption. *Sports Med*, 33(14), 1037–1060.
- Bouchard, C., Sarzynski, M., Rice, T., Kraus, W., Church, T., Sung, Y., ... Rankinen, T. (2011). Genomic predictors of the maximal  $O_2$  uptake response to standardized exercise training programs. *Journal of Applied Physiology*, 110(5), 1160–1170. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00973.2010>
- Boulay, M., Simoneau, J., Lortie, G., & Bouchard, C. (1997). Monitoring high-intensity endurance exercise with heart rate and thresholds. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(1), 125–132.

- Boyd, J., Simpson, C., Jung, M., & Gurd, B. (2013). Reducing the intensity and volume of interval training diminishes cardiovascular adaptation but not mitochondrial biogenesis in overweight/obese men. *PLoS ONE*, *8*(7), e68091.
- Bradley, P., Mohr, M., Bendiksen, M., Randers, M., Flint, M., Barnes, C., & Krstrup, P. (2011). Sub-maximal and maximal Yo-Yo intermittent endurance test level 2: heart rate response, reproducibility and application to elite soccer. *Eur J Appl Physiol*, *111*(6), 969–978. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1721-2>
- Brittain, C., Rossiter, H., Kowalchuk, J., & Whipp, B. (2001). Effect of prior metabolic rate on the kinetics of oxygen uptake during moderate-intensity exercise. *European Journal of Applied Physiology*, *86*(2), 125–134.
- Buchan, D., Ollis, S., Young, J., Cooper, S., Shield, J., & Baker, J. (2013). High intensity interval running enhances measures of physical fitness but not metabolic measures of cardiovascular disease risk in healthy adolescents. *BMC Public Health*, *13*(1), 1.
- Buchheit, M., Abbiss, C., Peiffer, J., & Laursen, P. (2011). Performance and physiological responses during a sprint interval training session: relationships with muscle oxygenation and pulmonary oxygen uptake kinetics.
- Buchheit, M., & Laursen, P. (2013a). High-Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle: Part I: Cardiopulmonary Emphasis (Review Article). *Sports Medicine*, *43*(5), 313–338.
- Buchheit, M., & Laursen, P. (2013b). High-Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle: Part II: Anaerobic Energy, Neuromuscular Load and Practical Applications (Review Article). *Sports Medicine*, *43*(10), 927–954.
- Burgomaster, K., Cermak, N., Phillips, S., Benton, C., Bonen, A., & Gibala, M. (2007). Divergent response of metabolite transport proteins in human skeletal muscle after sprint interval training and detraining. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, *292*(5), R1970–1976.
- Burgomaster, K., Heigenhauser, G., & Gibala, M. (2006). Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. *Journal of Applied Physiology*, *100*(6), 2041–2047.
- Burgomaster, K., Howarth, K., Phillips, S., Rakobowchuk, M., MacDonald, M., McGee, S., & Gibala, M. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *The Journal of Physiology*, *586*(1), 151–160. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2007.142109>
- Burgomaster, K., Hughes, S., Heigenhauser, G., Bradwell, S., & Gibala, M. (2005). Six Sessions of Sprint Interval Training Increases Muscle Oxidative Potential and Cycle Endurance

- Capacity in Humans. *J Appl Physiol*.
- Burnley, M., & Jones, A. (2007). Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *European Journal of Sport Science*, 7(2), 63–79.
- Butcher, S., Neyedly, T., Horvey, K., & Benko, C. (2015). Do physiological measures predict selected CrossFit® benchmark performance? *Open Access J Sports Med*, (6), 241–247. <https://doi.org/10.2147/OAJSM.S88265>
- Caputo, F. (2006). *Determinação da maior intensidade de esforço onde o consumo máximo de oxigênio é atingido durante o ciclismo: influencia do estado e especificidade do treinamento aeróbio*. Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista. Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista.
- Caputo, F., & Denadai, B. S. (2004). Effects of aerobic endurance training status and specificity on oxygen uptake kinetics during maximal exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 93(1–2), 87–95.
- Carita, R., Pessoa Filho, D., Barbosa, L., & Greco, C. (2014). Componente lento da cinética do VO<sub>2</sub>: determinantes fisiológicos e implicações para o desempenho em exercícios aeróbios. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 16(2), 233–246.
- Caritá, R., Picarelli, C., Greco, C., & Denadai, B. (2015). Effect of previous severe exercise on the power-time relationship in active individuals during cycling. *Motricidade*, 11(1), 14.
- Carter, H., Pringle, J., Jones, A., & Doust, J. (2002). Oxygen uptake kinetics during treadmill running across exercise intensity domains. *European Journal Applied Physiology*, 86(4), 347–354.
- Caruso, J., & Hernandez, D. (2002). Net Caloric Cost of a 3-Set Flywheel Ergometer Resistance Exercise Paradigm. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 16(4), 567–572. Retrieved from [http://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/2002/11000/Net\\_Caloric\\_Cost\\_of\\_a\\_3\\_Set\\_Flywheel\\_Ergometer.13.aspx](http://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/2002/11000/Net_Caloric_Cost_of_a_3_Set_Flywheel_Ergometer.13.aspx)
- Caruso, J., Hernandez, D., Saito, K., Cho, M., & Nelson, N. (2003). Inclusion of eccentric actions on net caloric cost resulting from isoinertial resistance exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(3), 549–555.
- Casaburi, R., Barstow, T., Robinson, T., & Wasserman, K. (1989). Influence of work rate on ventilatory and gas exchange kinetics. *Journal of Applied Physiology*, 67(2), 547–555.
- Casaburi, R., Barstow, T., Robinson, T., & Wasserman, K. (1992). Dynamic and steady-state ventilatory and gas exchange responses to arm exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24(12), 1365–1374.
- Casaburi, R., Storer, T., Ben-Dov, I., & Wasserman, K. (1987). Effect of endurance training on

- possible determinants of VO<sub>2</sub> during heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*, 62(1), 199–207.
- Castagna, C., Impellizzeri, F., Chaouachi, A., Ben Abdelkrim, N., & Manzi, V. (2011). Physiological responses to ball-drills in regional level male basketball players. *Journal of Sports Sciences*, 29(12), 1329–1336.
- Chang, D., Buschbacher, L., & Edlich, R. (1987). Limited joint mobility in power lifters. *The American Journal of Sports Medicine*, 16(3), 280–284.
- Chen, M., Fan, X., & Moe, S. (2002). Criterion-related validity of the Borg ratings of perceived exertion scale in healthy individuals: a meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 20(11), 873–899.
- Chilibeck, P. D., Bell, G. J., Socha, T., & Martin, T. (1998). The effect of aerobic exercise training on the distribution of succinate dehydrogenase activity throughout muscle fibres. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 23(1), 74–86.
- Chilibeck, P., Syrotuik, D., & Bell, G. (1999). The effect of strength training on estimates of mitochondrial density and distribution throughout muscle fibres. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80(6), 604–609.
- Chilibeck, P., Syrotuik, D., & Bell, G. (2002). The effect of concurrent endurance and strength training on quantitative estimates of subsarcolemmal and intermyofibrillar mitochondria. *International Journal of Sports Medicine*, 23(01), 33–39.
- Christensen, E., Hedman, R., & Saltin, B. (1960). Intermittent and continuous running (A further contribution to the physiology of intermittent work.). *Acta Physiologica Scandinavica*, 50(3-4), 269–286.
- Chtara, M., Chamari, K., Chaouachi, M., Chaouachi, A., Koubaa, D., Feki, Y., ... Amri, M. (2005). Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. *British Journal of Sports Medicine*, 39(8), 555–560.
- Cicioni-Kolsky, D., Lorenzen, C., Williams, M., & Kemp, J. (2013). Endurance and sprint benefits of high-intensity and supramaximal interval training. *European Journal of Sport Science*, 13(3), 304–311.
- Claudino, J. G., Gabbett, T. J., Bourgeois, F., Souza, H. de S., Miranda, R. C., Mezêncio, B., ... Serrão, J. C. (2018). CrossFit Overview: Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine - Open*, 4(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0124-5>
- Cleuziou, C., Perrey, S., Borrani, F., Lecoq, A., Candau, R., Courteix, D., & Obert, P. (2004). Dynamic responses of oxygen uptake at the onset and end of moderate and heavy exercise in trained subjects. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29(1), 32–44.

- Costill, D., Fink, W., Hargreaves, M., King, D., Thomas, R., & Fielding, R. (1985). Metabolic characteristics of skeletal muscle during detraining from competitive swimming. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 17(3), 339–343.
- Costill, D., Flynn, M., Kirwan, J., Houmard, J., Mitchell, J., Thomas, R., & Park, S. (1988). Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Med Sci Sports Exerc*, 20(3), 249–254.
- Costill, D., Wilmore, J., & Kenney, W. (2012). Physiology of sport and exercise. *Physiology Of Sport And Exercise-9780736094092-66*, 78.
- Coutts, A., Wallace, L., & Slattery, K. (2003). Monitoring training load. *Sports Coach*, 27(1), 61–67.
- Coyle, E., Hemmert, M., & Coggan, A. (1986). Effects of detraining on cardiovascular responses to exercise: role of blood volume. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 60(1), 95–99.
- Coyle, E., Martin, W., Bloomfield, S., Lowry, O., & Holloszy, J. (1985). Effects of detraining on responses to submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 59(3), 853–859.
- Coyle, E., Martin, W., Sinacore, D., Joyner, M., Hagberg, J., & Holloszy, J. (1984). Time course of loss of adaptations after stopping prolonged intense endurance training. *Journal of Applied Physiology: Respiratory Environmental and Exercise Physiology*, 57(6), 1857–1864.
- Crommett, A., & Kinzey, S. (2004). Excess postexercise oxygen consumption following acute aerobic and resistance exercise in women who are lean or obese. *Journal of Strength and Conditioning Research/National Strength & Conditioning Association*, 18(3), 410.
- Crow, M., & Kushmerick, M. (1982). Chemical energetics of slow- and fast-twitch muscles of the mouse. *J Gen Physiol*, 79(1), 147–166.
- Cullinane, E., Sady, S., Vadeboncoeur, L., Burke, M., & Thompson, P. (1986). Cardiac size and VO<sub>2</sub>max do not decrease after short-term exercise cessation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18(4), 420–424.
- Cunningham, D., Croix, D., Ozyener, J., & Whipp, B. (2000). The off-transient pulmonary oxygen uptake (VO<sub>2</sub>) kinetics following attainment of a particular VO<sub>2</sub> during heavy-intensity exercise in humans. *Experimental Physiology*, (85), 339–347.
- Currie, K., Dubberley, J., McKelvie, R., & MacDonald, M. (2013). Low-volume, high-intensity interval training in patients with CAD. *Med Sci Sports Exerc*, 45(8), 1436–1442. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31828bbbd4>
- Da Boit, M., Bailey, S., Callow, S., DiMenna, F., & Jones, A. (2014). Effects of interval and

- continuous training on O<sub>2</sub> uptake kinetics during severe-intensity exercise initiated from an elevated metabolic baseline. *J Appl Physiol* (1985), 116(8), 1068–1077. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01365.2013>
- Daussin, F., Zoll, J., Dufour, S., Ponsot, E., Lonsdorfer-Wolf, E., Doutreleau, S., ... Richard, R. (2008). Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 295(1), R264-72. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00875.2007>
- Davis, J., Frank, M., Whipp, B., & Wasserman, K. (1979). Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *Journal of Applied Physiology*, 46(6), 1039–1046.
- de Lira, F., Oliveira, R., Julio, U., & Franchini, E. (2007). Strength and aerobic post-exercises oxygen consumption: effect of the order of performance. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, 13(6), 402–406.
- Dekerle, J., Baron, B., Dupont, L., Vanvelcenaher, J., & Pelayo, P. (2003). Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *Eur J Appl Physiol*, 89, 281–288.
- Demarle, A., Slawinski, J., Laffite, L., Bocquet, V., Koralsztejn, J., & Billat, V. (2001). Decrease of O<sub>2</sub> deficit is a potential factor in increased time to exhaustion after specific endurance training. *Journal of Applied Physiology*, 90(3), 947–953.
- Denadai, B. (1995). Consumo máximo de oxigênio: fatores determinantes e limitantes. *Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde*, 1(1), 85–94.
- Denadai, B., & Caputo, F. (2003). Efeitos do treinamento sobre a cinética do consumo de oxigênio durante o exercício realizado nos diferentes domínios de intensidade de esforço. *Motriz*, 9(1), S1–S9.
- Denadai, B., Ortiz, M., & Mello, M. (2004). Índices fisiológicos associados com a performance aeróbia em corredores de endurance: efeitos da duração da prova. *Rev Bras Med Esporte*, 10(5), 401–404.
- di Prampero, P. (1981). Energetics of muscular exercise. In *Reviews of Physiology, Biochemistry and Pharmacology, Volume 89* (pp. 143–222). Springer.
- di Prampero, P., & Ferretti, G. (1999). The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. *Respir Physiol*, 118(2–3), 103–115.
- di Prampero, P., Mahler, P., Giezendanner, D., & Cerretelli, P. (1989). Effects of priming exercise on VO<sub>2</sub> kinetics and O<sub>2</sub> deficit at the onset of stepping and cycling. *Journal of Applied*

- Physiology*, 66(5), 2023–2031.
- Docherty, D., & Sporer, B. (2000). A Proposed Model for Examining the Interference Phenomenon between Concurrent Aerobic and Strength Training. *Sports Medicine*, 30(6), 385–394.
- Doherty, M. (1998). The effects of caffeine on the maximal accumulated oxygen deficit and short-term running performance. *International Journal of Sport Nutrition*, 8, 95–104.
- Doherty, M., Smith, P., & Schroder, K. (2000). Reproducibility of the maximum accumulated oxygen deficit and run time to exhaustion during short-distance running. *Journal of Sports Sciences*, 18(5), 331–338.
- Domingos, P. (2014). *Actividade física de alta intensidade na população universitária de Coimbra: efeito do tempo de prática*. Universidade de Coimbra.
- Drum, S. N., Bellovary, B. N., Jensen, R. L., Moore, M. T., & Donath, L. (2017). Perceived demands and postexercise physical dysfunction in CrossFit® compared to an ACSM based training session. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 57(5), 604–609.
- Drummond, M., Vehrs, P., Schaalje, G., & Parcell, A. (2005). Aerobic and resistance exercise sequence affects excess postexercise oxygen consumption. *J Strength Cond Res*, 19(2), 332–337. <https://doi.org/10.1519/r-14353.1>
- Dupont, G., & Berthoin, S. (2004). Time Spent at a High Percentage of VO<sub>2</sub> max for Short Intermittent Runs: Active Versus Passive Recovery. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29.
- Dupont, G., McCall, A., Prieur, F., Millet, G., & Berthoin, S. (2010). Faster oxygen uptake kinetics during recovery is related to better repeated sprinting ability. *Eur J Appl Physiol*, 110(3), 627–634. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1494-7>
- Edwards, R. (1981). Human muscle function and fatigue. *Ciba Found Symp*, 82, 1–18.
- Edwards, S. (1993). *High performance training and racing*. In: *The Heart Rate Monitor Book. Medicine & Science in Sports & Exercise*. Sacramento: CA: Feet Fleet Press.
- Elliott, K., Sale, C., & Cable, N. (2002). Effects of resistance training and detraining on muscle strength and blood lipid profiles in postmenopausal women. *British Journal of Sports Medicine*, 36(5), 340–344.
- Engelen, M., Porszasz, J., Riley, M., Wasserman, K., Maehara, K., & Barstow, T. (1996). (1996). Effects of hypoxic hypoxia on O<sub>2</sub> uptake and heart rate kinetics during heavy exercise. *Journal of Applied Physiology*, 81, 2500–2508.
- Escobar, K., Morales, J., & VanDusseldorp, T. (2017). Metabolic profile of a crossfit training bout. *Journal of Human Sport and Exercise*, 12(4), 1248–1255.

- Essén, B. (1978). Glycogen depletion of different fibre types in human skeletal muscle during intermittent and continuous exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 103(4), 446–455.
- Evangelista, F., & Brum, P. (1999). Efeitos do destreinamento físico sobre a “performance” do atleta: uma revisão das alterações cardiovasculares e músculo-esqueléticas. *Rev. Paul. Educ. Fís., São Paulo*, 13(2), 239–249.
- Farrar, R., Mayhew, J., & Koch, A. (2010). Oxygen cost of kettlebell swings. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(4), 1034–1036.
- Fatouros, I., Jamurtas, A., Villiotou, V., Pouliopoulou, S., Fotinakis, P., Taxildaris, K., & Deliconstantinos, G. (2004). Oxidative stress responses in older men during endurance training and detraining. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(12), 2065.
- Fatouros, I., Kambas, A., Katrabasas, I., Leontsini, D., Chatzinikolaou, A., Jamurtas, A., ... Taxildaris, K. (2006). Resistance training and detraining effects on flexibility performance in the elderly are intensity-dependent. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(3), 634–642. <https://doi.org/10.1519/r-17615.1>
- Fatouros, I., Kambas, A., Katrabasas, I., Nikolaidis, K., Chatzinikolaou, A., Leontsini, D., & Taxildaris, K. (2005). Strength training and detraining effects on muscular strength, anaerobic power, and mobility of inactive older men are intensity dependent. *British Journal of Sports Medicine*, 39(10), 776–780.
- Fawkner, S., & Armstrong, N. (2003). Oxygen Uptake Kinetic Response to Exercise in Children. *Sports Med*, 33(9), 651–669.
- Fay, L., Londeree, B., LaFontaine, T., & Volek, M. (1989). Physiological parameters related to distance running performance in female athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(3), 319–324.
- Ferketich, A., Kirby, T., & Alway, S. (1998). Cardiovascular and muscular adaptations to combined endurance and strength training in elderly women. *Acta Physiologica Scandinavica*, 164(3), 259–267.
- Fernandes, H. M., Lázaro, J. P., & Vasconcelos-Raposo, J. (2005). Razões para a não prática desportiva em adultos: Estudo comparativo entre a realidade rural e urbana. *Motricidade*, 1(2), 106–114.
- Fernandez-Fernandez, J., Zimek, R., Wiewelhove, T., & Ferrauti, A. (2012). High-intensity interval training vs. repeated-sprint training in tennis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(1), 53–62.
- Ferrannini, E. (1988). The Theoretical Bases of Indirect Calorimetry: A Review. *Metabolism*, 37(3), 287–301.

- Foster, C. (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, 1164–1168.
- Foster, C., Daines, E., Hector, L., Snyder, A., & Welsh, R. (1996). Athletic performance in relation to training load. *Wisconsin Medical Journal*, 95(6), 370–374.
- Foster, C., Florhaug, J., Franklin, J., Gottschall, L., Hrovatin, L., Parker, S., ... Dodge, C. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(1), 109–115.
- Foster, C., Hector, L., Welsh, R., Schrager, M., Green, M., & Snyder, A. (1995). Effects of specific versus cross-training on running performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 70(4), 367–372.
- Fradão, C. (2013). *Cinética do Consumo de Oxigénio em corredores de meio-fundo*. Universidade Técnica de Lisboa, Faculdade de Motricidade Humana.
- Francescato, M. P., Talon, T., & Di Prampero, P. E. (1995). Energy cost and energy sources in karate. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 71(4), 355–361.
- Franchini, E., Takito, M., Bertuzzi, R., & Kiss, M. (2003). Solicitação fisiológica e metabólica do exercício intermitente anaeróbico com membros superiores. *Motriz*, 9(1), 33–40.
- Fringer, M., & Stull, G. (1974). Changes in cardiorespiratory parameters during periods of training and detraining in young adult females. *Medicine & Science in Sports*, 6(1), 20–25.
- Fujihara, Y., Hildebrandt, J., & Hildebrandt, J. (1973). Cardiorespiratory transients in exercising man. I. *Journal of Applied Physiology*, 35(1), 58–67.
- Gaesser, G., & Brooks, G. (1984). Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: a review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(1), 29–32.
- Gaesser, G., & Poole, D. (1996). The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exercise Sport Science Review*, 24, 35–71.
- Garber, C., Blissmer, B., Deschenes, M., Franklin, B., Lamonte, M., Lee, I., ... Swain, D. (2011). Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory, Musculoskeletal, and Neuromotor Fitness in Apparently Healthy Adults: Guidance for Prescribing Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(7), 1334–1359. 10.1249/MSS.0b013e318213febf. Retrieved from [http://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2011/07000/Quantity\\_and\\_Quality\\_of\\_Exercise\\_for\\_Developing.26.aspx](http://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2011/07000/Quantity_and_Quality_of_Exercise_for_Developing.26.aspx)
- Garbutt, G., Reilly, T., Boocock, M., Reilly, T., & Troup, J. (1994). The physiological and physical load imposed by circuit. weight-training. *Ergonomics*, 37, 117–135.
- García-Pallarés, J., García-Fernández, M., Sánchez-Medina, L., & Izquierdo, M. (2010).

- Performance changes in world-class kayakers following two different training periodization models. *European Journal of Applied Physiology*, 110(1), 99–107.
- Garganta, J. (1993). Programação e Periodização do Treino em Futebol: das Generalidades à Especificidade. In J. B. A. Marques (Ed.), *A Ciência do Desporto, a Cultura e o Homem* (pp. 259–270). Porto: FCDEF-UP.
- Gastin, P. (1994). Quantification of anaerobic capacity. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 4(2), 91–112.
- Gastin, P. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine*, 31(10), 725–741.
- Gettman, L., Ayres, J., Pollock, M., & Jackson, A. (1978). The effect of circuit weight training on strength, cardiorespiratory function, and body composition of adult men. *Medicine & Science in Sports*, 10(3), 171–176.
- Gettman, L., & Pollock, M. (1981). Circuit Weight Training: A Critical Review of Its Physiological Benefits. *Phys Sportsmed*, 9(1), 44–60. <https://doi.org/10.1080/00913847.1981.11710988>
- Giada, F., Bertaglia, E., De Piccoli, B., Franceschi, M., Sartori, F., Raviele, A., & Pascotto, P. (1998). Cardiovascular adaptations to endurance training and detraining in young and older athletes. *Int J Cardiol*, 65(2), 149–155.
- Giada, F., Vigna, G., Vitale, E., Baldo-Enzi, G., Bertaglia, M., Crecca, R., & Fellin, R. (1995). Effect of age on the response of blood lipids, body composition, and aerobic power to physical conditioning and deconditioning. *Metabolism*, 44(2), 161–165.
- Gibala, M. (2007). High-intensity interval training: a time-efficient strategy for health promotion? *Curr Sports Med Rep*, 6(4), 211–213.
- Gibala, M., & Ballantyne, C. (2007). High-intensity interval training: New insights. *Sports Science Exchange*, 20(2), 1–5.
- Gibala, M., & Jones, A. (2013). Physiological and performance adaptations to high-intensity interval training. *Nestle Nutr Inst Workshop Ser*, 76, 51–60. <https://doi.org/10.1159/000350256>
- Gibala, M., Little, J., MacDonald, M., & Hawley, J. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high intensity interval training in health and disease. *Journal Physiology*, 590(Pt5), 1077–1084. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.224725>
- Gibala, M., Little, J., Van Essen, M., Wilkin, G., Burgomaster, K., Safdar, A., ... Tarnopolsky, M. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *The Journal of Physiology*, 575(3), 901–911.

- Gillen, J., & Gibala, M. (2014). Is high-intensity interval training a time-efficient exercise strategy to improve health and fitness? *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(3), 409–412. <https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0187>
- Gjøvaag, T., & Dahl, H. (2008). Effect of training with different intensities and volumes on muscle fibre enzyme activity and cross sectional area in the m. triceps brachii. *European Journal of Applied Physiology*, 103(4), 399–409.
- Glassman, G. (2003). Metabolic conditioning. *CrossFit® Journal*, (10).
- Glassman, G. (2004). What is fitness. *CrossFit® Journal*, (23).
- Glassman, G. (2006). A Theoretical Template for CrossFit's Programming. *CrossFit® Journal*, (6).
- Glassman, G. (2012). *The CrossFit® Training Guide*. (I. CrossFit, Ed.).
- Godfrey, R., Madgwick, Z., & Whyte, G. (2003). The Exercise-Induced Growth Hormone Response in Athletes. *Sports Medicine*, 33(8), 599–613. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333080-00005>
- Goins, J., Richardson, M. T., Wingo, J., Hodges, G., Leaver-Dunn, D., & Leeper, J. (2014). Physiological and performance effects of CrossFit®. *Medicine & Science in Sports Exercise*, 46(5), 270.
- Goldberg, L., Elliot, D., & Kuehl, K. (1988). Assessment of exercise intensity formulas by use of ventilatory threshold. *Chest*, 94(1), 95–98.
- Gollnick, P., Armstrong, R., Sembrowich, W., Shepherd, R., & Saltin, B. (1973). Glycogen depletion pattern in human skeletal muscle fibers after heavy exercise. *J Appl Physiol*, 34(5), 615–618.
- Gollnick, P., Piehl, K., & Saltin, B. (1974). Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibres after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates. *The Journal of Physiology*, 241(1), 45.
- Gollnick, P., Piehl, K., Saubert, C., Armstrong, R., & Saltin, B. (1972). Diet, exercise, and glycogen changes in human muscle fibers. *Journal of Applied Physiology*, 33(4), 421–425.
- Gomes-Pereira, J. (1992). Perfil metabólico do nadador de alto rendimento: especificidade, valor preditivo e variabilidade da curva de acumulação de lactato. Dissertação apresentada com vista à obtenção do grau de Doutor em Motricidade Humana na especificidade de Ciências do Desporto. FMH. Lisboa.
- Gomes-Pereira, J. (2014). *Apontamentos das aulas de Metabolismo Energético e Função Cardio-Respiratória*. In *Mestrado de Treino Desportivo – Faculdade de Motricidade Humana, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal*.

- Gore, C., & Withers, R. (1990). The effect of exercise intensity and duration on the oxygen deficit and excess post-exercise oxygen consumption. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 60(3), 169–174.
- Gotshalk, L., Berger, R., & Kraemer, W. (2004). Cardiovascular Responses to A High-Volume Continuous Circuit Resistance Training Protocol. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(4), 760–764. Retrieved from [http://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/2004/11000/CARDIOVASCULAR\\_RESPONSES\\_TO\\_A\\_HIGH\\_VOLUME.13.aspx](http://journals.lww.com/nsca-jscr/Fulltext/2004/11000/CARDIOVASCULAR_RESPONSES_TO_A_HIGH_VOLUME.13.aspx)
- Granier, P., Mercier, B., Mercier, J., Anselme, F., & Prefaut, C. (1995). Aerobic and anaerobic contribution to Wingate test performance in sprint and middle-distance runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 70(1), 58–65.
- Grassi, B. (2001). Regulation of oxygen consumption at exercise onset: is it really controversial? *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 29(3), 134–138.
- Grassi, B., Poole, D., Richardson, R., Knight, D., Erickson, B., & Wagner, P. (1996). Muscle O<sub>2</sub> uptake kinetics in humans: implications for metabolic control. *Journal of Applied Physiology*, 80(3), 988–998.
- Green, H. (1977). Glycogen depletion patterns during continuous and intermittent ice skating. *Med Sci Sports*, 10(3), 183–187.
- Green, H., Jones, L., & Painter, D. (1990). Effects of short-term training on cardiac function during prolonged exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(4), 488–493.
- Green, J., McLester, J., Crews, T., Wickwire, P., Pritchett, R., & Lomax, R. (2006). RPE association with lactate and heart rate during high-intensity interval cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(1), 167.
- Green, S., & Dawson, B. (1993). Measurement of anaerobic capacities in humans. *Sports Medicine*, 15(5), 312–327.
- Greenhaff, P. (2001). The creatine-phosphocreatine system: there's more than one song in its repertoire. *J Physiol*, 537(Pt 3), 657.
- Greenhaff, P., & Timmons, J. (1998). 1 Interaction Between Aerobic and Anaerobic Metabolism During Intense Muscle Contraction. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 26(1), 1–30.
- Hagberg, J., Coyle, E., Carroll, J., Miller, J., Martin, W., & Brooke, M. (1982). Exercise hyperventilation in patients with McArdle's disease. *Journal of Applied Physiology*, 52(4), 991–994.
- Hagberg, J., Mullin, J., & Nagle, F. (1978). Oxygen consumption during constant-load exercise. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 45(3),

381–384.

- Hakkinen, K., Alen, M., Kallinen, M., Newton, R., & Kraemer, W. (2000). Neuromuscular adaptation during prolonged strength training, detraining and re-strength-training in middle-aged and elderly people. *European Journal Applied Physiology*, 83(1), 51–62. <https://doi.org/10.1007/s004210000248>
- Hakkinen, K., Alen, M., Kraemer, W., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., ... Paavolainen, L. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal Applied Physiology*, 89(1), 42–52. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0751-9>
- Hallal, P. C., Andersen, L. B., Bull, F. C., Guthold, R., Haskell, W., Ekelund, U., & Group, L. P. A. S. W. (2012). Global physical activity levels: surveillance progress, pitfalls, and prospects. *The Lancet*, 380(9838), 247–257.
- Haltom, R., Kraemer, R., Sloan, R., Hebert, E., Frank, K., & Tryniecki, J. (1999). Circuit weight training and its effects on excess postexercise oxygen consumption. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(11), 1613–1618.
- Harris, C., DeBeliso, M., Adams, K., Irmischer, B., & Spitzer, G. (2007). Detraining in the older adult: effects of prior training intensity on strength retention. *J Strength Cond Res*, 21(3), 813–818.
- Hawley, J., Myburgh, K., Noakes, T., & Dennis, S. (1997). Training techniques to improve fatigue resistance and enhance endurance performance. *Journal of Sports Sciences*, 15(3), 325–333.
- Hayes, P. R., & Quinn, M. D. (2009). A mathematical model for quantifying training. *European Journal of Applied Physiology*, 106(6), 839–847.
- Hebestreit, H., Kriemler, S., Hughson, R., & Bar-Or, O. (1998). Kinetics of oxygen uptake at the onset of exercise in boys and men. *Journal of Applied Physiology*, 85(5), 1833–1841.
- Heinrich, K., Patel, P., Joshua, L., & Heinrich, B. (2014). High-intensity compared to moderate-intensity training for exercise initiation, enjoyment, adherence, and intentions: an intervention study. *BMC Public Health*, 14(1), 789.
- Helgerud, J., Hoydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., ... Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO<sub>2</sub>max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc*, 39(4), 665–671. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180304570>
- Henneman, E., Clamann, H. P., Gillies, J. D., & Skinner, R. D. (1974). Rank order of motoneurons within a pool: law of combination. *Journal of Neurophysiology*, 37(6), 1338–1349.
- Henneman, E., & Mendell, L. (1981). Functional organisation of motoneuron pool and its inputs.

- In: Brooks, V.B. (Ed.), *Hand- book of Physiology I*,. *American Physiological Society, Bethesda, Maryland, II (part 1, 423–507*.
- Henneman, E., & Mendell, L. (2011). Functional organization of motoneuron pool and its inputs. *Comprehensive Physiology*.
- Henriksson, J., & Reitman, J. (1976). Quantitative measures of enzyme activities in type I and type II muscle fibres of man after training. *Acta Physiologica*, 97(3), 392–397.
- Hill, D. (1993). The critical power concept. *Sports Medicine*, 16(4), 237–254.
- Hill, D., Poole, D., & Smith, J. (2002). The relationship between power and the time to achieve VO<sub>2</sub>max. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4), 709–714.
- Hill, D., & Smith, J. (1993). A comparison of methods of estimating anaerobic work capacity. *Ergonomics*, 36(12), 1495–1500.
- Hill, D., & Smith, J. (1994). A method to ensure the accuracy of estimates of anaerobic capacity derived using the critical power concept. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 34(1), 23–37.
- Hill, D. W., Halcomb, J. N., & Stevens, E. C. (2003). Oxygen uptake kinetics during severe intensity running and cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 89(6), 612–618. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0779-x>
- Hoff, J., & Helgerud, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players. *Sports Medicine*, 34(3), 165–180.
- Hofmann, P., & Tschakert, G. (2011). Special needs to prescribe exercise intensity for scientific studies. *Cardiol Res Pract*, 2011(209302), 1–10. <https://doi.org/10.4061/2011/209302>
- Holly, R. (1993). Fundamentals of cardiorespiratory exercise testing. *ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 2nd Ed. Philadelphia (PA): Lea & Febiger, 247–257.
- Hopkins, W. (1991). Quantification of training in competitive sports. *Sports Medicine*, 12(3), 161–183.
- Horowitz, J. F., Sidossis, L. S., & Coyle, E. F. (1994). High efficiency of type I muscle fibers improves performance. *International Journal of Sports Medicine*, 15(3), 152–157.
- Hughson, R., & Morrissey, M. (1983). Delayed kinetics of VO<sub>2</sub> in the transition from prior exercise. Evidence for O<sub>2</sub> transport limitation of VO<sub>2</sub> kinetics: a review. *Int J Sports Med*, 4(1), 31–39. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1026013>
- Hughson, R., O'Leary, D., Betik, A., & Hebestreit, H. (2000). Kinetics of oxygen uptake at the onset of exercise near or above peak oxygen uptake. *Journal of Applied Physiology*, 88(5), 1812–1819.

- Hughson, R., Tschakovsky, M., & Houston, M. (2001). Regulation of oxygen consumption at the onset of exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 29(3), 129–133.
- Hunter, G., Seelhorst, D., & Snyder, S. (2003). Comparison of metabolic and heart rate responses to super slow vs. traditional resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17, 76–81.
- Hurley, B., Seals, D., Ehsani, A., Cartier, L., Dalsky, G., Hagberg, J., & Holloszy, J. (1984). Effects of high-intensity strength training on cardiovascular function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16(5), 483–488.
- Iaia, F. M., & Bangsbo, J. (2010). Speed endurance training is a powerful stimulus for physiological adaptations and performance improvements of athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(2), 11–23.
- Impellizzeri, F., Rampinini, E., Coutts, A., Sassi, A., & Marcora, S. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(6), 1042–1047.
- Izquierdo, M. (2004). Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(3), 435–443.
- Izquierdo, M., Ibañez, J., González-Badillo, J., Ratamess, N., Kraemer, W., Häkkinen, K., ... Gorostiaga, E. (2007). Detraining and tapering effects on hormonal responses and strength performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3), 768–775.
- Jacobs, R., Flück, D., Bonne, T., Bürgi, S., Christensen, P., Toigo, M., & Lundby, C. (2013). Improvements in exercise performance with high-intensity interval training coincide with an increase in skeletal muscle mitochondrial content and function. *Journal of Applied Physiology*, 115(6), 785–793.
- Jakeman, J., Adamson, S., & Babraj, J. (2012). Extremely short duration high-intensity training substantially improves endurance performance in triathletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37(5), 976–981.
- Jeffery, C. (2012). *CrossFit effectiveness on fitness levels and demonstration of successful program objectives*. Arkansas State University.
- Jeukendrup, A., & Diemen, A. Van. (1998). Heart rate monitoring during training and competition in cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 16(sup1), 91–99.
- Jones, A., & Burnley, M. (2009). Oxygen uptake kinetics: an underappreciated determinant of exercise performance. *Int J Sports Physiol Perform*, 4(4), 524–532.
- Jones, A., & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine (Auckland, NZ)*, 29(6), 373.
- Jones, A., Carter, H., Pringle, J., & Campbell, I. (2002). Effect of creatine supplementation on

- oxygen uptake kinetics during submaximal cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*, 92(6), 2571–2577.
- Jones, A., Grassi, B., Christensen, P., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2011). Slow Component of VO<sub>2</sub> Kinetics: Mechanistic Bases and Practical Applications. *Medicine & Science in Sports & Exercise: Official Journal of the American College of Sports Medicine*, 43(11), 2046–2062.
- Jones, A. M., Wilkerson, D. P., Vanhatalo, A., & Burnley, M. (2008). Influence of pacing strategy on O<sub>2</sub> uptake and exercise tolerance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(5), 615–626.
- Jones, A., & Poole, D. (2005a). Introduction to oxygen uptake kinetics and historical development of the discipline. *Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine*, 3–35.
- Jones, A., & Poole, D. (2005b). Oxygen uptake dynamics: from muscle to mouth--an introduction to the symposium. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(9), 1542–1550.
- Jones, A., & Poole, D. (2013). *Oxygen uptake kinetics in sport, exercise and medicine*. Routledge.
- Jorfeldt, L. (1970). Metabolism of L (plus)-lactate in human skeletal muscle during exercise. *Acta Physiologica Scandinavica. Supplementum*, 338, 1.
- Kaikkonen, H., Yrjämä, M., Siljander, E., Byman, P., & Laukkanen, R. (2000). The effect of heart rate controlled low resistance circuit weight training and endurance training on maximal aerobic power in sedentary adults. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 10(4), 211–215.
- Kalamen, J. (1968). *Measurement of Maximum Muscular Power in Man*. Ohio State University, Columbus.
- Kalva-Filho, C., Zagatto, A., Araújo, M., Santiago, P., Da Silva, A., Gobatto, C., & Papoti, M. (2015). Relationship between aerobic and anaerobic parameters from 3-minute all-out tethered swimming and 400-m maximal front crawl effort. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(1), 238–245.
- Karvonen, J., & Vuorimaa, T. (1988). Heart rate and exercise intensity during sports activities. *Sports Medicine*, 5(5), 303–311.
- Kent-Braun, J., Ng, A., Doyle, J., & Towse, T. (2002). Human skeletal muscle responses vary with age and gender during fatigue due to incremental isometric exercise. *Journal of Applied Physiology*, 93(5), 1813–1823.
- Kessler, H., Sisson, S., & Short, K. (2012). The Potential for High-Intensity Interval Training to Reduce Cardiometabolic Disease Risk. *Sports Med*, 42(6), 489–509.

- Kilding, A., Scott, M., & Mullineaux, D. (2007). A kinematic comparison of deep water running and overground running in endurance runners. *Journal of Strength and Conditioning Research/National Strength & Conditioning Association*, 21(2), 476–480.
- Kilding, A., Winter, E., & Fysh, M. (2006). A comparison of pulmonary oxygen uptake kinetics in middle-and long-distance runners. *International Journal of Sports Medicine*, 27(5), 419–426.
- Kliszczewicz, B., John, Q., Daniel, B., Gretchen, O., Michael, E., & Kyle, T. (2015). Acute exercise and oxidative stress: CrossFit™ vs. treadmill bout. *Journal of Human Kinetics*, 47(1), 81–90.
- Knuttgen, H. (1970). Oxygen debt after submaximal physical exercise. *Journal of Applied Physiology*, 29(5), 651–657. Retrieved from <http://jap.physiology.org/content/jap/29/5/651.full.pdf>
- Koerhuis, C., Van der Heide, F., & Hof, A. (2003). Energy consumption in static muscle contraction. *Eur J Appl Physiol*, 88, 588–592.
- Koga, S., Shiojiri, T., & Kondo, N. (2005). Measuring VO<sub>2</sub> kinetics: The practicalities. *Oxygen Uptake Kinetics in Sport, Exercise and Medicine*, 39–61.
- Koppo, K., Bouckaert, J., & Jones, A. (2004). Effects of training status and exercise intensity on phase II VO<sub>2</sub> kinetics. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(2), 225–232.
- Kraemer, W., Volek, J., Clark, K., Gordon, S., Puhl, S., Koziris, L., ... Sebastianelli, W. (1999). Influence of exercise training on physiological and performance changes with weight loss in men. *Med Sci Sports Exerc*, 31(9), 1320–1329.
- Krogh, A., & Lindhard, J. (1913). The regulation of respiration and circulation during the initial stages of muscular work. *The Journal of Physiology*, 47(1–2), 112–136.
- Krustrup, P., Secher, N., Relu, M., Hellsten, Y., Söderlund, K., & Bangsbo, J. (2008). Neuromuscular blockade of slow twitch muscle fibres elevates muscle oxygen uptake and energy turnover during submaximal exercise in humans. *The Journal of Physiology*, 586(24), 6037–6048.
- Krustrup, P., Söderlund, K., Mohr, M., & Bangsbo, J. (2004). The slow component of oxygen uptake during intense, sub-maximal exercise in man is associated with additional fibre recruitment. *Pflügers Archiv*, 447(6), 855–866.
- Krustrup, P., Söderlund, K., Relu, M., Ferguson, R., & Bangsbo, J. (2009). Heterogeneous recruitment of quadriceps muscle portions and fibre types during moderate intensity knee-extensor exercise: effect of thigh occlusion. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(4), 576–584.

- Laforgia, J., Withers, R., & Gore, C. (2006). Effects of exercise intensity and duration on the excess post-exercise oxygen consumption. *Journal of Sports Sciences*, 24(12), 1247–1264.
- Laforgia, J., Withers, R., Shipp, N., & Gore, C. (1997). Comparison of energy expenditure elevations after submaximal and supramaximal running. *Journal of Applied Physiology*, 82(2), 661–666.
- Laursen, P. (2010). Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20, 1–10. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01184.x>
- Laursen, P., Blanchard, M., & Jenkins, D. (2002). Acute High-Intensity Interval Training Improves Tvent and Peak Power Output in Highly Trained Males. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 27(4), 336–348.
- Laursen, P., & Jenkins, D. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training. *Sports Medicine*, 32(1), 53–73.
- Laursen, P., Shing, C., Peake, J., Coombes, J., & Jenkins, D. (2002). Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists.
- Leahy, G. (2012). Evidence-Based Physical Training: Do CrossFit or P90X Make the Cut. *Tactical Strength and Conditioning Report*.
- Leahy, G. (2014). A Research Update on Extreme Conditioning Programs: Where are we now with CrossFit? *Tactical Strength and Conditioning Report*, (32), 4–8.
- Lehmann, M., Berg, A., Kapp, R., Wessinghage, T., & Keul, J. (1983). Correlations between laboratory testing and distance running performance in marathoners of similar performance ability. *International Journal of Sports Medicine*, 4(04), 226–230.
- Linnarsson, D. (1974). Dynamics of pulmonary gas exchange and heart rate changes at start and end of exercise. *Acta Physiologica Scandinavica. Supplementum*, 415, 1–68.
- Linnarsson, D., Karlsson, J., Fagraeus, L., & Saltin, B. (1974). Muscle metabolites and oxygen deficit with exercise in hypoxia and hyperoxia. *J Appl Physiol*, 36(4), 399–402.
- Little, T., & Williams, A. (2007). Measures of exercise intensity during soccer training drills with professional soccer players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(2), 367–371.
- Lo, M., Lin, L., Yao, W., & Ma, M. (2011). Training and detraining effects of the resistance vs. endurance program on body composition, body size, and physical performance in young men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(8), 2246–2254.
- Londeree, B. (1997). Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis.

- Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(6), 837.
- Lucia, A., Hoyos, J., Santalla, A., Earnest, C., & Chicharro, J. (2003). Tour de France versus Vuelta a Espana: which is harder? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(5), 872–878.
- Macdonald, M., Pedersen, P. K., & Hughson, R. L. (1997). Acceleration of VO<sub>2</sub> kinetics in heavy submaximal exercise by hyperoxia and prior high-intensity exercise. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 83(4), 1318.
- MacInnis, M., & Gibala, M. (2016). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *The Journal of Physiology*.
- MacLaren, D. P., & Coulson, M. (1999). Critical swim speed can be used to determine changes in training status. *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII. Eds: Keskinen, KL, Komi, PV and Hollander, AP Jyvaskyla: Grummerus Printing*, 227–232.
- MacPhee, S., Shoemaker, J., Paterson, D., & Kowalchuk, J. (2005). Kinetics of O<sub>2</sub> uptake, leg blood flow, and muscle deoxygenation are slowed in the upper compared with lower region of the moderate-intensity exercise domain. *Journal of Applied Physiology*, 99(5), 1822–1834.
- Macpherson, R., Hazell, T., Olver, T., Paterson, D., & Lemon, P. (2011). Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(1), 115–122.
- Maldonado-Martin, S., Mujika, I., & Padilla, S. (2004). Physiological variables to use in the gender comparison in highly trained runners. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 44(1), 8–14.
- Margaria, R., Aghemo, P., & Rovelli, E. (1966). Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *Journal of Applied Physiology*, 21(5), 1662–1664.
- Margaria, R., Edwards, H., & Dill, D. (1933). The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *American Journal of Physiology - Legacy Content*, 106(3), 689–715.
- Matsuo, T., Saotome, K., Seino, S., Eto, M., Shimojo, N., Matsushita, A., ... Mukai, C. (2014). Low-volume, high-intensity, aerobic interval exercise for sedentary adults:  $\dot{V}O_2$ max, cardiac mass, and heart rate recovery. *European Journal of Applied Physiology*, 114(9), 1963–1972. <https://doi.org/10.1007/s00421-014-2917-7>
- Maughan, R., & Leiper, J. (1983). Aerobic capacity and fractional utilisation of aerobic capacity in elite and non-elite male and female marathon runners. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 52(1), 80–87.

- Maxwell, N., & Nimmo, M. (1996). Anaerobic capacity: a maximal anaerobic running test versus the maximal accumulated oxygen deficit. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 21(1), 35–47.
- McArdle, W., & Foglia, G. (1969). Energy cost and cardiorespiratory stress of isometric and weight training exercise. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 9(1), 23.
- McCarthy, J., Agre, J., Graf, B., Pozniak, M., & Vailas, A. (1995). Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27(3), 429–436.
- McKay, B., Paterson, D., & Kowalchuk, J. (2009). Effect of short-term high-intensity interval training vs. continuous training on O<sub>2</sub> uptake kinetics, muscle deoxygenation, and exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 107(1), 128–138. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90828.2008>
- McLellan, T., & Skinner, J. (1982). Blood lactate removal during active recovery related to the aerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 3(04), 224–229.
- McMilliam, D. (2012). Extreme Conditioning Programs: Evaluating and Managing the Risk [Internet]. NSCA's 2012 TSCA Conference: 2012 [cited 2013 Aug 9]. *National Strength and Conditioning Association*.
- McRae, G., Payne, A., Zelt, J., Scribbans, T., Jung, M., Little, J., & Gurd, B. (2012). Extremely low volume, whole-body aerobic–resistance training improves aerobic fitness and muscular endurance in females. *Appl. Physiol. Nutr. Metab*, 37, 1124–1131.
- Medbø, J., & Burgers, S. (1990). Effect of training on the anaerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc*, 22(4), 501–507.
- Medbø, J., Mohn, A., Tabata, I., Bahr, R., Vaage, O., & Sejersted, O. (1988). Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *J Appl Physiol* (1985), 64(1), 50–60.
- Medbø, J., & Tabata, I. (1993). Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *Journal of Applied Physiology*, 75(4), 1654–1660.
- Melanson, E., Sharp, T., Seagle, H., Donahoo, W., Grunwald, G., Peters, J., ... Hill, J. (2002). Resistance and aerobic exercise have similar effects on 24-h nutrient oxidation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(11), 1793–1800.
- Melanson, E., Sharp, T., Seagle, H., Donahoo, W., Grunwald, G., Peters, J., ... Hill, J. (2005). Twenty-four-hour metabolic responses to resistance exercise in women. *Journal of Strength and Conditioning Research/National Strength & Conditioning Association*, 19(1), 61–66.
- Melchiorri, G., Ronconi, M., Triossi, T., Viero, V., De Sanctis, D., Tancredi, V., ... Alvero Cruz, J.

- (2014). Detraining in young soccer players. *Journal of Sports and Medicine Physical Fitness*, 54(1), 27–33.
- Meyer, J., Morrison, J., & Zuniga, J. (2017). The Benefits and Risks of CrossFit: A Systematic Review. *Workplace Health & Safety*, 2165079916685568.
- Meyer, T., Lucia, A., Earnest, C. P., & Kindermann, W. (2005). A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters-theory and application. *International Journal of Sports Medicine*, 26(S 1), S38–S48.
- Mezzani, A., Corrà, U., Sassi, B., Colombo, R., Giordano, A., & Giannuzzi, P. (2006). Maximal accumulated oxygen deficit in patients with chronic heart failure. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(3), 424–432.
- Midgley, A., & Mc Naughton, L. (2006). Time at or near VO<sub>2</sub>max during continuous and intermittent running. A review with special reference to considerations for the optimisation of training protocols to elicit the longest time at or near VO<sub>2</sub>max. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 46(1), 1–14.
- Mil-Homens, P., Pezarat-Correia, P., & Mendonça, G. . (2015). *Treino da Força: Volume 1: Princípios Biológicos e Métodos de Treino*. (E. FMH, Ed.).
- Moholdt, T., Madssen, E., Rognmo, Ø., & Aamot, I. (2014). The higher the better? Interval training intensity in coronary heart disease. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(5), 506–510.
- Molanorouzi, K., Khoo, S., & Morris, T. (2015). Motives for adult participation in physical activity: type of activity, age, and gender. *BMC Public Health*, 15(1), 66.
- Morgan, B., Woodruff, S., & Tiidus, P. (2003). Aerobic energy expenditure during recreational weight training in females and males. *J Sports Sci Med*, 2(3), 117–122.
- Morton, R., Fitz-Clarke, J., & Banister, E. (1990). Modeling human performance in running. *Journal of Applied Physiology*, 69(3), 1171–1177.
- Mujika, I. (2009). *Tapering and peaking for optimal performance*. Human Kinetics 1.
- Mujika, I., Chatard, J., Busso, T., Geysant, A., Barale, F., & Lacoste, L. (1995). Effects of training on performance in competitive swimming. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 20(4), 395–406.
- Mujika, I., & Padilla, S. (2000a). Detraining: Loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I: short term insufficient training stimulus. *Sports Medicine*, 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 Medicine*, 30(3), 145–154. <https://doi.org/10.2165/00007256-200030030-00001>
- Mujika, I., & Padilla, S. (2001). Cardiorespiratory and metabolic characteristics of detraining in humans. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(3), 413–421.
- Murawska-Cialowicz, E., Wojna, J., & Zuwała-Jagiello, J. (2015). Crossfit training changes brain-derived neurotrophic factor and irisin levels at rest, after wingate and progressive tests, and improves aerobic capacity and body composition of young physically active men and women.
- Nakamura, F., & Franchini, E. (2006). Máximo déficit acumulado de oxigênio como preditor de capacidade anaeróbia. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, 8(1), 88–95.
- Narazaki, K., Berg, K., Stergiou, N., & Chen, B. (2009). Physiological demands of competitive basketball. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(3), 425–432.
- Nelson, M., Rejeski, W., Blair, S., Duncan, P., Judge, J., King, A., ... Castaneda-Sceppa, C. (2007). Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(8), 1435–1445. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3180616aa2>
- Newton, R. U., Häkkinen, K., Häkkinen, A., McCormick, M., Volek, J., & Kraemer, W. J. (2002). Mixed-methods resistance training increases power and strength of young and older men. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34(8), 1367–1375.
- Noble, B., & Robertson, R. (1996). The Borg scale: development, administration, and experimental use. *Perceived Exertion. Champaign: Human Kinetics*, 59–89.
- Nolte, V. (2005). *Rowing faster*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Noordhof, D., De Koning, J., & Foster, C. (2010). The maximal accumulated oxygen deficit method. *Sports Medicine*, 40(4), 285–302.
- Norris, S., & Petersen, S. (1998). Effects of endurance training on transient oxygen uptake responses in cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 16(8), 733–738. <https://doi.org/10.1080/026404198366362>
- Nybo, L., Sundstrup, E., Jakobsen, M., Mohr, M., Hornstrup, T., Simonsen, L., ... Krstrup, P. (2010). High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health. *Med Sci Sports Exerc*, 42(10), 1951–1958. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181d99203>
- O’Shea, P. (1987). Interval weight training: A scientific approach to cross-training for athletic

- strength fitness. *Strength & Conditioning Journal*, 9(2), 53–57.
- Orio, F., Giallauria, F., Palomba, S., Manguso, F., Orio, M., Tafuri, D., ... Vigorito, C. (2008). Metabolic and cardiopulmonary effects of detraining after a structured exercise training programme in young PCOS women. *Clinical Endocrinology*, 68(6), 976–981.
- Ormsbee, M., & Arciero, P. (2012). Detraining Increases Body Fat and Weight and Decreases V [Combining Dot Above] O<sub>2</sub>peak and Metabolic Rate. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(8), 2087–2095.
- Ozkan, A., & Kin-Isler, A. (2007). The reliability and validity of regulating exercise intensity by ratings of perceived exertion in step dance sessions. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(1), 296–300.
- Özyener, F., Rossiter, H., Ward, S., & Whipp, B. (2001). Influence of exercise intensity on the on- and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. *The Journal of Physiology*, 533(Pt 3), 891–902. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2001.t01-1-00891.x>
- Paoli, A., Pacelli, F., Bargossi, A., Marcolin, G., Guzzinati, S., Neri, M., ... Palma, A. (2010). Effects of three distinct protocols of fitness training on body composition, strength and blood lactate. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 50(1), 43.
- Patel, P. (2012). *The influence of a crossfit exercise intervention on glucose control in overweight and obese adults*. Kansas State University.
- Paterson, D., & Whipp, B. (1991). Asymmetries of oxygen uptake transients at the on- and offset of heavy exercise in humans. *J Physiol*, 443, 575–586.
- Perciavalle, V., Marchetta, N., Giustiniani, S., Borbone, C., Perciavalle, V., Petralia, M., ... Coco, M. (2016). Attentive processes, blood lactate and CrossFit®. *The Physician and Sportsmedicine*, 44(4), 403–406.
- Perrey, S., Candau, R., Borrani, F., Millet, G., & Rouillon, J. (2002). Recovery kinetics of oxygen uptake following severe-intensity exercise in runners. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42(4).
- Pessoa, P. (2014). *Impacto e modelação das cargas de treino em nadadores de elite portugueses*. Universidade de Lisboa.
- Phillips, S., Green, H., MacDonald, M., & Hughson, R. (1995). Progressive effect of endurance training on VO<sub>2</sub> kinetics at the onset of submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 79(6), 1914–1920.
- Phillips, W., & Ziuraitis, J. (2003). Energy cost of the ACSM single-set resistance training protocol. *Journal of Strength and Conditioning Research/National Strength & Conditioning Association*, 17(2), 350.

- Phillips, W., & Ziuraitis, J. (2004). Energy cost of single-set resistance training in older adults. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 606–609.
- Pichon, C., Hunter, G., Morris, M., Bond, R., & Metz, J. (1996). Blood Pressure and Heart Rate Response and Metabolic Cost of Circuit Versus Traditional Weight Training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 10(3), 153–156.
- Pinheiro, F., Viana, B., & Pires, F. (2014). Percepção subjetiva de esforço como marcadora da duração tolerável de exercício. *Motricidade*, 10(2), 100–106.
- Pinto, R. (2007). *Adaptações metabólicas, cardio-respiratórias, neuromusculares e na composição corporal de mulheres pré-menopáusicas e com excesso de peso em resposta ao treino físico sistemático*. *Motricidade Humana*. Universidade Técnica de Lisboa, Faculdade de Motricidade Humana.
- Pinto, R., Lupi, R., & Brentano, M. (2011). Respostas metabólicas ao treinamento de força: Uma ênfase no dispêndio energético. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, 13(2), 150–157.
- Plisk, S., & Stone, M. (2003). Periodization strategies. *Strength & Conditioning Journal*, 25(6), 19–37.
- Pollock, M., Gaesser, G., Butcher, J., Després, J., Dishman, R., Franklin, B., & Garber, C. (1998). ACSM position stand: the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 30(6), 975–991.
- Poole, D., Barstow, T., Gaesser, G., Willis, W., & Whipp, B. (1994). VO<sub>2</sub> slow component: physiological and functional significance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 26(11), 1354–1358.
- Poole, D., & Jones, A. (2012). Oxygen uptake kinetics. *Comprehensive Physiology*, 2(2), 933–996.
- Poole, D., Ward, S., Gardner, G., & Whipp, B. (1988). Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics*, 31(9), 1265–1279.
- Pringle, J., Carter, H., Doust, J., & Jones, A. (2002). Oxygen uptake kinetics during horizontal and uphill treadmill running in humans. *Eur J Appl Physiol*, 88(1–2), 163–169. <https://doi.org/10.1007/s00421-002-0687-0>
- Pringle, J., Doust, J., Carter, H., Tolfrey, K., Campbell, I., & Jones, A. (2003). Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity 'submaximal' exercise in humans: the influence of muscle fibre type and capillarisation. *European Journal of Applied Physiology*, 89(3–4), 289–300.

- Raso, V., Matsudo, S., & Matsudo, V. (2001). A força muscular de mulheres idosas decresce principalmente após oito semanas de interrupção de um programa de exercícios com pesos livres. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, 7(6 (nov/dez)).
- Ratamess, N. (2011). *ACSM's Foundations of Strength Training and Conditioning*. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins.
- Ratamess, N., Falvo, M., Mangine, G., Hoffman, J., Faigenbaum, A., & Kang, J. (2007). The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 100(1), 1–17.
- Reggiani, C., Potma, E., Bottinelli, R., Canepari, M., Pellegrino, M., & Stienen, G. (1997). Chemo-mechanical energy transduction in relation to myosin isoform composition in skeletal muscle fibres of the rat. *Journal Physiology*, 502(Pt 2), 449–460.
- Reinhard, U., Müller, P., & Schmülling, R. (1979). Determination of anaerobic threshold by the ventilation equivalent in normal individuals. *Respiration; International Review of Thoracic Diseases*, 38(1), 36.
- Reis, J. (2011). *Oxygen Uptake Kinetics in Swimming*. *Sports Science*. Universidade Técnica de Lisboa, Faculdade de Motricidade Humana - Lisboa.
- Reis, J., Alves, F., Bruno, P., Vleck, V., & Millet, G. (2012). Effects of aerobic fitness on oxygen uptake kinetics in heavy intensity swimming. *European Journal Applied Physiology*, 112(5), 1689–1697. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2126-6>
- Reis, V. (2011). Gasto energético, custo energético aeróbio e custo energético anaeróbio. *Revista Brasileira Cineantropometria Desempenho Humano*, 13(6), 484–487.
- Robergs, R., Gordon, T., Reynolds, J., & Walker, T. (2007). Energy expenditure during bench press and squat exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(1), 123–130.
- Roberts, A., & Morton, A. (1978). Total and alactic oxygen debts after supramaximal work. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 38(4), 281–289.
- Robinson, D., Robinson, S., Hume, P., & Hopkins, W. (1991). Training intensity of elite male distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(9), 1078–1082.
- Rocha, R., Bomfim, D., Nascimento, T., Moreira, S., & Simões, H. (2010). A Variação do método de incremento de cargas não altera a determinação do limiar de lactato em exercício resistido. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, 16(4), 282–285.
- Rossiter, H., Ward, S., Doyle, V., Howe, F., Griffiths, J., & Whipp, B. J. (1999). Inferences from pulmonary O<sub>2</sub> uptake with respect to intramuscular [phosphocreatine] kinetics during moderate exercise in humans. *The Journal of Physiology*, 518(3), 921–932.

- Rossiter, H., Ward, S., Howe, F., Kowalchuk, J., Griffiths, J., & Whipp, B. (2002). Dynamics of intramuscular  $^{31}\text{P}$ -MRS P(i) peak splitting and the slow components of PCr and O<sub>2</sub> uptake during exercise. *J Appl Physiol* (1985), 93(6), 2059–2069. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00446.2002>
- Rowell, L. (1974). Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiological Reviews*, 54(1), 75–159.
- Sahlin, K., Sørensen, J., Gladden, L., Rossiter, H., & Pedersen, P. (2005). Prior heavy exercise eliminates Vo(2) slow component and reduces efficiency during submaximal exercise in humans. *The Journal of Physiology*, 564(Pt 3), 765–773. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2005.083840>
- Salmon, J., Owen, N., Crawford, D., Bauman, A., & Sallis, J. (2003). Physical activity and sedentary behavior: a population-based study of barriers, enjoyment, and preference. *Health Psychology*, 22(2), 178.
- Saltin, B., & Astrand, P. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *Journal of Applied Physiology*, 23(3), 353–358.
- Saltin, B., & Gollnick, P. (1983). Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. *Comprehensive Physiology*, 555–631.
- Saltin, B., Kim, C., Terrados, N., Larsen, H., Svedenhag, J., & Rolf, C. (1995). Morphology, enzyme activities and buffer capacity in leg muscles of Kenyan and Scandinavian runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 5(4), 222–230.
- Saltin, B., Larsen, H., Terrados, N., Bangsbo, J., Bak, T., Kim, C., ... Rolf, C. (1995). Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 5(4), 209–221.
- Saltin, B., & Strange, S. (1992). Maximal oxygen uptake: "old" and "new" arguments for a cardiovascular limitation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 24(1), 30–37.
- Santa-Clara, H., Fernhall, B., Baptista, F., Mendes, M., & Bettencourt-Sardinha, L. (2003). Effect of a One-Year Combined Exercise Training Program on Body Composition in Men With Coronary Artery Disease. *Metabolism*, 52(11), 1413–1417.
- Scheuermann, B., & Barstow, T. (2003). O<sub>2</sub> uptake kinetics during exercise at peak O<sub>2</sub> uptake. *Journal of Applied Physiology*, 95(5), 2014–2022.
- Scheuermann, B., Hoelting, B., Noble, M., & Barstow, T. (2001). The slow component of O<sub>2</sub> uptake is not accompanied by changes in muscle EMG during repeated bouts of heavy exercise in humans. *The Journal of Physiology*, 53(1), 245–256.

- Scott, C. (2006a). Contribution of Blood Lactate to the Energy Expenditure of Weight Training. *Journal of Strength and Conditioning Research: The Research Journal of the NSCA*, 20(2), 404–411.
- Scott, C. (2006b). Estimating energy expenditure for brief bouts of exercise with acute recovery. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 31(2), 144–149.
- Scott, C., & Kemp, R. (2005). Direct and indirect calorimetry of lactate oxidation: implications for whole-body energy expenditure. *Journal of Sports Sciences*, 23(1), 15–19.
- Scott, C., Roby, F., Lohman, T., & Bunt, J. (1991). The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23(5), 618.
- Secher, N. (1983). The physiology of rowing. *Journal of Sports Sciences*, 1(1), 23–53.
- Sedlock, D., Fissinger, J., & Melby, C. (1989). Effect of exercise intensity and duration on postexercise energy expenditure. *Med Sci Sports Exerc*, 21(6), 662–666.
- Seiler, S., & Sjursen, J. (2004). Effect of work duration on physiological and rating scale of perceived exertion responses during self-paced interval training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 14(5), 318–325.
- Shaw, S., Dullabh, M., Forbes, G., Brandkamp, J., & Shaw, I. (2015). Analysis of physiological determinants during a single bout of Crossfit. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 15(3), 809–815. <https://doi.org/10.1080/24748668.2015.11868832>
- Shinkai, S., Watanabe, S., Kurokawa, Y., Torii, J., Asai, H., & Shephard, R. (1994). Effects of 12 weeks of aerobic exercise plus dietary restriction on body composition, resting energy expenditure and aerobic fitness in mildly obese middle-aged women. *European Journal Applied Physiology*, 68(3), 258–265.
- Silva, P., Andrade, A., Riça, W., Visconti, A., Ponte, F., Rosa, A., ... Souza, J. (1998). Perfil de limiares ventilatórios durante o exercício e o consumo de oxigênio de pico verificado em jogadoras de futebol. *Acta Fisiátrica*, 5(2), 121–127.
- Simonson, S. (2010). Teaching the resistance training class: A circuit training course designed for the strength and conditioning coach/Personal trainer. *Strength & Conditioning Journal*, 32(3), 90–96.
- Skelly, L., Andrews, P., Gillen, J., Martin, B., Percival, M., & Gibala, M. (2014). High-intensity interval exercise induces 24-h energy expenditure similar to traditional endurance exercise despite reduced time commitment. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(7), 845–848.
- Smith, J., & Mc Naughton, L. (1993). The effects of intensity of exercise on excess postexercise

- oxygen consumption and energy expenditure in moderately trained men and women. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 67(5), 420–425.
- Sobrero, G. L., Schafer, M. A., Arnett, S. W., Lyons, S., Navalta, J. W., Stone, W. J., ... Eveland, E. (2013). Comparison of aerobic and anaerobic power in CrossFit and resistance trained individuals. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(4), 13–16. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318289e59f>
- Sousa, A., Figueiredo, P., Keskinen, K., Rodríguez, F., Machado, L., Vilas-Boas, J., & Fernandes, R. (2011). VO<sub>2</sub> off transient kinetics in extreme intensity swimming. *Journal of Sports Science & Medicine*, 10(3), 546.
- Spencer, M., & Gastin, P. (2001). Energy system contribution during 200-to 1500-m running in highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(1), 157–162.
- Spriet, L. L. (1995). Caffeine and performance. *International Journal of Sport Nutrition*, 5(s1), S84–S99.
- Staron, R., Leonardi, M., Karapondo, D., Malicky, E., Falkel, J., Hagerman, F., & Hikida, R. (1991). Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *Journal of Applied Physiology (1985)*, 70(2), 631–640.
- Stegemann, J. (1991). *Leistungsphysiologie: physiologische Grundlagen der Arbeit und des Sports*. Thieme.
- Stephens, N., Hawley, J., Dennis, S., & Hopkins, W. (1999). Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Med Sci Sports Exerc*, 31(5), 736–741.
- Stone, M., Stone, M., & Sands, W. (2007). Principles and practice of resistance training. In Champaign (Ed.), *Cap. 13*. Philadelphia: Human Kinetics.
- Swain, D. (2005). Moderate or vigorous intensity exercise: which is better for improving aerobic fitness? *Prev Cardiology*, 8(1), 55–58.
- Swain, D., Brawner, C., & Medicine, A. C. of S. (2012). *ACSM's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Tabata, I., Nishimura, K., Kouzaki, M., Hirai, Y., Ogita, F., Miyachi, M., & Yamamoto, K. (1996). Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO<sub>2</sub>max. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(10), 1327–1330.
- Teixeira-Salmela, L., Santiago, L., Lima, R., Lana, D., Camargos, F., & Cassiano, J. (2005). Functional performance and quality of life related to training and detraining of community-dwelling elderly. *Disabil Rehabil*, 27(17), 1007–1012.
- Teixeira, P., Going, S., Houtkooper, L., Metcalfe, L., Blew, R., Flint-Wagner, H., ... Lohman, T.

- (2003). Resistance training in postmenopausal women with and without hormone therapy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(4), 555–562.
- Tesch, P. A., Komi, P. V., & Häkkinen, K. (1987). Enzymatic adaptations consequent to long-term strength training. *International Journal of Sports Medicine*, 8(S 1), S66–S69.
- Thomassen, M., Christensen, P., Gunnarsson, T., Nybo, L., & Bangsbo, J. (2010). Effect of 2-wk intensified training and inactivity on muscle Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> pump expression, phospholemman (FXD1) phosphorylation, and performance in soccer players. *Journal of Applied Physiology* (1985), 108(4), 898–905. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01015.2009>
- Thompson, W. (2013). Now trending: worldwide survey of fitness trends for 2014. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 17(6), 10–20.
- Thompson, W. (2016). Worldwide survey of fitness trends for 2017. *ACSM's Health & Fitness Journal*, 20(6), 8–17.
- Thompson, W. (2017). Worldwide survey of fitness trends for 2018. *ACSM's Health & Fitness Journal*.
- Thomson, J., Green, H., & Houston, M. (1979). Muscle glycogen depletion patterns in fast twitch fibre subgroups of man during submaximal and supramaximal exercise. *Pflügers Archiv*, 379(1), 105–108.
- Thornton, M., & Potteiger, J. (2002). Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4), 715–722.
- Tjonna, A., Leinan, I., Bartnes, A., Jenssen, B., Gibala, M., Winett, R., & Wisloff, U. (2013). Low- and high-volume of intensive endurance training significantly improves maximal oxygen uptake after 10-weeks of training in healthy men. *PLoS ONE*, 8(5), e65382. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065382>
- Tjonna, A., Stolen, T., Bye, A., Volden, M., Slørdahl, S., Odegård, R., ... Wisloff, U. (2009). Aerobic interval training reduces cardiovascular risk factors more than a multitreatment approach in overweight adolescents. *Clinical Science*, 116(4), 317–326.
- Toulotte, C., Thevenon, A., & Fabre, C. (2006). Effects of training and detraining on the static and dynamic balance in elderly fallers and non-fallers: a pilot study. *Disabil Rehabil*, 28(2), 125–133. <https://doi.org/10.1080/09638280500163653>
- Tremblay, A., Simoneau, J., & Bouchard, C. (1994). Impact of exercise intensity on body fatness and skeletal muscle metabolism. *Metabolism*, 43(7), 814–818.
- Trilk, J. L., Singhal, A., Bigelman, K. A., & Cureton, K. J. (2011). Effect of sprint interval training on circulatory function during exercise in sedentary, overweight/obese women. *European Journal of Applied Physiology*, 111(8), 1591–1597.

- Volaklis, K., Douda, H., Kokkinos, P., & Tokmakidis, S. (2006). Physiological alterations to detraining following prolonged combined strength and aerobic training in cardiac patients. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation*, 13(3), 375–380.
- Vukovich, M., Arciero, P., Kohrt, W., Racette, S., Hansen, P., & Holloszy, J. (1996). Changes in insulin action and GLUT-4 with 6 days of inactivity in endurance runners. *Journal of Applied Physiology* (1985), 80(1), 240–244.
- Wallace, L., Slattery, K., & Coutts, A. (2014). A comparison of methods for quantifying training load: relationships between modelled and actual training responses. *European Journal Applied Physiology*, 114(1), 11–20. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2745-1>
- Waller, M., Miller, J., & Hannon, J. (2011). Resistance circuit training: Its application for the adult population. *Strength & Conditioning Journal*, 33(1), 16–22.
- Walsh, B., Tonkonogi, M., Söderlund, K., Hultman, E., Saks, V., & Sahlin, K. (2001). The role of phosphorylcreatine and creatine in the regulation of mitochondrial respiration in human skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, 537(3), 971–978.
- Walsh, M. L. (2000). Whole body fatigue and critical power. *Sports Medicine*, 29(3), 153–166.
- Wang, J., Jen, C., & Chen, H. (1997). Effects of chronic exercise and deconditioning on platelet function in women. *Journal of Applied Physiology* (1985), 83(6), 2080–2085.
- Wasserman, K., Whipp, B., & Castagna, J. (1974). Cardiodynamic hyperpnea: hyperpnea secondary to cardiac output increase. *Journal of Applied Physiology*, 36(4), 457.
- Weber, C., & Schneider, D. (2000). Maximal accumulated oxygen deficit expressed relative to the active muscle mass for cycling in untrained male and female subjects. *European Journal of Applied Physiology*, 82(4), 255–261.
- Weber, C., & Schneider, D. (2002). Increases in maximal accumulated oxygen deficit after high-intensity interval training are not gender dependent. *Journal of Applied Physiology*, 92(5), 1795–1801.
- Wells, C., & Pate, R. (1988). Training for performance of prolonged exercise. *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine*, 1, 357–391.
- Weltman, A. (1995). *The blood lactate response to exercise*. Human Kinetics Publishers.
- Weston, A., Myburgh, K., Lindsay, F., Dennis, S., Noakes, T., & Hawley, J. (1996). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(1), 7–13.
- Weston, M., Taylor, K., Batterham, A., & Hopkins, W. (2014). Effects of Low-Volume High-Intensity Interval Training (HIT) on Fitness in Adults: A Meta-Analysis of Controlled and

- Non-Controlled Trials. *Sports Medicine*, 7(44), 1005–1017.
- Whipp, B. (1987). Dynamics of pulmonary gas exchange. *Circulation*, 76(6 Pt 2), VI 18-28.
- Whipp, B. (1994). The slow component of O<sub>2</sub> uptake kinetics during heavy exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(11), 1319–1326.
- Whipp, B., & Mahler, M. (1980). Dynamics of Pulmonary Gas Exchange during. *Organism and Environment*, 2, 33.
- Whipp, B., Rossiter, H., & Ward, S. (2002). Exertional oxygen uptake kinetics: a stamen of stamina? *Biochemical Society Transactions*, 30(2), 237–247.
- Whipp, B., & Ward, S. (1990). Physiological determinants of pulmonary gas exchange kinetics during exercise. *Medicine Science Sports Exercise*, 22(1), 62–71.
- Whipp, B., Ward, S., Lamarra, N., Davis, J., & Wasserman, K. (1982). Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 52(6), 1506–1513.
- Whipp, B., Ward, S., & Rossiter, H. (2005). Pulmonary O<sub>2</sub> uptake during exercise: conflating muscular and cardiovascular responses. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(9), 1574–1585.
- Whipp, B., & Wasserman, K. (1972). Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *Journal of Applied Physiology*, 33(3), 351–356.
- Whipp, J., & Ward, A. (1992). Gas Exchange Dynamics and the Tolerance to Muscular Exercise: Effects of Fitness and Training. *The Annals of Physiological Anthropology*, 11(3), 207–214.
- Wilkerson, D., & Jones, A. (2006). Influence of initial metabolic rate on pulmonary O<sub>2</sub> uptake on-kinetics during severe intensity exercise. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 152(2), 204–219.
- Wilkerson, D., & Jones, A. (2007). Effects of baseline metabolic rate on pulmonary O<sub>2</sub> uptake on-kinetics during heavy-intensity exercise in humans. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 156(2), 203–211.
- Wilkerson, D., Koppo, K., Barstow, T., & Jones, A. (2004). Effect of work rate on the functional gain of Phase II pulmonary O<sub>2</sub> uptake response to exercise. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 2(142), 211–223.
- Williams, P. T. (2008). Vigorous exercise, fitness and incident hypertension, high cholesterol, and diabetes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(6), 998.
- Willis, W., & Jackman, M. (1994). Mitochondrial function during heavy exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26(11), 1347–1353.
- Wilmore, J., Parr, R., Girandola, R., Ward, P., Vodak, P., Barstow, T., ... Leslie, P. (1978).

- Physiological alterations consequent to circuit weight training. *Med Sci Sports*, 10(2), 79.
- Wilmore, J., Parr, R., Ward, P., Vodak, P., Barstow, T., Pipes, T., ... Leslie, P. (1978). Energy cost of circuit weight training. *Medicine & Science in Sports*, 10(2), 75–78.
- Womack, C. J., Davis, S. E., Blumer, J. L., Barrett, E., Weltman, A. L., & Gaesser, G. A. (1995). Slow component of O<sub>2</sub> uptake during heavy exercise: adaptation to endurance training. *Journal of Applied Physiology*, 79(3), 838–845.
- Xu, F., & Rhodes, E. (1999). Oxygen Uptake Kinetics During Exercise. *Sports Med*, 27(5), 313–327.
- Yano, T., Yunoki, T., Matsuura, R., Arimitsu, T., & Kimura, T. (2007). Excessive oxygen uptake during exercise and recovery in heavy exercise. *Physiological Research*, 56, 721–725.
- Yázigi, F. (2008). *Efeito de três meses de destreino na capacidade funcional de idosos*. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Zagatto, A., & Gobatto, C. (2012). Relationship between anaerobic parameters provided from MAOD and critical power model in specific table tennis test. *International Journal of Sports Medicine*, 33(08), 613–620.
- Zagatto, A., Redkva, P., Loures, J., Kalva, F., Franco, V., Kaminagakura, E., & Papoti, M. (2011). Anaerobic contribution during maximal anaerobic running test: correlation with maximal accumulated oxygen deficit. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21(6), e222.
- Zoladz, J., Gladden, L., Hogan, M., Nieckarz, Z., & Grassi, B. (2008). Progressive recruitment of muscle fibers is not necessary for the slow component of Vo<sub>2</sub> kinetics. *J Appl Physiol*, 105, 575–580.