

TIAGO TURNES

**TREINAMENTO INTERVALADO NO LIMITE INFERIOR E
SUPERIOR DO DOMÍNIO SEVERO: EFEITOS SOBRE
VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS E DESEMPENHO NO CICLISMO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano do Centro de Ciências da Saúde e do Esporte – CEFID, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências do Movimento Humano.
Orientador: Prof. Dr. Fabrizio Caputo

**FLORIANÓPOLIS
2013**

TIAGO TURNES

**TREINAMENTO INTERVALADO NO LIMITE INFERIOR E
SUPERIOR DO DOMÍNIO SEVERO: EFEITOS SOBRE
VARIÁVEIS FISIOLÓGICAS E DESEMPENHO NO CICLISMO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação / Mestrado em Ciências do Movimento Humano do Centro de Ciências da Saúde e do Esporte – CEFID, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

Banca Examinadora:

Orientador:_____

Prof. Dr. Fabrizio Caputo
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Membro:_____

Prof. Dr. Fernando Diefenthaler
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Membro:_____

Prof. Dr. Ricardo Dantas de Lucas
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Membro:_____

Prof. Dr. Andreia Pelegrini
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Florianópolis, SC - 5 de Junho de 2013

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer às pessoas que me ajudaram muito, direta e indiretamente, na realização desta pesquisa, inclusive àquelas que, por um lapso, eu possa ter aqui omitido. De uma forma geral, queria deixar meu muito obrigado a todos que são especiais em minha vida e agradecer a Deus por colocá-los próximos a mim.

Primeiramente, quero agradecer a meus pais e minha família, que me deram apoio incondicional em todos os momentos da minha vida para que eu pudesse seguir este caminho, ajudando no que fosse preciso. Gostaria que soubessem que me orgulho muito de pertencer a esta família e sou muito feliz em ter vocês sempre ao meu lado. Gostaria de agradecer, em especial, à minha namorada Jordana que, com muita felicidade, está sempre ao meu lado, apoiando-me e incentivando para que tudo dê certo. Queria que soubessem que este trabalho é dedicado a vocês.

Em especial, gostaria de agradecer ao meu orientador, Fabrizio Caputo, e à sua família, Mariana e os meninos Caio e Alexandre, por dividirem seu marido/pai comigo por tanto tempo, e principalmente pela ajuda sempre bem-vinda. Além disso, pela sua ajuda direta na minha formação, dando-me um exemplo de profissional, amigo e pessoa.

Agradeço também a TODOS os membros do LAPEDH, com os quais devo ter passado mais tempo do que com minha família, permitindo a felicidade diária em tê-los na minha companhia, e que fizeram este trabalho ser realizado com qualidade, ajudando-me no que fosse necessário. Gostaria que soubessem que é muito bom estar ao lado de vocês.

Por fim, gostaria de agradecer a TODOS os voluntários, por assumirem um árduo compromisso comigo ao longo desses meses, com comprometimento, um pouco de sofrimento e alegria. Quero que saibam que sem vocês este trabalho não teria saído do papel, e graças a vocês, posso confirmar, esta pesquisa foi realizada com sucesso, pois contou com pessoas que se comprometeram e deram o seu sangue e suor em cima de uma bicicleta. Vocês “são os caras”, muito obrigado! Enfim, gostaria de dedicar a todos vocês que tornaram possível a realização deste trabalho.

RESUMO

TURNES, T. **Treinamento intervalado no limite inferior e superior do domínio severo: Efeitos sobre variáveis fisiológicas e desempenho no ciclismo.** 2013. 108f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano – Área: Desempenho no Esporte) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Florianópolis, 2013.

O objetivo deste estudo foi observar os efeitos do treinamento intervalado realizado no limite inferior e superior do domínio severo sobre variáveis fisiológicas e desempenho no ciclismo. Após teste incremental, determinação da potência crítica (PC) e da maior intensidade em que o $\text{VO}_{2\text{max}}$ é alcançado (ISUP), teste de Wingate e Contra-relógio de 250kJ, os sujeitos foram divididos em dois grupos de treinamento, que foi realizado três vezes por semana, em um período de quatro semanas. Um grupo treinou em intensidade 5% acima da PC (Grupo 105%PC, $n = 8$) e outro na intensidade de ISUP (Grupo ISUP, $n = 8$). A sessão de treinamento na ISUP provocou maiores concentrações de lactato sanguíneo, frequência cardíaca e tempo próximo ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ comparado ao grupo 105%PC ($p \leq 0,05$), sem diferenças no trabalho total realizado nas sessões de treinamento entre os grupos. Os grupos ISUP e 105%PC obtiveram similar adaptação ($p < 0,05$) na potência pico do teste incremental (ISUP: 266 ± 40 ; $294 \pm 38\text{W}$ vs. 105%PC: 254 ± 36 ; $283 \pm 32\text{W}$), limiar anaeróbio (ISUP: 154 ± 42 ; $184 \pm 36\text{W}$ vs. 105%PC: 145 ± 44 ; $170 \pm 31\text{W}$), PC (ISUP: 209 ± 47 ; $233 \pm 35\text{W}$ vs. 105%PC: 198 ± 26 vs. $222 \pm 28\text{W}$), ISUP (338 ± 51 ; $357 \pm 51\text{W}$ vs. 105%PC: 319 ± 33 ; $340 \pm 33\text{W}$), $\text{VO}_{2\text{max}}$ relativo (ISUP: $47,5 \pm 5,7$; $50,7 \pm 6,9\text{ml/kg/min}^{-1}$ vs. 105%PC: $47,2 \pm 3,9$; $48,8 \pm 3,7\text{ml/kg/min}^{-1}$) e tempo de prova de contra-relógio de 250kJ (ISUP: 1137 ± 217 ; $1019 \pm 182\text{s}$ vs. 105%PC: 1188 ± 180 ; $1072 \pm 171\text{s}$). Ambos os grupos não provocaram adaptações na capacidade de trabalho acima da PC, menor tempo em que o $\text{VO}_{2\text{max}}$ é alcançado e índice de fadiga do teste de Wingate ($p > 0,05$). Apenas o grupo ISUP provocou melhoras significantes no $\text{VO}_{2\text{max}}$ absoluto (ISUP: 3558 ± 446 ; $3790 \pm 496\text{ ml/min}^{-1}$ vs. 105%PC: 3638 ± 388 ; $3708 \pm 390\text{ml/min}^{-1}$), limiar de lactato (ISUP: 66 ± 27 ; $98 \pm 28\text{W}$ vs. 105%PC: 69 ± 18 ; $100 \pm 20\text{W}$) e potência pico (ISUP: 894 ± 111 ; $951 \pm 124\text{W}$ vs. 105%PC: 918 ± 119 ; $924 \pm 122\text{W}$) e média (ISUP: 705 ± 65 ; $743 \pm 79\text{W}$ vs. 105%PC: 729 ± 79 ; $736 \pm 81\text{W}$) do teste de Wingate ($p < 0,05$). Em conclusão, a maior e menor intensidade do domínio severo foram de igual eficiência para melhorar nos principais índices fisiológicos aeróbios como no desempenho aeróbio de média duração ($\sim 18\text{min}$). Entretanto, apenas o grupo de treinamento no limite superior do domínio severo provocou melhoras nos parâmetros anaeróbios no teste de Wingate. Dessa forma, o treinamento na ISUP parece ser vantajoso em relação a 105%PC quando o objetivo do treinamento é melhorar também o desempenho anaeróbio no ciclismo.

Palavras-chave: Ciclismo. Consumo de oxigênio. Treinamento intervalado. Desempenho.

ABSTRACT

TURNES, T. **Interval training at lower and upper boundary of severe domain: Effects on physiological variables and performance in cycling.** 2013. 108f. Dissertation (Master's program in Human Movement Sciences – Area: Performance in Sports) – State University of Santa Catarina. Master's Program in Human Movement Sciences. Florianópolis, 2013.

The aim of this study was to observe the effects of training performed at the lower and upper boundary of severe intensity domain on physiological variables and performance on cycling. After an incremental test, and determination of critical power (PC) and determination of the highest intensity in which $\text{VO}_{2\text{max}}$ is attained (ISUP), Wingate test and 250kJ time-trial, the subjects were divided in two training groups, that were performed three times for week, for a four weeks period. A group trained on intensity 5% above PC (105%PC group, $n = 8$) and the other on ISUP intensity (ISUP group, $n = 8$). The ISUP session training provoked higher blood lactate concentration, heart rate and time near $\text{VO}_{2\text{max}}$ than 105%PC group ($p \leq 0.05$), with no differences in total work performed on training session between groups. The ISUP and 105%PC improved equally ($p < 0.05$) the higher intensity in incremental test (ISUP: 266 ± 40 ; $294 \pm 38\text{W}$ vs. 105%PC: 254 ± 36 ; $283 \pm 32\text{W}$), anaerobic threshold (ISUP: 154 ± 42 ; $184 \pm 36\text{W}$ vs. 105%PC: 145 ± 44 ; $170 \pm 31\text{W}$), PC (ISUP: 209 ± 47 ; $233 \pm 35\text{W}$ vs. 105%PC: 198 ± 26 vs. $222 \pm 28\text{W}$), ISUP (ISUP: 338 ± 51 ; $357 \pm 51\text{W}$ vs. 105%PC: 319 ± 33 ; $340 \pm 33\text{W}$), relative $\text{VO}_{2\text{max}}$ (ISUP: 47.5 ± 5.7 ; $50.7 \pm 6.9\text{ml.kg.min}^{-1}$ vs. 105%PC: 47.2 ± 3.9 ; $48.8 \pm 3.7\text{ml.kg.min}^{-1}$) and 250-kJ time-trial performance (ISUP: 1137 ± 217 ; $1019 \pm 182\text{s}$ vs. 105%PC: 1188 ± 180 ; $1072 \pm 171\text{s}$). Both groups had no changes on work capacity above PC, lowest exercise duration in which $\text{VO}_{2\text{max}}$ is attained and fatigue index in Wingate test ($p > 0.05$). Only ISUP group improved the absolute $\text{VO}_{2\text{max}}$ (ISUP: 3558 ± 446 ; $3790 \pm 496\text{ ml.min}^{-1}$ vs. 105%PC: 3638 ± 388 ; $3708 \pm 390\text{ml.min}^{-1}$), lactate threshold (ISUP: 66 ± 27 ; $98 \pm 28\text{W}$ vs. 105%PC: 69 ± 18 ; $100 \pm 20\text{W}$) and peak (ISUP: 894 ± 111 ; $951 \pm 124\text{W}$ vs. 105%PC: 918 ± 119 ; $924 \pm 122\text{W}$) and mean (ISUP: 705 ± 65 ; $743 \pm 79\text{W}$ vs. 105%PC: 729 ± 79 ; $736 \pm 81\text{W}$) power of Wingate test ($p < 0.05$). In conclusion, the highest and the lowest intensity of severe domain were equally efficient to improve the aerobic indexes and aerobic performance of middle duration (~18min). However, only the training on the upper boundary of severe domain improves $\text{VO}_{2\text{max}}$ and anaerobic parameters of Wingate test. Therefore, ISUP training seems to be more advantageous compared to 105%PC when the aim is improve the anaerobic performance in cycling.

Key words: Cycling. Oxygen uptake. Interval training. Performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema do delineamento experimental	45
Figura 2 – Representação esquemática dos períodos pré e pós-treinamento durante as seis visitas.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estudos que investigaram os efeitos do treinamento intervalado sobre variáveis fisiológicas e de desempenho.	29
Tabela 2 – Estudos que investigaram os efeitos do treinamento intervalado realizado em intensidade máxima, sobre variáveis fisiológicas e de desempenho.....	41
Tabela 3 – Resumo das sessões de treinamento, em ambos os grupos..	52
Tabela 4 – Efeitos do treinamento sobre as variáveis antropométricas.	54
Tabela 5 – Características dos dois tipos de treinamento realizados.....	56
Tabela 6 - Respostas das concentrações de lactato sanguíneo, na primeira e última sessão de treinamento, em ambos os grupos	57
Tabela 7 - Respostas da frequência cardíaca, na primeira e última sessão de treino, em ambos os grupos.	58
Tabela 8 - Respostas da média do VO_2 e FC, bem como total de O_2 consumido, na primeira e última sessão de treino, em ambos os grupos.....	59
Tabela 9 – Efeitos do treinamento sobre o teste incremental, modelo de potência crítica e determinação da ISUP.	60
Tabela 10 – $\text{VO}_{2\text{max}}$ dos testes Incremental, Confirmação, 95, 100 e 110% P_{MAX} , e também da média do $\text{VO}_{2\text{max}}$, média do $\text{VO}_{2\text{max}} - 1\text{DP}$ e $\text{VO}_{2\text{max}}$ no teste de ISUP.....	64

Tabela 11 – Efeitos do treinamento, realizado na ISUP e a 105%PC, sobre o VO_2max expresso em relação a massa corporal.	65
Tabela 12 – Valores referentes à potência pico, potência média e índice de fadiga no teste de Wingate.	66
Tabela 13 - Efeitos do treinamento sobre o tempo total e potência do teste de Contra-relógio de 250kJ.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS

LL – Limiar de lactato
VO₂ – Consumo de oxigênio
PC – Potência crítica
VO₂max – Consumo máximo de oxigênio
105%PC – Intensidade 5% acima da PC
ISUP – Maior intensidade em que o VO₂max é alcançado
T_{LIM} – Tempo de exaustão
TSUP – Menor duração de exercício em que o VO₂max é alcançado
W' – Capacidade de trabalho acima da PC
LAn – Limiar anaeróbio
P_{MAX}: Maior intensidade no teste incremental
[PCr] – Concentração de fosfocreatina
MFEL – Máxima fase estável de lactato
FC – Frequência cardíaca
PCI – Potência crítica intermitente
Δ50% – Intensidade de 50% da diferença entre o LL e VO₂max
GET – *Gas exchange threshold*
EM – Eficiência de movimento
OPLA – *Onset of plasma lactate accumulation*
OBLA – *Onset of blood lactate accumulation*
LV1 – Primeiro limiar ventilatório
LV2 – Segundo limiar ventilatório
[La] – Concentrações de lactato sanguíneo
VO₂maxINC – VO₂max do teste incremental
VO₂maxCON – VO₂max do teste de confirmação após teste incremental
VO₂max95 – VO₂max do teste a 95%P_{MAX}
VO₂max100 – VO₂max do teste a 100%P_{MAX}
VO₂max110 – VO₂max do teste a 110%P_{MAX}
VO₂max – 1DP: VO₂max menos 1 desvio padrão
VO₂maxISUP – VO₂max do teste de ISUP
PP – Pico de potência do teste de Wingate
PM – Média de potência do teste de Wingate
T1 – Primeira sessão de treinamento
T12 – Última sessão de treinamento
t@95% – Tempo mantido acima de 95% do VO₂max

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 O PROBLEMA	12
1.2 JUSTIFICATIVA	14
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo geral	15
1.3.2 Objetivos específicos	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 DOMÍNIOS DA INTENSIDADE DO EXERCÍCIO	16
2.2 CINÉTICA DO VO_2 NOS DIFERENTES DOMÍNIOS DO EXERCÍCIO	17
2.3 MENOR INTENSIDADE EM QUE O VO_2 MAX É ATINGIDO	19
2.4 MAIOR INTENSIDADE EM QUE O VO_2 MAX É ATINGIDO	20
2.5 EFEITOS DO TREINAMENTO SOBRE A CINÉTICA DO VO_2	22
2.6 EFEITOS DO TREINAMENTO DE ALTA INTENSIDADE SOBRE ÍNDICES FISIOLÓGICOS	29
2.7 CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO	32
2.8 POTÊNCIA MÁXIMA DO TESTE INCREMENTAL	34
2.9 LIMIARES DE TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA	35
2.10 POTÊNCIA CRÍTICA	38
2.11 DESEMPENHO EM TESTES DE CONTRA-RELÓGIO	39
2.12 TESTE DE WINGATE	40
2.13 ADAPTAÇÕES METABÓLICAS	43
3 MATERIAIS E MÉTODOS	44
3.1 SUJEITOS DA PESQUISA	44
3.2 PROTOCOLO EXPERIMENTAL	45
3.2.1 Delineamento experimental	45
3.2.2 Avaliação antropométrica	46
3.2.3 Determinação da P_{MAX}	47
3.2.4 Testes de carga constante	48
3.2.5 Determinação da potência crítica	49
3.2.7 Determinação da maior intensidade (ISUP) e menor tempo de exercício (TSUP) em que o VO_2 max é alcançado	50
3.2.8 Teste de Wingate	50
3.2.9 Teste de Contra-relógio de 250kJ	51
3.2.10 Modelos de treinamento	52
3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	53

4 RESULTADOS	54
4.1 VARIÁVEIS ANTROPOMÉTRICAS	54
4.2 RESPOSTAS AGUDAS NA PRIMEIRA E ÚLTIMA SESSÃO DE TREINAMENTO.....	55
4.3 TESTE INCREMENTAL	59
4.4 DETERMINAÇÃO DA PC E W'	61
4.5 DETERMINAÇÃO DA ISUP E TSUP	62
4.6 VO ₂ max.....	63
4.7 TESTE DE WINGATE	65
4.8 TESTE DE CONTRA-RELÓGIO DE 250KJ.....	66
5 DISCUSSÃO	68
5.1 EFEITOS DO TREINAMENTO SOBRE O VO ₂ MAX	72
5.2 EFEITOS DO TREINAMENTO SOBRE A ISUP E TSUP	75
5.3 EFEITOS DO TREINAMENTO SOBRE OS ÍNDICES FISIOLÓGICOS AERÓBIOS.....	76
5.4 EFEITOS DO TREINAMENTO SOBRE O TESTE DE WINGATE	81
5.5 TESTE DE CONTRA-RELÓGIO DE 250KJ.....	85
6 CONCLUSÃO	86
REFERÊNCIAS	87

1 INTRODUÇÃO

1.1 O PROBLEMA

Os índices fisiológicos relacionados com a aptidão aeróbia, além de proporcionarem importantes aplicações dentro da área de avaliação e treinamento desportivo (DENADAI, ORTIZ *et al.*, 2004), exercem uma função importante na classificação dos domínios da intensidade do exercício (GAESSER e POOLE, 1996; HILL, POOLE *et al.*, 2002).

Com base nisso, três domínios da intensidade do exercício tem sido definidos: moderado, pesado e severo (GAESSER e POOLE, 1996; HILL, POOLE *et al.*, 2002). Durante a transição repouso-exercício, no domínio moderado, que compreende as intensidades abaixo do limiar de lactato (LL), o VO_2 atinge a demanda do exercício de forma monoexponencial dentro de dois a três minutos. No domínio pesado, correspondente às intensidades acima do LL e abaixo da potência crítica (PC), o VO_2 atinge sua demanda de forma biexponencial em torno de 15 a 20 minutos (HILL, POOLE *et al.*, 2002; CAPUTO, 2006).

O domínio severo, que compreende as intensidades acima da PC, caracteriza-se pelo alcance do $\text{VO}_{2\text{max}}$ (HILL, POOLE *et al.*, 2002). Isto porque alguns estudos mostraram que no exercício realizado na PC, o $\text{VO}_{2\text{max}}$ não é alcançado (POOLE, WARD *et al.*, 1988; HILL, POOLE *et al.*, 2002); porém, quando a intensidade do exercício é elevada levemente (5 a 10%), o $\text{VO}_{2\text{max}}$ é alcançado (POOLE, WARD *et al.*, 1988; HILL e FERGUSON, 1999; HILL, POOLE *et al.*, 2002). Dessa forma, a intensidade correspondente a 105% da PC (105%PC) representaria a menor intensidade, durante o exercício de suficiente duração, em que o $\text{VO}_{2\text{max}}$ é atingido.

Outra peculiaridade do domínio severo é com relação ao tempo de alcance do $\text{VO}_{2\text{max}}$. Foi mostrado que quanto maior a intensidade do exercício, menor o tempo para se atingir o $\text{VO}_{2\text{max}}$, assim como o tempo de exaustão (T_{LIM}) a ele associado (MARGARIA, MANGILI *et al.*, 1965; WHIPP, 1994; HILL, POOLE *et al.*, 2002). Aumentando-se a intensidade do exercício dentro desse domínio, será possível atingir uma dada intensidade na qual o T_{LIM} será tão curto que a exaustão se instalará antes do alcance do $\text{VO}_{2\text{max}}$ (HILL, POOLE *et al.*, 2002; BURNLEY e JONES, 2007; CAPUTO e DENADAI, 2008). Assim, foi instituída a maior intensidade em que o $\text{VO}_{2\text{max}}$ é alcançado (ISUP)

anteriormente ao momento da exaustão (HILL, POOLE *et al.*, 2002; BURNLEY e JONES, 2007; CAPUTO e DENADAI, 2008). Embora existam três domínios bem definidos da intensidade do exercício, atualmente tem sido questionada a existência de um quarto, nomeado por alguns autores como extremo (BURNLEY; JONES, 2007), no qual o índice fisiológico apontado como demarcador entre o domínio severo e extremo seria a ISUP.

Baseadas na sua importância dentro do treinamento esportivo, intervenções destinadas à melhora de índices fisiológicos foram bem investigadas, deixando clara a efetividade do treinamento contínuo, realizado dentro do domínio moderado e pesado, sobre os índices fisiológicos (LAURSEN e JENKINS, 2002). Um cuidado a ser tomado, entretanto, é com relação ao estímulo empregado nas sessões de treinamento. Foi referido que, caso esse treinamento se torne habitual, é possível acontecer uma estagnação no desempenho (LONDEREE, 1997; LAURSEN e JENKINS, 2002). A fim de evitar essa possível estagnação, surgiu o treinamento intervalado de alta intensidade (DELUCAS, DENADAI *et al.*, 2009). Esse treinamento, que utiliza intensidades principalmente dentro do domínio severo (acima da PC), tem apresentado rápidos efeitos sobre os diferentes índices fisiológicos e desempenho (LAURSEN e JENKINS, 2002; LAURSEN, SHING *et al.*, 2002; BURGOMASTER, HUGHES *et al.*, 2005; BURGOMASTER, HEIGENHAUSER *et al.*, 2006; GIBALA, LITTLE *et al.*, 2006).

Um importante índice avaliado com o treinamento, por sua forte associação com o desempenho (BASSET; HOWLEY, 2000), é o VO_2max . Para a sua melhora, a intensidade do exercício tem sido apontada como a principal variável a ser manipulada, sendo o tempo mantido no, ou próximo ao, VO_2max como o principal indicativo de estímulo nessa variável (FOX *et al.*, 1975; WENGER; BELL, 1986; LAURSEN, 2012). Embora tenham sido bem investigados os efeitos do treinamento contínuo de baixa intensidade ou do treinamento intervalado de alta intensidade sobre o VO_2max (LAURSEN; JENKINS, 2002), pouco se estudou sobre as possíveis diferenças em relação ao treinamento intervalado realizado em diferentes intensidades dentro do domínio severo, ou seja, diferentes intensidades capazes de atingir o VO_2max , mas com diferentes tempos tanto de manutenção do exercício quanto do VO_2max .

Dentro dessa perspectiva, o limite inferior e o limite superior do domínio severo (*i.e.*, 105%PC e ISUP respectivamente) surgem como importantes intensidades para estimular o VO_2max durante uma sessão de treinamento, por representarem a menor (105%PC) e a maior intensidade (ISUP) em que o VO_2max é atingido. Assim, é esperado que o treinamento realizado nessas intensidades sejam capazes de proporcionar um elevado estímulo para o sistema aeróbio. No entanto, os efeitos que um treinamento realizado nessas diferentes intensidades pode proporcionar ao VO_2max e aos índices fisiológicos aeróbios ainda não foram investigados num mesmo estudo.

Dessa forma, a proposta deste estudo foi verificar os efeitos provocados por quatro semanas de treinamento intervalado, realizado no limite superior (ISUP) e no limite inferior (105%PC) do domínio severo do exercício sobre parâmetros fisiológicos e desempenho no ciclismo em indivíduos fisicamente ativos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Dentre as aplicações da determinação dos índices fisiológicos, destacam-se a seleção de atletas que apresentam melhor predisposição para esportes e também o planejamento e execução de um treinamento de acordo com as demandas do esporte (DENADAI, ORTIZ *et al.*, 2004). Dessa forma, os parâmetros fisiológicos analisados neste estudo poderão contribuir para a periodização individualizada do treinamento e uma melhor prescrição das intensidades do exercício.

Sendo pouco estudada e entendida na literatura e apontada por alguns pesquisadores como limite superior do domínio severo (BURNLEY; JONES, 2007; CAPUTO; DENADAI, 2008) a ISUP representa a intensidade na qual o sistema aeróbio atua na sua máxima velocidade para atingir o VO_2max durante exercício de carga constante (CAPUTO, 2006; CAPUTO; DENADAI, 2008), assim como o T_{LIM} nessa intensidade (TSUP) representa o menor tempo possível requerido para o alcance do VO_2max . Desse modo, os achados deste estudo podem contribuir para uma melhor compreensão e apontar os fatores determinantes e associações com o desempenho da ISUP e TSUP.

Por fim, intervenções que provoquem adaptações positivas ao desempenho são importantes para técnicos e treinadores que buscam o melhor rendimento, servindo os índices fisiológicos como ferramentas que irão auxiliar o alcance deste. Estudos com resultados concludentes

são necessários, pois existem controvérsias com relação ao treinamento mais efetivo para a melhora de alguns índices, como o VO_2max . Alguns estudos apontam para importância do tempo de manutenção acima de $95\%\text{VO}_2\text{max}$ com o principal estímulo para a melhora do VO_2max (MIDGLEY, MCNAUGHTON *et al.*, 2006; LAURSEN, 2012), enquanto a intensidade do exercício também tem sido assinalada como um fator de grande relevância a ser manipulado para que o VO_2max apresente melhora (WENGER e BELL, 1986). Nesse contexto, os efeitos do treinamento realizado no domínio severo, em duas intensidades que proporcionam tempos consideráveis perto do VO_2max (*i.e.* $105\%\text{PC}$ e ISUP), ainda não foram investigados. O VO_2max , por sua forte associação com o desempenho aeróbio (BASSET e HOWLEY, 2000), assim como a PC (VANHATALO, A., DOUST, J. H. *et al.*, 2008; VANHATALO, JONES *et al.*, 2011), são variáveis que podem resultar diretamente numa maior tolerância ao exercício e, consequentemente, uma melhora no desempenho.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

- Analisar o efeito de quatro semanas de treinamento intervalado no limite inferior ($105\%\text{PC}$) e superior (ISUP) do domínio severo sobre as respostas fisiológicas e desempenho em indivíduos ativos no ciclismo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Verificar os efeitos do treinamento intervalado realizado na ISUP e a $105\%\text{PC}$ sobre as variáveis antropométricas, maior intensidade alcançada no teste incremental (P_{MAX}), LL, limiar anaeróbio (LAn), PC, trabalho realizado acima da PC (W'), maior intensidade (ISUP) e menor tempo de exercício em que o VO_2max é alcançado (TSUP), VO_2max , e desempenho no teste de Wingate e teste de contra-relógio de 250kJ.

- Comparar os efeitos do treinamento intervalado realizado na ISUP e a $105\%\text{PC}$ sobre as variáveis antropométricas, P_{MAX} , LL, LAn, PC, W' , ISUP, TSUP, VO_2max e desempenho no teste de Wingate e teste de contra-relógio de 250kJ.

- Descrever e comparar as respostas fisiológicas durante a primeira e última sessão de treinamento intervalado realizado na ISUP e a $105\%\text{PC}$.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DOMÍNIOS DA INTENSIDADE DO EXERCÍCIO

A intensidade do exercício é geralmente expressa em percentuais do VO_2max (ou P_{MAX}). Embora isso seja amplamente utilizado, pode provocar erros se o objetivo é normalizar as respostas fisiológicas do exercício com respeito às trocas gasosas e acidose metabólica (BURNLEY e JONES, 2007). Os índices fisiológicos apresentam diferentes percentuais do VO_2max em diferentes populações (atletas, sujeitos fisicamente ativos, sedentários). Até mesmo em populações homogêneas, como ciclistas bem treinados, o LL ocorre em diferentes percentuais do VO_2max (COYLE, COGGAN *et al.*, 1988). Dessa forma, um exercício a determinado percentual do VO_2max pode provocar distintos estresses metabólicos em indivíduos diferentes. Levando isso em consideração, as intensidades do exercício foram divididas em três domínios: moderado, pesado e severo (GAESSER e POOLE, 1996; HILL, POOLE *et al.*, 2002), sendo mais recentemente proposto um quarto domínio, denominado extremo (HILL, POOLE *et al.*, 2002; BURNLEY e JONES, 2007).

De acordo com essa classificação, o domínio moderado compreende todas as intensidades de esforço em que as concentrações de lactato sanguíneo não se modificam em relação aos valores de repouso, sendo seu limite superior o LL. No domínio moderado, o tempo de exercício tolerado é superior a quatro horas, e o indivíduo entrará em exaustão por motivos de hipertermia (no calor), redução do *drive* central/motivação (fadiga central), depleção de substratos (glicogênio muscular e hepático), ou desequilíbrio hídrico ou homeostático (CAPUTO, 2006; BURNLEY e JONES, 2007).

O segundo domínio, o pesado, inicia-se em intensidades nas quais as concentrações de lactato sanguíneo se elevam em relação aos níveis de repouso (*i.e.* acima do LL). Esse domínio se estende até a intensidade da máxima fase estável de lactato (MFEL) ou PC. Embora as intensidades sejam maiores que as intensidades do domínio moderado, as variáveis metabólicas ainda alcançam níveis estáveis, podendo ser em poucos minutos após o início do exercício ou após aproximadamente 15 a 20 minutos (dependendo da intensidade). Apesar

de ocorrer estabilidade nas concentrações de lactato sanguíneo, estas se estabilizam em valores mais altos, devido a uma maior produção da lactato sanguíneo acompanhado por semelhante remoção. Ainda, o tempo de exercício nesse domínio pode chegar até aproximadamente três a quatro horas, dependendo da intensidade do exercício. Nesse domínio a exaustão é motivada principalmente por depleção de glicogênio ou hipertermia (BURNLEY e JONES, 2007) e decorrente de fadiga central (BARON, NOAKES *et al.*, 2008).

Em sequência ao domínio pesado, intensidades do exercício que sejam superiores a MFEL ou PC estarão dentro do domínio severo. Em intensidades abaixo da P_{MAX} , a amplitude do componente lento é maior que a verificada para as intensidades do domínio pesado, sendo descritos na literatura valores superiores a 1 l/min (XU e RHODES, 1999). Isso provoca uma tolerância ao exercício muito reduzida. Ainda, ao contrário do que ocorre no domínio pesado, no domínio severo a estabilidade metabólica e de trocas gasosas não é alcançada. Entre os metabólitos, o [La], a relação lactato-piruvato e $[H^+]$ continuam se elevando, o bicarbonato diminui, e o VO_2 aumenta em direção aos valores máximos. Nesse domínio, o indivíduo pode atingir a exaustão em até 30 a 40 minutos (BURNLEY e JONES, 2007). Entretanto, nessa intensidade existe uma relação entre a potência e tempo de exaustão: conforme se aumenta a carga, menor será o tempo para atingir a exaustão. Assim, no domínio severo, a exaustão pode ser motivada pela depleção da capacidade de trabalho anaeróbio (W') e/ou pelo acúmulo de metabólitos associados à fadiga.

2.2 CINÉTICA DO VO_2 NOS DIFERENTES DOMÍNIOS DO EXERCÍCIO

Durante o repouso, o consumo de oxigênio de uma pessoa saudável permanece estável nos valores basais. Durante a transição do repouso para o exercício muscular, há um imediato aumento da produção de ATP nas células musculares recrutadas. Nessa transição, a energia requerida é gerada imediatamente pela degradação da [PCr] intramuscular e o catabolismo anaeróbio do glicogênio, provocando um déficit de O_2 . Simultaneamente, o VO_2 aumenta num desenho exponencial, tal qual a fosforilação oxidativa desempenha uma progressiva e maior contribuição na ressíntese de ATP conforme o

exercício progride (BAILEY, WILKERSON *et al.*, 2009). Dessa forma, as diferentes intensidades requerem um VO_2 para suprir o exercício, mas para atingir esse VO_2 requerido, ele apresenta diferentes comportamentos dentro dos três domínios do exercício. A resposta do VO_2 nos domínios moderado, pesado e severo será descrita a seguir.

Grassi (2001) mostrou que durante a transição de um exercício em que um humano pedala sem carga, para outro que pedala com carga abaixo do limiar ventilatório, a cinética alveolar do VO_2 foi semelhante à cinética do VO_2 da musculatura esquelética. Com base nisso, as medidas de captação de oxigênio em nível pulmonar vêm sendo muito empregadas para descrever as respostas da utilização de oxigênio em nível muscular, em diversas intensidades de exercício (BARSTOW, 1994; HILL e STEVENS, 2005).

Entre os diferentes domínios, a cinética do VO_2 parece apresentar comportamentos diferentes. Com o refinamento dos equipamentos que permitem que as trocas respiratórias sejam medidas dinamicamente a cada respiração, três fases da cinética do VO_2 foram identificadas e quantificadas (WHIPP, WARD *et al.*, 1982):

Fase I – Também chamada de fase cardiodinâmica, representa os primeiros 15- 25 segundos de exercício, nos quais se sugere que a elevação no VO_2 seja primariamente por causa do aumento no trabalho cardíaco (WASSERMA.K, WHIPP *et al.*, 1974) e, secundariamente, das mudanças no conteúdo venoso de O_2 e nos estoques de gases pulmonares (BARSTOW e MOLE, 1987). Esta fase é geralmente excluída nos ajustes exponenciais utilizados para descrever a cinética do VO_2 .

Fase II – Tem sido sugerido que a fase II reflete as mudanças no metabolismo oxidativo muscular, com o contínuo aumento do retorno venoso e a maior extração periférica de O_2 . Nesta fase, dependendo do domínio analisado, o VO_2 pode apresentar um componente (primário) ou dois componentes (primário + lento). No domínio moderado (abaixo do LL), o VO_2 eleva-se rapidamente de maneira exponencial (componente primário) em direção a um estado estável, que em indivíduos normais é atingido em 80-110 segundos. Para o domínio pesado, o VO_2 eleva-se biexponencialmente, existindo o aparecimento de um segundo componente (componente lento), atrasando o alcance do novo estado estável (15 a 20 min), que apresenta um valor que é maior do que aquele predito pela relação VO_2 x carga. No domínio severo (acima da PC ou

MFEL), mas em intensidades abaixo do VO_2max , o VO_2 também se eleva biexponencialmente, com esse segundo componente direcionando o VO_2 para o seu valor máximo. Já para as intensidades correspondentes ao VO_2max ou acima deste, a cinética do VO_2 volta apresentar um único componente, que se eleva exponencialmente até seus valores máximos.

Fase III – Compreende o estado estável do VO_2 , para intensidades em que ele é atingido.

2.3 MENOR INTENSIDADE EM QUE O VO_2MAX É ATINGIDO

A PC é apontada como a intensidade que delimita os domínios pesado e severo (HILL, POOLE *et al.*, 2002; BURNLEY e JONES, 2007). Assim, alguns estudos investigaram as respostas fisiológicas no exercício realizado na intensidade de PC e em intensidades sutilmente superiores. Primeiramente, Housh *et al.* (1991) investigaram as respostas fisiológicas no exercício até a exaustão na intensidade de PC, verificando que os valores de FC, VO_2 e lactato foram similares aos máximos encontrados em teste incremental de rampa, mostrando que nessa intensidade estas variáveis não apresentam estabilidade.

Outros estudos se propuseram a investigar as respostas fisiológicas no exercício realizado na PC e em intensidades sutilmente superiores a ela (POOLE, WARD *et al.*, 1988; POOLE, WARD *et al.*, 1990). Nesses estudos foi observada uma estabilidade do VO_2 a aproximadamente 75% VO_2max no exercício na PC. Porém, ao elevar-se sutilmente a intensidade (8 a 11%, ou 16 a 23W), o VO_2max foi atingido (POOLE, WARD *et al.*, 1988). Similarmente, Hill, Poole e Smith (2002) observaram que no exercício realizado por 25 minutos na PC o VO_2 não chegou aos valores máximos. Entretanto, quando o exercício foi realizado em intensidade levemente acima da PC (~4,7 ou 10W), o VO_2 máximo não foi diferente do VO_2max . No entanto, não houve diferenças entre a média do VO_2 nos exercícios na PC e PC+10W. Ainda, Brickley, Doust e Williams (2002) mostraram que no exercício realizado na PC, o VO_2 se eleva até aproximadamente 91% do VO_2max , entrando em exaustão em aproximadamente 29 minutos.

Recentemente, em ciclistas, foi mostrado que no exercício realizado na PC, o VO_2max não foi alcançado, num T_{LIM} aproximado de 23 minutos. Porém, quando a intensidade foi elevada em 5%, o VO_2max do teste a 105% da PC não foi diferente do VO_2max do teste

incremental, num T_{LIM} aproximado de 13 minutos (deLUCAS *et al.*, 2012). Ainda, no exercício realizado na PC, o VO_2 ao final do exercício atingiu 94% do VO_{2max} .

Semelhantemente, no exercício de modo intermitente, alguns estudos encontraram resultados parecidos quando investigaram as respostas do VO_2 na potência crítica intermitente (PCI) ou levemente acima dela. Foi mostrado que no exercício realizado na PCI o VO_{2max} não foi atingido (OKUNO, PERANDINI *et al.*, 2011; SOARES-CALDEIRA, OKUNO *et al.*, 2012), mas poderia ser atingido em velocidades levemente superiores a PCI (DUPONT, BLONDEL *et al.*, 2002). Além disso, Aguiar *et al.* (2012) mostraram que em exercício intermitente (30seg:15seg) até a exaustão a 105%PCI, o VO_{2max} foi estatisticamente diferente do VO_{2max} do teste incremental, fato que não aconteceu no VO_{2max} do exercício intermitente a 110%PCI. Ainda nesse estudo, os autores mostraram que quando o exercício foi iniciado com uma saída rápida (início do exercício a 125%PCI com posterior queda para 105 ou 110%PCI), o VO_{2max} ao fim do exercício foi diferente do VO_{2max} apenas no exercício em que a velocidade foi diminuída para 105%PCI.

Juntos, esses resultados e os de outros pesquisadores (JONES, VANHATALO *et al.*, 2010) sugerem que em exercícios de intensidades submáximas e de tempo suficiente, é necessário exercitar-se numa intensidade levemente superior a PC (5 a 10%) para que o VO_{2max} seja atingido. Assim, existe um amplo número de intensidades durante o exercício de carga constante em que o VO_{2max} pode ser atingido (GAESSER e POOLE, 1996), sendo a menor delas em intensidades levemente acima da PC. Estas se estendem até a ISUP, considerada a maior intensidade em que o VO_{2max} é alcançado, a qual será mais bem descrita no tópico abaixo.

2.4 MAIOR INTENSIDADE EM QUE O VO_{2MAX} É ATINGIDO

Durante o exercício de carga constante em cicloergômetro, quanto maior a intensidade empregada, menor o tempo em que o indivíduo pode suportar o exercício até o aparecimento da exaustão, descrita por uma relação hiperbólica (MORITANI, NAGATA *et al.*, 1981). De forma semelhante, mostrou-se que em intensidades dentro do domínio severo, quanto maior a intensidade empregada, menor o tempo

para o alcance do VO_2max (MARGARIA, MANGILI *et al.*, 1965; WHIPP, 1994). Dessa forma, no domínio severo, conforme maior a intensidade do exercício, o VO_2max será atingido mais rapidamente, da mesma forma que o tempo de exaustão será reduzido. Portanto, num certo ponto, o tempo de exaustão do indivíduo será breve, sendo que, imediatamente antes da exaustão, o VO_2max será alcançado. Assim, a maior intensidade em que o VO_2max é atingido (ISUP) tem sido considerada o limite superior do domínio severo. Por ser uma intensidade absoluta alta, o tempo de exaustão a ela associado (TSUP) não pode ser sustentado por muito tempo, sendo dependente do estado de treinamento dos indivíduos analisados (CAPUTO e DENADAI, 2008).

A ISUP foi primeiramente sugerida por Hill, Poole e Smith (2002), sendo proposto um modelo matemático para determinação indireta dessa intensidade. Segundo o modelo, a ISUP corresponderia a $136\%P_{\text{MAX}}$, e TSUP a 136 ± 17 segundos. Porém, estes não foram diretamente determinados. Posteriormente, Caputo e Denadai (2008) determinaram essa intensidade de forma direta, em cicloergômetro em indivíduos sem treinamento e corredores e ciclistas de *endurance*. Como resultados, a ISUP determinada diretamente correspondeu a 117, 124 e 130% da P_{MAX} para destreinados, corredores e ciclistas, sendo significativamente maior nos ciclistas se comparada à dos destreinados, sem diferenças entre os dois tipos de atletas. Ainda, a TSUP associada foi de 209, 170 e 117 segundos, para destreinados, corredores e ciclistas, sendo significativamente menor nos ciclistas se comparada à dos outros dois grupos.

Assim, esses autores propõem, baseados na resposta do VO_2 , a ISUP como o limite superior do domínio severo. Da mesma forma, Burnley e Jones (2007) sugerem a mesma divisão, sendo esta intensidade considerada o limite inferior de um possível quarto domínio, considerado por esses autores como domínio extremo. A exaustão durante o exercício realizado na ISUP estaria associada à depleção dos estoques finitos de energia representados pelo W' ou déficit de O_2 e/ou acumulação de metabólitos associados à fadiga.

2.5 EFEITOS DO TREINAMENTO SOBRE A CINÉTICA DO VO_2

O tempo para atingir o VO_2 é um importante determinante à tolerância ao exercício (BAILEY, WILKERSON *et al.*, 2009). Desde o início do exercício, o sistema oxidativo está em atividade para contribuir à ressíntese de ATP e suprir a demanda energética requerida. Sua contribuição progride conforme o exercício avança. No entanto, nos primeiros segundos do exercício, o ATP é fornecido essencialmente pela degradação das concentrações de fosfocreatina [PCr] muscular, principalmente nos primeiros 10 segundos de exercício, assim como pela glicólise anaeróbia. Assim, as vantagens de um rápido ajuste do VO_2 e um rápido alcance do VO_2 (representado por um menor tau do componente primário ou fase II) se devem a um menor déficit de O_2 , assim como menor quebra das concentrações de [PCr] muscular, menor produção de [La] sanguíneo e H^+ , e menor degradação de glicogênio muscular (CERRETELLI, PENDERGAST *et al.*, 1979; DEMARLE, SLAWINSKI *et al.*, 2001; BERGER, TOLFREY *et al.*, 2006)

É bem conhecido na literatura que, na mesma intensidade absoluta, atletas de *endurance* bem treinados possuem uma cinética do VO_2 mais rápida comparada à de sujeitos ativos e sem treinamento (KOPPO, BOUCKAERT *et al.*, 2004; BURNLEY e JONES, 2007; CAPUTO e DENADAI, 2008). Além disso, foi demonstrado que em atletas altamente treinados, com hábitos de treinamento similares, o ajuste do VO_2 no início do exercício foi mais rápido naqueles que possuíam maior $\text{VO}_{2\text{max}}$ (POWERS, DODD *et al.*, 1985). Da mesma forma, os efeitos benéficos do treinamento de *endurance* sobre os parâmetros da cinética do VO_2 são bem consistentes, ficando clara uma aceleração no tempo de ajuste do VO_2 requerido (CERRETELLI, PENDERGAST *et al.*, 1979; CARTER, JONES *et al.*, 2000; DEMARLE, SLAWINSKI *et al.*, 2001; KOPPO, BOUCKAERT *et al.*, 2004; BERGER, TOLFREY *et al.*, 2006). Interessantemente, Cerretelli et al. (1979) mostraram que essa aceleração nos músculos é associada a uma menor contribuição energética oriunda da glicólise anaeróbia no início do exercício. Ainda, um estudo subsequente mostrou que um aumento no fornecimento de energia pela glicólise anaeróbia atrasou a cinética do VO_2 (KORZENIEWSKI e LIGUZINSKI, 2004).

As adaptações responsáveis por uma cinética do VO_2 mais rápida parecem já acontecer nas fases iniciais do treinamento de

endurance (PHILLIPS, GREEN *et al.*, 1995; FUKUOKA, GRASSI *et al.*, 2002). Em treinamento de *endurance* de 2 h de exercício a 60%VO₂max, o tau da fase II foi significativamente reduzido após quatro sessões de treino, sendo reduzido novamente após nove dias, e também após 30 dias, no fim do treinamento (PHILLIPS, GREEN *et al.*, 1995). Similarmente, em amostra de sujeitos de 50 anos destreinados submetidos a treinamento de *endurance*, foi observada redução significativa no tau da fase II após 15 dias de treinamento; porém, dessa data até o terceiro mês de treinamento, essa variável permaneceu inalterada (FUKUOKA, GRASSI *et al.*, 2002). Portanto, as adaptações dessa natureza acontecem de forma muito rápida, sendo esta mais rápida que a melhora do VO₂max (PHILLIPS, GREEN *et al.*, 1995; FUKUOKA, GRASSI *et al.*, 2002) e também acontecendo antes mesmo de aumentos no conteúdo de proteína mitocondrial muscular (FUKUOKA, GRASSI *et al.*, 2002).

Durante anos, dois fatores principais foram postulados como determinantes da cinética do VO₂ no início do exercício: (1) transporte de oxigênio para os músculos em exercício e (2) as propriedades metabólicas dos músculos (ZOLADZ, KORZENIEWSKI *et al.*, 2006). No entanto, esses fatores parecem ser determinantes dependendo da intensidade empregada.

No exercício moderado, o aumento do VO₂ no início do exercício é determinado por fatores locais das células musculares em exercício, e não pelo transporte de O₂ (GRASSI, 2001; GRASSI *et al.*, 1998). Por outro lado, no exercício pesado ou máximo, um aumento no transporte de O₂ para o músculo ativo pode acelerar a cinética do VO₂ (BANGSBO, KRUSTRUP *et al.*, 2000; GRASSI, 2001). Em preparações isoladas *in situ* do músculo gastrocnêmio de cachorros, a retirada dos atrasos no transporte de O₂ para o músculo esquelético não afetou a cinética do VO₂ no exercício moderado (GRASSI, GLADDEN *et al.*, 1998), enquanto o mesmo experimento acelerou a cinética no exercício realizado no VO₂max (GRASSI, HOGAN *et al.*, 2000). Assim, sugere-se que o fluxo sanguíneo muscular e, portanto, o transporte por convecção de O₂, pode ser um fator importante na cinética do VO₂ apenas no exercício no domínio severo (ZOLADZ, KORZENIEWSKI *et al.*, 2006).

De forma semelhante, o treinamento intervalado de alta intensidade elevou o VO₂, fluxo sanguíneo e condutância vascular na

fase inicial do exercício em altas, mas não em baixas intensidades (KRUSTRUP, HELLSTEN *et al.*, 2004). Recentemente, foi sugerido que a quantidade absoluta de [PCr] que está para ser transformada em [Cr] durante a transição do repouso para o exercício é o principal determinante do tempo de transição do VO_2 . No entanto, isso foi proposto por modelo computadorizado em músculos esquelético de mamíferos, assumindo-se um nível de utilização de ATP que a reação da creatina quinase trabalhe próxima a um equilíbrio termodinâmico (KORZENIEWSKI e ZOLADZ, 2004).

A intensidade do LL, demarcador dos domínios moderado e pesado, é fortemente correlacionada com o desempenho em eventos com duração de 30 a 60 minutos (COYLE, 1995). No entanto, atletas são capazes de competir uma maratona em intensidades próximas ou pouco acima do LL (JONES, 2006), e provas de 10-km e meia-maratona realizadas em intensidades ainda mais elevadas. Assim, a PC é apontada como a máxima potência sustentada, além de ser o divisor dos domínios pesado e severo (POOLE, WARD *et al.*, 1988; BURNLEY e JONES, 2007).

A PC e o LL, além de bem correlacionados com o desempenho de *endurance* (KOLBE, DENNIS *et al.*, 1995; JONES e DOUST, 1998), ajudam a explicar a importância da cinética do VO_2 sobre a tolerância ao exercício (BURNLEY e JONES, 2007). O personagem principal nesses casos é o segundo componente da fase II da cinética do VO_2 , o chamado “componente lento”, o qual representa um custo adicional de oxigênio, que extrai as reservas do corpo de forma mais rápida, caso ele não existisse (BURNLEY e JONES, 2007). Ainda, representa um aumento da ineficiência metabólica com o tempo, e é temporalmente correlacionado com a dinâmica da acumulação do [La] (ROSTON, WHIPP *et al.*, 1987; POOLE e JONES, 2005; BERGER, TOLFREY *et al.*, 2006). Assim, o componente lento provoca uma maior taxa de acumulação de calor durante o exercício, levando a um acometimento mais cedo da hipertermia e/ou um maior grau de desidratação, caso o meio ambiente seja desfavorável à termorregulação (BURNLEY e JONES, 2007).

Pensando dessa forma, a presença do componente lento se torna fator principal nos benefícios do treinamento. Um dos resultados do treinamento é a melhora do LL; em consequência, esse indivíduo poderá se exercitar numa potência maior sem o surgimento do componente

lento. Assim, ele se exercitará numa maior potência, porém ainda dentro do domínio moderado do exercício, possibilitando uma maior tolerância a este em decorrência da ausência dos efeitos energéticos negativos provocados pelo componente lento. Assim, em eventos de longa duração, há de se esperar que maratonistas adotem um ritmo de exercício muito próximo ao LL (JOYNER, 1991; JONES, 2006; BURNLEY e JONES, 2007).

Seguindo o raciocínio, a mesma importância é vista no domínio severo. A PC delimita a transição entre os domínios pesado e severo. No exercício do domínio severo, em intensidades abaixo da P_{MAX} , o componente lento se eleva até atingir o VO_{2max} . O alcance do VO_{2max} é um sinal iminente da exaustão (BURNLEY e JONES, 2007). Dessa forma, um aumento na intensidade associada a PC significa uma maior intensidade em que o VO_2 irá se estabilizar sem alcançar o VO_{2max} , possivelmente aumentando o tempo de exaustão. Além disso, permitirá que o exercício seja realizado numa intensidade maior, sem o uso do W' . Segundo Burnley e Jones (2007), três fatores relacionados determinam a exaustão no domínio severo: a capacidade anaeróbia, que é uma das principais determinantes do W' (MIURA, KINO *et al.*, 1999; MIURA, SATO *et al.*, 2000), o VO_{2max} e o componente lento do VO_2 . Assim, a atenuação na taxa de desenvolvimento do componente lento do VO_2 pode estender o tempo para o VO_{2max} ser alcançado, aumentando o tempo de exaustão (BURNLEY e JONES, 2007), fato este comprovado pela boa correlação entre a PC e o desempenho de *endurance* (KOLBE, DENNIS *et al.*, 1995; JONES e DOUST, 1998).

Em resumo, a cinética do VO_2 determina direta ou indiretamente a tolerância ao exercício em uma ampla variedade de durações do exercício, acima do LL. Assim, uma potência próxima ao LL será determinante para ocorrer ou não a presença do componente lento do VO_2 . Caso acima do LL, a proximidade da potência com a PC determina se o comportamento do componente lento do VO_2 vai apresentar estabilidade ou não. Acima da PC, o VO_{2max} interage com o componente lento do VO_2 e a capacidade anaeróbia para determinar a tolerância ao exercício. Assim, as bem estabelecidas correlações entre o LL, PC e VO_{2max} com o desempenho de *endurance* podem ser vistas como uma consequência desses parâmetros influenciando o comportamento do VO_2 (BURNLEY e JONES, 2007).

Baseado em sua importância, diversos estudos se esforçaram em investigar os efeitos do treinamento sobre os parâmetros da cinética do VO_2 (CERRETELLI, PENDERGAST *et al.*, 1979; CARTER, JONES *et al.*, 2000; DEMARLE, SLAWINSKI *et al.*, 2001; KOPPO, BOUCKAERT *et al.*, 2004; BERGER, TOLFREY *et al.*, 2006; DUFFIELD, EDGE *et al.*, 2006; DAUSSIN, ZOLL *et al.*, 2008; BAILEY, WILKERSON *et al.*, 2009), sendo os efeitos do treinamento de *endurance* já bem documentados na literatura, como previamente falado (CERRETELLI, PENDERGAST *et al.*, 1979; KOPPO, BOUCKAERT *et al.*, 2004). No entanto, as diferenças entre esse treinamento e o treinamento intervalado de alta intensidade sobre os parâmetros da cinética do VO_2 estão sendo mais bem investigadas; porém, não há clareza quanto a uma estratégia ótima de treinamento para melhora dessas variáveis.

Na corrida, Demarle et al. (2001) analisaram os efeitos do treinamento intervalado associado ao treinamento de *endurance* (três sessões de treino contínuo + duas sessões de treino intervalado/semana, por oito semanas) em indivíduos treinados. Os efeitos do treinamento foram testados num exercício realizado a 93% da $\text{vVO}_{2\text{max}}$ (velocidade associada ao $\text{VO}_{2\text{max}}$). Não houve efeito sobre o $\text{VO}_{2\text{max}}$, mas houve melhora na P_{MAX} . Além disso, o treinamento acelerou o tempo de resposta do componente primário do VO_2 nas intensidades relativa e absoluta a 93% P_{MAX} . De forma semelhante, porém em indivíduos ativos e por quatro semanas, Billat et al (2002) observaram melhora na $\text{vVO}_{2\text{max}}$ e LL. Também, o treinamento acelerou o tempo de resposta do componente primário do VO_2 nas intensidades absolutas a 90 e 95% $\text{vVO}_{2\text{max}}$. Por outro lado, durante o exercício realizado na velocidade correspondente a 50% da diferença entre o VO_2 do LL e o $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($\text{v}\Delta 50\%$), Carter et al. (2000) não observaram efeitos sobre a cinética do VO_2 . Embora a amostra tenha sido composta por indivíduos ativos, e o treino durado seis semanas, junto de sessões de treinamento de *endurance*, foram empregadas duas sessões de treinamento intervalado a 77% $\text{vVO}_{2\text{max}}$. Esta menor intensidade empregada no treinamento, comparada à dos estudos anteriores, pode ser um dos fatores relacionados à ausência de efeito sobre os parâmetros da cinética do VO_2 neste estudo.

No ciclismo, Berger et al (2006) compararam os efeitos de três a quatro sessões por semana por seis semanas de um treinamento

intervalado de alta intensidade (20 repetições de 1 minuto de exercício a 90%VO₂max) e um treinamento de *endurance* (30 minutos a 60%VO₂max) sobre os parâmetros da cinética do VO₂. Os autores acreditavam que o treinamento intervalado de alta intensidade seria mais eficiente na melhora do tau do componente primário do VO₂ nos exercícios moderado e severo, justamente pela especificidade do treinamento e o maior número de transições repouso-exercício. No entanto, os resultados contradisseram essa hipótese, já que ambos os treinamentos aceleraram o componente primário da resposta do VO₂ e reduziram a amplitude do componente lento do VO₂, sem diferenças entre os treinamentos. Esses autores concluíram que nem a natureza do exercício nem a intensidade empregada foram importantes para ocorrer diferenças na magnitude de melhora nessas variáveis. Além disso, ambos os treinamentos foram efetivos na melhora do VO₂pico e intensidade associada ao GET, tudo isso comparado a um grupo controle.

Por outro lado, Daussin et al (2008) investigaram os efeitos de oito semanas de um treinamento intervalado (quatro minutos na intensidade do GET + um minuto a 90%VO₂pico) e um treinamento de *endurance* (vinte minutos na intensidade do GET, aumentando cinco minutos a cada duas semanas) sobre indivíduos sedentários. O VO₂max aumentou 9 e 15% nos treinamentos de *endurance* e intervalado, respectivamente. Porém, a cinética do VO₂ no exercício de Δ50% até a exaustão foi acelerada apenas após o treinamento intervalado, assim como a melhora no débito cardíaco máximo e a capacidade oxidativa da mitocôndria muscular. A densidade capilar aumentou em ambos os treinos, sendo duas vezes maior no treinamento de *endurance*. Uma melhora de 129 e 64% foi observada no teste de tempo de exaustão no Δ50%, no treinamento intervalado e de *endurance*, respectivamente. Dessa forma, diferentemente do estudo de Berger et al. (2006), Daussin et al. (2008) concluíram que as flutuações na potência e VO₂ durante o treinamento intervalado parecem ser fatores determinantes na melhora da capacidade oxidativa muscular; ainda, o treinamento intervalado parece ótimo em maximizar ambas as adaptações periféricas musculares e cardiovasculares centrais.

Os efeitos do treinamento intervalado e de *endurance* foram também investigados no estudo de Bailey et al. (2009); no entanto, em sujeitos ativos, o treinamento durou apenas duas semanas. A intensidade

do treinamento intervalado foi máxima em todas as repetições, realizando um total de quatro a sete repetições máximas de trinta segundos com quatro minutos de recuperação. O treinamento de *endurance* compreendeu o mesmo trabalho realizado no grupo de treinamento intervalado, porém numa intensidade correspondente a 90% do GET. Um grupo controle também fez parte do estudo. Como resultados, melhoras foram observadas apenas no grupo que realizou o treinamento intervalado. Entre elas, o tempo de resposta da fase II do VO_2 foi acelerado nos exercícios no domínio moderado e severo, assim como a amplitude do componente lento foi reduzida. Além disso, houve uma aceleração na cinética das concentrações de desoxihemoglobina ([HHb]), e aumento da amplitude da [HHb] nos exercícios moderado e severo. Por fim, houve melhora de 53% no tempo de exaustão no exercício realizado no domínio severo. Todas essas melhoras não foram visíveis nos grupos que treinaram *endurance* e controle. Em conclusão, apenas o treinamento intervalado resultou em melhora na extração de O_2 muscular ([HHb], aceleração da cinética do VO_2 e aumento na tolerância ao exercício. Ainda, os autores apontaram que as consequentes flutuações na potência e produção de ATP provocadas pelo treinamento intervalado, associadas a perturbações na homeostase celular, incluindo tensão de oxigênio e potenciais de redox e fosforilação, podem ser um importante estímulo na sinalização da biogênese mitocondrial (HOOD, 2001; BAILEY, WILKERSON *et al.*, 2009).

Outro estudo investigou apenas os efeitos do treinamento intervalado de alta intensidade sobre os parâmetros da cinética do VO_2 no domínio severo (DUFFIELD, EDGE *et al.*, 2006). Dez mulheres treinaram três vezes por semana, por oito semanas. O treinamento consistiu de repetições de dois minutos de exercício com um minuto de recuperação, com intensidade correspondente de 130 a 180% do LL. Houve melhoras no $\text{VO}_{2\text{max}}$, P_{MAX} e potência do LL. Com relação aos parâmetros da cinética do VO_2 , houve aumento na amplitude do componente primário e $\text{VO}_{2\text{final}}$ do exercício, sem diferenças nos tempos de resposta do VO_2 e amplitude do componente lento. Porém, o déficit de O_2 e contribuição anaeróbia foram significativamente reduzidos após o treinamento.

Portanto, a existência de um treinamento ótimo para a melhora dos parâmetros do tempo de resposta do VO_2 ao exercício ainda não está

clara. No entanto, um treinamento intervalado de alta intensidade, com sucessivas transições repouso-exercício, parece ser um estímulo interessante para atingir esses objetivos; entretanto, sua eficácia sobre o treinamento de *endurance* ainda precisa ser debatida. Ainda, parece necessário que o treinamento intervalado empregue uma intensidade relativamente alta para melhora nos tempos de respostas do VO_2 , uma vez que os estudos que utilizaram treinamento intervalado com uma intensidade relativamente menor (CARTER, JONES *et al.*, 2000; DUFFIELD, EDGE *et al.*, 2006) não observaram efeitos benéficos do treinamento intervalado sobre a velocidade de resposta do VO_2 no exercício.

2.6 EFEITOS DO TREINAMENTO DE ALTA INTENSIDADE SOBRE ÍNDICES FISIOLÓGICOS

A avaliação de índices fisiológicos proporciona importantes aplicações dentro da área do treinamento desportivo. Buscando a melhora desses índices e do desempenho esportivo, o treinamento é um assunto que desperta grande interesse de treinadores e pesquisadores do esporte. Os efeitos do treinamento realizado em intensidades submáximas, por um período prolongado de tempo, já estão bem documentados (LAURSEN e JENKINS, 2002).

Tabela 1 – Estudos que investigaram os efeitos do treinamento intervalado sobre variáveis fisiológicas e de desempenho.

Referência	n	Rep	Int.	E:P	Duração	Adaptações	Desempenho
LINDSAY et al., 1996	8C	6-8	80	5'/1'	4	$\uparrow P_{\text{MAX}}$	$\uparrow \text{CR40km}$, T_{LIM} $150\%P_{\text{MAX}}$
TABATA et al., 1996	7A	7-8	170	20''/10''	6	$\uparrow P_{\text{MAX}}$	$\uparrow \text{Capac. anaeróbia}$
	7A	1	70	60'/0	6	$\uparrow P_{\text{MAX}}$	$\leftrightarrow \text{Capac. an aeróbia}$

Continua na próxima página

WESTON et al., 1997	6C	6-8	80	5'/1'	4	↑P _{MAX} , tamponamento muscular, ↔CS e PFK	↑CR40km e T _{LIM} 150%P _{MAX}
WESTGART H-TAYLOR et al., 1997	8C	6-8	80	5'/1'	6	↑P _{MAX} , oxidação de CHO	↑ CR40km
STEPTO et al., 1998	4C	12	175	30''/4,5'	3	↑VO ₂ max	↑CR40km
LAURSEN et al., 2002a	3C	12	100	1'/4'	3	↔VO ₂ max	↔CR40km,
	4C	12	90	2'/3'	3	↑VO ₂ max	↑CR40km,
	4C	8	85	4'/1,5'	3	↑VO ₂ max	↑CR40km,
	4C	4	80	8'/1'	3	↔VO ₂ max	↔CR40km,
	8C	8	100	60% T _{MAX} x/120%T _{MAX}	4	↑P _{MAX} , VO ₂ max	↔T _{MAX} e CR40km
LAURSEN et al., 2002b	9C	8	100	60% T _{MAX} x	4	↑P _{MAX} , VO ₂ max	↔T _{MAX} e CR40km
	10C	12	175	30''/4,5'	4	↑P _{MAX} , VO ₂ max	↔T _{MAX} e CR40km
	7C	20	100	1'/2'	2	↑P _{MAX} , LV1, LV2, ↔VO ₂ max	-
DUFFIELD et al., 2006	10A	4-12	130-180 LL	2'/1'	8	↑P _{MAX} , VO ₂ max, PLL	-

Continua na próxima página

BERGER et al., 2006	8S	20	90	1' / 1'	6	↑P _{MAX} , VO ₂ max e GET	-
TALANIAN et al., 2007	8S	1	60	30' / 0	6	↑P _{MAX} , VO ₂ max, GET	-
	8A	10	90	4' / 2'	2	↑VO ₂ max, CS, β-HAD	-
DAUSSIN et al., 2007	11S	5	90	1' / 4'	8	↑VO ₂ max	↑Q _{MÁX} , Difa-v, n° de capilares, tamanho de mitocôndrias
DAUSSIN et al., 2008	11S	1	61	20-35' / 0	8	↑VO ₂ max	↑Q _{MÁX} , Difa-v, n° de capilares
	10S	5	90	1' / 4'	8	↑P _{MAX} , VO ₂ max, LV1, LV2, Q, VS e Difa-v	-
ZIEMANN et al., 2011	10S	1	61	20-35' / 0	8	↔P _{MAX} , VO ₂ max, LV2, Q, VS, ↑LV1 e Difa-v	-
	10A	6	80	90" / 180"	6	↑P _{MAX} , VO ₂ max, VO ₂ LAn ↔P LAn	-

Fonte: Produção do próprio autor.

Legenda: C= Ciclistas; A= Ativos; S= Sedentários; CR= Contra-relógio; T_{LIM}= Tempo de exaustão; T_{MAX}= Tempo de exaustão a 100%P_{MAX}; CS= Atividade da enzima citrato sintase; PFK= Atividade da enzima fosfofrutoquinase; â-HAD= Atividade da enzima â-HAD; ↑= melhora; ↔= sem melhora; FC_{máx}= frequência cardíaca máxima; LV1= Primeiro limiar ventilatório; LV2= Segundo limiar ventilatório; LL= Limiar de lactato; PLL= Potência do limiar

de lactato; **GET**= Gas exchange threshold; **Q_{MAX}**= Débito cardíaco máximo; **VS**= Volume de ejeção; **Difa-v**= Diferença arteriovenosa.

É bem aceito que muitas das adaptações bioquímicas e fisiológicas que acompanham o treinamento ocorrem em decorrência do aumento da demanda energética da célula muscular. Entretanto, quando esse tipo de treinamento torna-se habitual, melhoras adicionais no desempenho decorrentes de um aumento no volume de treinamento não parecem acontecer (LAURSEN e JENKINS, 2002). Dessa forma, o treinamento intervalado, método de exercício intermitente que intercala breves períodos de exercício com breves períodos de recuperação, surgiu numa tentativa de intensificar os treinamentos e possibilitar a atletas melhoras adicionais no seu desempenho (LAURSEN e JENKINS, 2002; DELUCAS, DENADAI *et al.*, 2009). O resumo dos estudos que investigaram os efeitos do treinamento intervalado de alta intensidade sobre variáveis fisiológicas e desempenho está apresentado na tabela 1. As seções a seguir irão descrever os efeitos proporcionados pelo treinamento intervalado em determinados índices fisiológicos e de desempenho.

2. 7 CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO

O VO₂max, definido como a maior taxa em que o oxigênio pode ser captado, transportado e utilizado pelo corpo durante o exercício (BASSETT e HOWLEY, 2000), e que representa a maior taxa em que o ATP pode ser ressintetizado por meio dos processos oxidativos (BURNLEY e JONES, 2007), é uma das principais variáveis da fisiologia do exercício e frequentemente utilizado para indicar a capacidade cardiorrespiratória de um indivíduo. Embora o VO₂max não seja a única característica que determina o desempenho de um atleta, ele apresenta forte relação com o desempenho de longa duração (BASSETT e HOWLEY, 2000; DI PRAMPERO, 2003). Por essa razão, um aumento no VO₂max é um dos mais comuns métodos utilizados pela literatura científica para demonstrar um efeito do treinamento (BASSETT e HOWLEY, 2000).

Modificações no VO₂max parecem ser derivadas de adaptações centrais e periféricas. Dentre as adaptações centrais, destacam-se a capacidade de difusão pulmonar, débito cardíaco máximo e a capacidade

de transporte de O_2 do sangue. As adaptações periféricas referem-se às características musculoesqueléticas, como: gradiente de difusão periférica, níveis de enzimas mitocondriais e densidade capilar (BASSETT e HOWLEY, 2000). Mais especificamente, a melhora do VO_{2max} resultante do treinamento parece ser relacionada ao aumento do tamanho da câmara do ventrículo esquerdo e espessura da parede, contratilidade do miocárdio e complacência ventricular, junto de aumentos na capacidade de transporte de O_2 e aumento no volume sanguíneo e plasmático (MIDGLEY, MCNAUGHTON *et al.*, 2007; LAURSEN, 2012). Aumentos na vascularização periférica (vasodilatação de capilares e arteríolas) também podem ocorrer, contribuindo para o aumento do débito cardíaco e diminuição da resistência periférica total (DAUSSIN, PONSOT *et al.*, 2007; LAURSEN, 2012). Embora essas adaptações centrais possam acontecer de forma rápida (i.e. 3 dias), um período longo de treinamento (3 a 6 vezes por semana/ 12 a 38 dias) podem ser necessários para melhora do VO_{2max} (LAURSEN e JENKINS, 2002).

Baseado na premissa que a intensidade do exercício tem sido considerada a principal variável a ser manipulada para a melhora do VO_{2max} (WENGER e BELL, 1986; MIDGLEY, MCNAUGHTON *et al.*, 2007), vem sendo bem aceita a teoria que gira em torno do conceito que melhoras no VO_{2max} podem ser otimizadas quando o treinamento realizado proporciona o maior tempo possível numa intensidade próxima ao VO_{2max} (LAURSEN, 2012). O recrutamento de fibras rápidas em intensidades acima de 90% VO_{2max} e taxas máximas de débito cardíaco podem ser requeridos para provocar adaptações centrais (LAURSEN, 2012). Esse estímulo parece provocar máximo estresse fisiológico nos processos e estruturas que limitam o VO_{2max} , fornecendo um ótimo estímulo para a sua melhora (MIDGLEY, MCNAUGHTON *et al.*, 2007).

Dentre as importantes aplicações do VO_{2max} , alguns estudos propuseram-se em investigar os efeitos do treinamento intervalado sobre o VO_{2max} (LAURSEN, BLANCHARD *et al.*, 2002; LAURSEN, SHING *et al.*, 2002; DUFFIELD, EDGE *et al.*, 2006; TONG, CHUNG *et al.*, 2011; ZIEMANN, GRZYWACZ *et al.*, 2011). Entre estes, apenas o estudo de Laursen *et al.* (2002) não encontrou melhoras no VO_{2max} . Embora a intensidade tenha sido alta (100% P_{MAX}), o treinamento foi realizado por apenas duas semanas, o que pode ter favorecido esse

resultado. Nos demais estudos (LAURSEN, SHING *et al.*, 2002; DUFFIELD, EDGE *et al.*, 2006; TONG, CHUNG *et al.*, 2011; ZIEMANN, GRZYWACZ *et al.*, 2011), em todos foram encontrados melhora no VO_2max . Nesses estudos, foram utilizadas intensidades de 80% (ZIEMANN, GRZYWACZ *et al.*, 2011), 100% (LAURSEN, BLANCHARD *et al.*, 2002), 120% (TONG, CHUNG *et al.*, 2011) e 175% P_{MAX} (LAURSEN, SHING *et al.*, 2002).

Entre os estudos que se utilizaram da maior intensidade possível durante o treinamento intervalado, treinamento baseado no teste de Wingate, não foram verificadas modificações no VO_2max , mesmo que este tenha sido avaliado por meio do $\text{VO}_{2\text{pico}}$ (MACDOUGALL, HICKS *et al.*, 1998; CREER, RICARD *et al.*, 2004; BURGOMASTER, HUGHES *et al.*, 2005; BURGOMASTER, HEIGENHAUSER *et al.*, 2006; GIBALA, LITTLE *et al.*, 2006; BURGOMASTER, HOWARTH *et al.*, 2008). Em todos esses treinamentos, a intensidade foi máxima, assim como no teste de Wingate, variando de duas a oito semanas e numa razão esforço:pausa de 1:10 até 1:5. Esses estudos mostram a teoria de que é preciso se exercitar próximo ou no VO_2max durante uma sessão de treino para que essa variável seja melhorada, já que nesse tipo de treinamento o VO_2max não parece ser estimulado.

2.8 POTÊNCIA MÁXIMA DO TESTE INCREMENTAL

De uma forma geral, a economia de movimento representa o custo de O_2 para uma determinada atividade submáxima (CAPUTO, DELUCAS *et al.*, 2001). Em atividades nas quais o trabalho externo pode ser facilmente quantificado (*i.e.* cicloergômetro), pode-se utilizar o termo eficiência de movimento (EM). Tem-se mostrado grande variabilidade na EM entre ciclistas bem treinados, chegando a 15% (COYLE, FELTNER *et al.*, 1991). Isso ajuda a entender por que atletas com VO_2max semelhantes apresentam diferentes P_{MAX} . A P_{MAX} representa a maior potência atingida durante um teste incremental. Sendo assim, a P_{MAX} é o índice que melhor descreve a associação entre a potência aeróbia máxima e EM.

Dessa forma, a maior parte dos estudos que se propuseram a investigar o efeito do treinamento intervalado de alta intensidade sobre a P_{MAX} observaram benefícios (LINDSAY, HAWLEY *et al.*, 1996; MCKENNA, HEIGENHAUSER *et al.*, 1997; WESTGARTHTAYLOR,

HAWLEY *et al.*, 1997; WESTON, MYBURGH *et al.*, 1997; STEPTO, HAWLEY *et al.*, 1999; RODAS, VENTURA *et al.*, 2000; LAURSEN, BLANCHARD *et al.*, 2002; LAURSEN, SHING *et al.*, 2002; PATON e HOPKINS, 2005; BERGER, TOLFREY *et al.*, 2006; DUFFIELD, EDGE *et al.*, 2006; DAUSSIN, PONSOT *et al.*, 2007; DAUSSIN, ZOLL *et al.*, 2008; BAILEY, WILKERSON *et al.*, 2009; TONG, CHUNG *et al.*, 2011; ZIEMANN, GRZYWACZ *et al.*, 2011). Não foram encontrados benefícios do treinamento intervalado sobre a P_{MAX} quando ciclistas de *endurance* treinaram a 100 ou 80% da potência máxima do teste incremental. Embora o número de sujeitos tenha sido pequeno em ambos os grupos ($n < 4$), foram encontrados benefícios na P_{MAX} num grupo de sujeitos tão pequeno quanto o do mesmo estudo, porém exercitando-se numa intensidade correspondente a 175, 90 ou 85% da potência máxima do teste incremental.

2.9 LIMIARES DE TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA

O lactato é um importante marcador fisiológico amplamente utilizado como ferramenta para o controle da intensidade do exercício aeróbio. Como o acúmulo de lactato no sangue reflete um aumento do metabolismo anaeróbio e/ou diminuição nos mecanismos responsáveis pela remoção de lactato, e permite o zoneamento dos domínios fisiológicos, intervenções que resultem na sua melhora são de grande interesse para a prescrição do treinamento esportivo. Além disso, esses índices relacionados à resposta do lactato sanguíneo são os que melhor representam a capacidade aeróbia, apresentando forte associação com o desempenho de longa duração (CAPUTO, OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Além disso, é de acordo entre cientistas que melhoras no limiar anaeróbio tipicamente resultam em melhoras no desempenho predominantemente aeróbio (BILLAT, 1996; HAWLEY, MYBURGH *et al.*, 1997; MIDGLEY, MCNAUGHTON *et al.*, 2007). O fato de corredores de longa duração (que realizam treinamentos mais longos em menores intensidades) possuírem esse limiar mais elevado do que corredores de meia distância (que realizam treinos mais curtos em velocidades próximas ao VO_{2max}) sugerem evidências indiretas que treinos de grande volume são mais efetivos para melhora desse limiar (MACDOUGALL, 1977; MIDGLEY, MCNAUGHTON *et al.*, 2007). Entretanto, não há evidências para suportar a premissa que treinamento

em intensidades moderadas são mais eficientes para melhora desse índice em corredores bem treinados (MIDGLEY, MCNAUGHTON *et al.*, 2007).

A melhora do LAn está associada a adaptações musculares que reduzem a produção de lactato e aumentam sua remoção em altas intensidades (ANDERSON e RHODES, 1989). Assim, melhoras no LAn podem estar associadas a adaptações nas fibras de tipo II, sendo que treinamentos a 90-100%VO₂max poderiam ser mais efetivos para a melhora do LAn (MACDOUGALL, 1977). Da mesma forma, treinamentos em intensidades sutilmente acima do LAn são bem aconselhados para melhora desse limiar (BILLAT, SIRVENT *et al.*, 2004; MIDGLEY, MCNAUGHTON *et al.*, 2007). Assim, atletas bem treinados, que possuem esse índice em percentuais próximos a P_{MAX} (>85-90%), precisariam de treinamentos de alta intensidade para a melhora do LAn, permitindo treinos com altas concentrações de lactato e possivelmente estimulando percentuais próximos ao VO₂max (MIDGLEY, MCNAUGHTON *et al.*, 2007).

Embora tendo sua importância, o grande número de terminologias empregadas pelos pesquisadores para identificação dos limiares associados ao lactato sanguíneo durante o exercício de cargas progressivas dificulta a comparação entre estudos. Apesar disso, os limiares se restringem basicamente a duas categorias. A primeira identifica o início do acúmulo de lactato no sangue, sendo esta geralmente definida como o limiar de lactato. Essa terminologia se baseia em quantidades variáveis de lactato no sangue, podendo ser categorizada como a intensidade anterior ao aumento exponencial do lactato no sangue, também chamada de *onset of plasma lactate accumulation* (OPLA; (FARRELL, WILMORE *et al.*, 1979), ou a intensidade em que os níveis de lactato sanguíneo se elevam acima de 1mM dos valores da linha de base (COYLE, MARTIN *et al.*, 1983).

A segunda categoria se baseia em quantidades fixas de lactato no sangue para a estimação da MFEL. A MFEL representa a maior intensidade em exercício de carga constante em que as taxas de produção e remoção do lactato sanguíneo se equilibram, significando a maior intensidade em que os níveis de lactato sanguíneo permanecem estáveis (BILLAT, SIRVENT *et al.*, 2003). Embora seja usada na avaliação da capacidade aeróbia de atletas (BILLAT, 1996; BILLAT, SIRVENT *et al.*, 2003), sua determinação requer um mínimo de duas

sessões de exercício constante em dias diferentes, com duração mínima de 30 minutos. Por isso, a estimativa da MFEL por meio do Limiar Anaeróbio (LAn) (KINDERMANN, SIMON *et al.*, 1979) ou *onset of blood lactate accumulation* (OBLA) (SJODIN e JACOBS, 1981). Para determinação do LAn utilizam-se concentrações fixas de lactato sanguíneo de 3,5mM quando o teste incremental utiliza estágios de três minutos, ou 4 mM quando os estágios têm duração de 4-5 minutos (HECK, MADER *et al.*, 1985).

No entanto, menor parte dos estudos investigara os efeitos do treinamento intervalado sobre os limiares de transição fisiológica associados ao lactato sanguíneo (DUFFIELD, EDGE *et al.*, 2006; ZIEMANN, GRZYWACZ *et al.*, 2011), mas sim métodos não invasivos, como os limiares ventilatórios (MCKENNA, HEIGENHAUSER *et al.*, 1997; LAURSEN, BLANCHARD *et al.*, 2002; CREER, RICARD *et al.*, 2004; BERGER, TOLFREY *et al.*, 2006; DUFFIELD, EDGE *et al.*, 2006; DAUSSIN, PONSOT *et al.*, 2007; BAILEY, WILKERSON *et al.*, 2009). Os parâmetros ventilatórios para identificação do início da acidose metabólica durante o exercício de cargas progressivas foram primeiramente propostos por Wasserman e McLlory (1964). Atualmente, durante o exercício de cargas progressivas, procuram-se dois limiares ventilatórios, sendo que o primeiro limiar ventilatório (LV1) se caracteriza pela intensidade em que existe um aumento na VE/VO_2 e $PETCO_2$ sem ocorrer um aumento na VE/VCO_2 e $PETCO_2$ (DENADAI, 1995). Esse limiar corresponderia ao LL. Com o incremento de cargas, há um aumento na acidose metabólica, com queda acentuada no pH, ocorrendo aumento no VE/VO_2 e queda no $PETCO_2$. Nesse momento, atinge-se o Ponto de compensação respiratória da acidose metabólica, ou segundo limiar ventilatório (LV2) (MCLELLAN, 1985). Esse limiar seria correspondente ao LAn.

Dentre os estudos que investigaram os efeitos do treinamento intervalado de alta intensidade sobre os limiares de transição fisiológica associados ao lactato sanguíneo, Duffield *et al.* (2006) e Ziemann *et al.* (2011) observaram melhora no LL e LAn, respectivamente. Com relação aos limiares ventilatórios, Laursen *et al.* (2002) observaram melhoras no LV1 (22%) e LV2(15%). Da mesma forma, Daussin *et al.* (2007) encontraram melhoras após o treinamento intervalado de alta intensidade na potência e no VO_2 do LV1 (27%) e LV2 (22%). Quando

o treinamento foi realizado em baixa intensidade, foram observadas melhoras apenas na potência e VO_2 do LV1 (22%), sem melhoras no LV2. Em desenho semelhante, Berger et al. (2006) observaram melhoras na potência do GET (*Gas Exchange Threshold*; correspondente ao LAn), após um treinamento de alta intensidade (28% de melhora) e um treinamento de baixa intensidade (43% de melhora). Também foram observadas melhoras no VO_2 do GET em ambos os grupos.

Por outro lado, não foram observadas melhoras no LV1 (MCKENNA, HEIGENHAUSER *et al.*, 1997), LV2 ((MCKENNA, HEIGENHAUSER *et al.*, 1997; CREER, RICARD *et al.*, 2004) e GET (BAILEY, WILKERSON *et al.*, 2009) após o treinamento intervalado em que a intensidade de exercício foi máxima.

2.10 POTÊNCIA CRÍTICA

No ciclismo, alguns estudos se propuseram a investigar os efeitos do treinamento intervalado em diferentes intensidades sobre a PC (VANHATALO, DOUST *et al.*, 2008; GAESSER e WILSON, 1988; JENKINS e QUIGLEY, 1992; POOLE, WARD *et al.*, 1990). No estudo de Vanhatalo et al. (2008), foi utilizado, por quatro semanas, duas sessões de treinamento intervalado na intensidade de 105%PC, com intervalos de exercício e recuperação de 5min e 2,5min, respectivamente. Além disso, foi realizada uma sessão semanal de exercício intermitente de 2 minutos de exercício por dois minutos de recuperação, sendo a intensidade suficiente para gastar 50% da W' . A PC aumentou significativamente, sendo que a W' diminuiu, porém sem significância.

Outros estudos alcançaram resultados semelhantes (GAESSER e WILSON, 1988; JENKINS e QUIGLEY, 1992; POOLE, WARD *et al.*, 1990). Comparando dois grupos, treinando três vezes por semana, um que treinou em intensidade submáxima (40 minutos a 50% $\text{VO}_{2\text{max}}$) e outro com treinamento intervalado de alta intensidade (10 vezes de dois minutos no $\text{VO}_{2\text{max}}$), houve melhora significativa de 15 e 13% na PC, respectivamente, porém sem efeitos sobre o W' (GAESSER e WILSON, 1992). Semelhantemente, foi observada melhora de 10% na PC após sete semanas de treinamento intervalado na intensidade de 105% $\text{VO}_{2\text{max}}$, sem efeitos sobre a W' (POOLE *et al.*, 1988). Ainda, 30 a 40 minutos de exercício na PC, realizado por oito semanas, aumentou

significativamente em 31% a PC, e reduziu em 26%, porém sem significância a W' (JENKINS e QUIGLEY, 1992).

Recentemente, na corrida, Clark et al. (2013) verificaram os efeitos do treinamento sobre a velocidade crítica e D' (análogo a W' na corrida). Por quatro semanas, jogadoras de futebol foram separadas em dois grupos, um que treinou a aproximadamente 127%VO₂max, e outro que treinou entre 98 e 110%VO₂max. Ao final do treinamento, ambos obtiveram melhoras parecidas sobre o teste de 3-minutos máximo, na corrida. Ambos os grupos melhoraram significativamente a VC, e reduziram significativamente a D'. Os autores sugeriram intensidade de treinamento acima de 130%VO₂max para a melhora da D' com o treinamento. Até então, apenas foi observado melhora significativa da W' com o treinamento de sprint (JENKINS e QUIGLEY, 1993).

2.11 DESEMPENHO EM TESTES DE CONTRA-RELÓGIO

Diversos estudos propuseram-se a investigar os efeitos do treinamento intervalado sobre o desempenho em testes de contra-relógio. Em grupo de ciclistas bem treinados, foram observadas melhoras no desempenho de contra-relógio de 40 km (LINDSAY, HAWLEY *et al.*, 1996; WESTGARTHTAYLOR, HAWLEY *et al.*, 1997; WESTON, MYBURGH *et al.*, 1997; STEPTO, HAWLEY *et al.*, 1999; LAURSEN, SHING *et al.*, 2002). Embora Stepto et al. (1999) tenham observado melhoras no desempenho, isso apenas foi visível quando os ciclistas treinaram a 175, 90 e 85% da potência máxima do teste incremental, sem ser observado tal efeito quando os ciclistas treinaram a 100 ou 80% da potência máxima do teste incremental.

Em estudos que investigaram o efeito do treinamento intervalado realizado em intensidade máxima, foram observadas melhoras no contra-relógio de 750kJ e 50kJ (GIBALA, LITTLE *et al.*, 2006) assim como em contra-relógio de 250kJ (BURGOMASTER, HOWARTH *et al.*, 2008). Da mesma forma, Paton e Hopkins (2005) observaram benefícios do treinamento intervalado de intensidade máxima associado a exercícios explosivos de salto, em provas de contra-relógio de 1 e 4 km.

Outros estudos investigaram os efeitos do treinamento sobre testes de T_{LIM}. Foi observada melhora no T_{LIM} a 150%PP (LINDSAY, HAWLEY *et al.*, 1996; WESTON, MYBURGH *et al.*, 1997),

80%VO₂max (BURGOMASTER, HUGHES *et al.*, 2005), 70%VO₂max (TONG, CHUNG *et al.*, 2011), e intensidade de delta 50% (DAUSSIN, ZOLL *et al.*, 2008). Neste último, foi observado efeito duas vezes maior quando a intensidade do treinamento foi em alta intensidade comparada ao grupo que treinou em baixa intensidade (DAUSSIN, ZOLL *et al.*, 2008). Por outro lado, não foi observada melhora no T_{LIM} a 100%VO₂max em ciclistas bem treinados que se submeteram a treinamento de alta intensidade a 100 ou 175% da potência máxima do teste incremental (LAURSEN, SHING *et al.*, 2002).

2.12 TESTE DE WINGATE

Diversos estudos utilizaram o modelo do teste de Wingate (esforços de 30s, *all-out*) para prescrição do treinamento intervalado (MCKENNA, HEIGENHAUSER *et al.*, 1997; MACDOUGALL, HICKS *et al.*, 1998; CREER, RICARD *et al.*, 2004; BURGOMASTER, HUGHES *et al.*, 2005; PATON e HOPKINS, 2005; BURGOMASTER, HEIGENHAUSER *et al.*, 2006; BURGOMASTER, HOWARTH *et al.*, 2008). Entre estes, a maioria que se propôs a investigar o efeito do treinamento sobre esse teste observou melhoras sobre algum aspecto dele. O resumo dos efeitos do treinamento com repetições de esforço máximo nos parâmetros do teste de Wingate estão descritos na Tabela 2.

Dentre os estudos que não utilizaram repetições com esforço máximo (*i.e. all-out*) treinamento, apenas Ziemann *et al.* (2011) analisaram os efeitos do treinamento no teste de Wingate. Embora o treinamento empregado apresentasse fortes características aeróbias, houve melhoras no trabalho total e potência média no teste de Wingate. Entretanto, não houve mudanças no PP.

Tabela 2 – Estudos que investigaram os efeitos do treinamento intervalado realizado em intensidade máxima, sobre variáveis fisiológicas e de desempenho.

Referência	n	Repetições.	Descanso	Duração	Adaptações	Desempenho
MACDOUGALL et al., 1998	12A	4-10	2-4'	7	↑VO ₂ max, CS, PFK, HK, MDH, SDH, ↔ LDH, PHOS, β-HAD	↑PP e W _{tot} apenas no segundo, terceiro e quarto Wingate
MCKENNA et al., 1999	8A	4-10	4-3'	7	↑VO ₂ max, P _{MAX} , VO ₂ e VE no Wingate, VE e FC 10' após Wingate, ↔VO ₂ LV1 e LV2	↑PP, PM, PT, %F e W _{tot}
RODAS et al., 2000	5 A	2-7	45'' e 12'	2	↑VO ₂ max, P _{MAX} , [La]pico, CS, PFK, LDH, β-HAD, GLIC, PCr e CK, ↓Lac _M	↔PP e PM
CREER et al., 2004	10C	4-10	4'	4	↔VO ₂ max, LV1,	↑PP, PM e W _{tot}
PATON; HOPKINS, 2005	9C	5	30''	4-5	↑P _{MAX}	↑ CR1km, CR4km e PM no treino

Continua na próxima página

BURGOMAS TER et al., 2005	8A	4-7	4'	2	↔VO ₂ max, [PCr], [Cr] e [ATP], ↑CS, GLIC	↑T _{LIM} 80%VO ₂ max, PP, ↔PM, ↓%F
BURGOMAS TER et al., 2006	8A	4-7	4'	2	↔VO ₂ max, β-HAD, ↑La, CS, PDH, GLIC	↑CR250kJ, PP, PM, ↓%F
GIBALA et al., 2006	8A	4-6	4'	2	↑VO ₂ max, P _{MAX} , GLIC, CTM	↑CR50kJ e CR750kJ
BURGOMAS TER et al., 2008	10A	4-6	4,5'	6	↑VO ₂ max, CS, β- HAD, PDH, oxidação de gorduras e carboidrato s	↑PP, PM

Fonte: Produção do próprio autor.

Legenda: C= Ciclistas; A= Ativos; PP= potência pico; PM= potência média; %F= Índice de fadiga; CR=Contra-relógio; T_{LIM}= Tempo de exaustão; Wtot= Trabalho total; CS= Atividade da enzima citrato sintase; PFK= Atividade da enzima fosfofrutoquinase; SDH= Atividade da enzima succinato desidrogenase; HK= Atividade da enzima hexoquinase; MDH= Atividade da enzima malato desidrogenase; LDH= Atividade da enzima lactato desidrogenase; PHOS= Atividade da enzima fosforilase; β-HAD= Atividade da enzima β-HAD; ↑= melhora, ↔= sem melhora, ↓= prejuízo; VE= ventilação; [La]pico= concentração de lactato sanguíneo pico; LacM= lactato muscular; GLIC= Glicogênio muscular de repouso; PCr= Fosfocreatina muscular de repouso; CK= Enzima creatina quinase; [PCr]= Concentração de fosfocreatina muscular; [Cr] Concentração de creatina muscular; [ATP]= Concentração de ATP muscular; CR=Contra-relógio; La= Concentração de lactato no exercício; CTM= Capacidade de tamponamento muscular.

* A duração do período de treinos está expressa em semanas.

2.13 ADAPTAÇÕES METABÓLICAS

As adaptações metabólicas no músculo são associadas com o aumento da habilidade muscular de produzir energia (ROSS e LEVERITT, 2001). Isso pode acontecer por um aumento na atividade das enzimas e na sua taxa de produção de energia, pelo aumento da quantidade de substrato armazenado no músculo aumentando a quantidade total de energia a ser produzida e pela capacidade muscular de resistir ao acúmulo de metabólitos associados à fadiga.

Quando um exercício como o teste de Wingate é repetido diversas vezes, como foi realizado nesses estudos (MACDOUGALL, HICKS *et al.*, 1998; RODAS, VENTURA *et al.*, 2000; CREER, RICARD *et al.*, 2004; BURGOMASTER, HUGHES *et al.*, 2005; BURGOMASTER, HEIGENHAUSER *et al.*, 2006; TALANIAN, GALLOWAY *et al.*, 2007; BURGOMASTER, HOWARTH *et al.*, 2008), a produção de energia anaeróbia diminui e uma quantidade significativa é derivada do metabolismo aeróbio (ROSS e LEVERITT, 2001). Possivelmente por esse motivo, esses estudos notaram um aumento na atividade da enzima citrato sintase (CS: enzima-chave do sistema aeróbio; (MACDOUGALL, HICKS *et al.*, 1998; RODAS, VENTURA *et al.*, 2000; BURGOMASTER, HUGHES *et al.*, 2005; BURGOMASTER, HEIGENHAUSER *et al.*, 2006; TALANIAN, GALLOWAY *et al.*, 2007; BURGOMASTER, HOWARTH *et al.*, 2008). Embora o aumento na atividade da CS em alguns desses estudos, não foram observadas melhoras no VO_2max (BURGOMASTER, HUGHES *et al.*, 2005; BURGOMASTER, HEIGENHAUSER *et al.*, 2006), mostrando que esse tipo de treinamento pode provocar adaptações diferentes nos parâmetros aeróbios centrais e periféricos, assim como mostrado por Dawson *et al.* (1998).

A maior parte dos estudos que investigaram os efeitos do treinamento intervalado de alta intensidade sobre a atividade enzimática foi daqueles que basearam a intensidade do treinamento em repetidos esforços máximo (i.e. all-out) (MACDOUGALL, HICKS *et al.*, 1998; RODAS, VENTURA *et al.*, 2000; BURGOMASTER, HUGHES *et al.*, 2005; BURGOMASTER, HEIGENHAUSER *et al.*, 2006; TALANIAN, GALLOWAY *et al.*, 2007; BURGOMASTER, HOWARTH *et al.*, 2008). Em relação às enzimas do metabolismo glicolítico, MacDougall *et al.* (1998) e Rodas *et al.* (2000) reportaram aumento de 48 e 100%,

respectivamente, na atividade da enzima fosfofrutoquinase (PFK: enzima que catalisa a fosforilação do intermediário glicolítico frutose-6-fosfato). Quando o treinamento foi realizado em intensidade correspondente a 80% P_{MAX} , não foram encontrados benefícios na ativação dessa enzima (WESTON, MYBURGH *et al.*, 1997). Diferentemente, a enzima lactato desidrogenase (LDH: catalisa a conversão de piruvato em lactato) apenas apresentou maior ativação (48%) no estudo de Rodas et al. (2000), sem ser encontrada mudança na atividade dessa enzima no estudo de MacDougall et al. (1998).

Outras importantes enzimas mitocondriais investigadas foram a piruvato desidrogenase (PDH) e 3-hidroxiacil CoA desidrogenase (β -HAD), que refletem a capacidade de oxidação musculoesquelética de carboidratos e gorduras, respectivamente. Com relação à β -HAD, os resultados são mais controversos, pois alguns estudos mostraram aumento na sua ativação (RODAS, VENTURA *et al.*, 2000; TALANIAN, GALLOWAY *et al.*, 2007; BURGOMASTER, HOWARTH *et al.*, 2008), enquanto outros não mostraram (MACDOUGALL, HICKS *et al.*, 1998; BURGOMASTER, HOWARTH *et al.*, 2008). Comportamento parecido foi observado no efeito do treinamento na atividade da enzima PDH; enquanto alguns estudos mostraram aumento na sua atividade (BURGOMASTER, HEIGENHAUSER *et al.*, 2006; BURGOMASTER, HOWARTH *et al.*, 2008), em outro com similar modelo de treinamento isso não foi observado (MACDOUGALL, HICKS *et al.*, 1998).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 SUJEITOS DA PESQUISA

Foram selecionados para esta pesquisa 16 indivíduos de ambos os sexos (Quatorze homens e duas mulheres), por meio de amostragem não probabilística intencional. Utilizaram-se os seguintes critérios de inclusão: indivíduos maiores de 18 anos, não fumantes, que não faziam uso regular de qualquer medicamento. Todos deveriam praticar atividade física por no mínimo três vezes por semana. O trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade do Estado de Santa Catarina, conforme Parecer n.149.231/2012. Após serem informados quanto aos procedimentos do

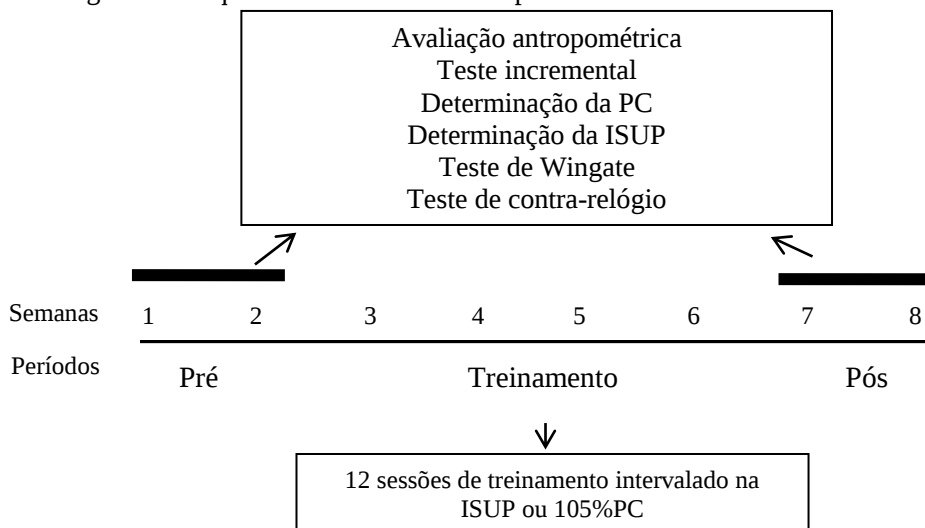
estudo, os indivíduos assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido concordando em participar da pesquisa.

3.2 PROTOCOLO EXPERIMENTAL

3.2.1 Delineamento experimental

Os sujeitos foram pareados, baseados nos valores de P_{MAX} e VO_{2max} , nos grupos de treinamento ISUP ($n = 8$, sete homens e uma mulher) e 105%PC ($n = 8$, sete homens e uma mulher). O protocolo da pesquisa incluiu três períodos: 1)Pré-treinamento; 2) Treinamento; e 3) Pós-treinamento (figura 1). Nos períodos pré e pós-treinamento, os sujeitos realizaram em cicloergômetro (Lode, Excallibur, Sport, Groningen, Holanda) os seguintes testes (figura 2): *visita 1*) Teste incremental seguido em 15 minutos por teste de tempo de exaustão a 100% da P_{MAX} para confirmação do VO_{2max} ; *visitas 2, 3 e 4*) seis testes de T_{LIM} , sendo dois por dia. O primeiro para determinação da ISUP e TSUP, e o segundo, respeitando um mínimo de 1h de descanso, para as cargas preditivas a 95, 100 ou 110% P_{MAX} para determinação da PC e W' ; *visita 5*) teste de Wingate; e *visita 6*) teste de contra-relógio de 250kJ.

Figura 1 – Esquema do delineamento experimental

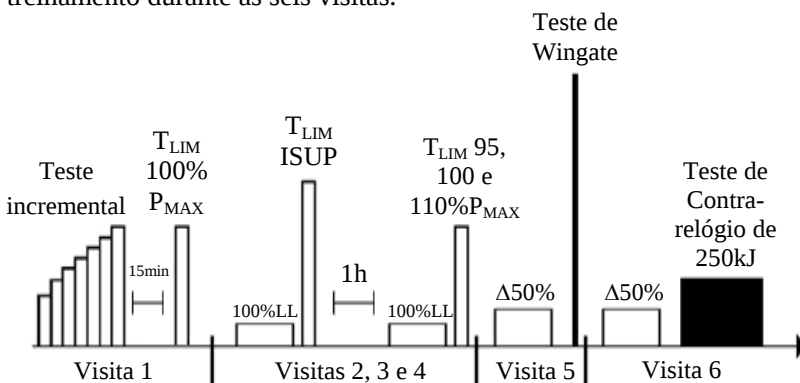


Fonte: Produção do próprio autor.

Os testes foram realizados com um intervalo mínimo de 48 horas entre eles. O protocolo de avaliações foi completado dentro de um período de duas semanas. Os sujeitos foram orientados a chegar ao laboratório alimentados e hidratados bem como a evitarem exercícios extenuantes nas 24 horas antecedentes ao teste. Todos os testes foram realizados no mesmo horário do dia (± 2 h). Os indivíduos também foram orientados a manter a mesma dieta e mesmos hábitos nos períodos pré e pós-treinamento.

Após o período pré-treinamento, os sujeitos nos grupos ISUP e 105%PC realizaram 12 sessões de treinamento intervalado na intensidade de ISUP (Grupo ISUP) ou 105%PC (Grupo 105%PC) em quatro semanas, representando três sessões de treinamento por semana. Três a cinco dias após a última sessão de treinamento, em um período de duas semanas (pós-treinamento), os sujeitos foram submetidos nas mesmas condições aos testes realizados no período pré-treinamento.

Figura 2 – Representação esquemática dos períodos pré e pós-treinamento durante as seis visitas.



Fonte: Produção do próprio autor.

Legenda: T_{LIM} = Teste de tempo de exaustão; P_{MAX} = Potência máxima atingida no teste incremental; ISUP= Maior intensidade em que o VO_2max é atingido; PC= Potência crítica; $\Delta 50$ = Intensidade correspondente a 50% da diferença entre o VO_2 do LL e o VO_2max . Leia os métodos para mais detalhes dos testes.

3.2.2 Avaliação antropométrica

Na primeira visita ao laboratório, os sujeitos foram submetidos a uma avaliação antropométrica. As medidas antropométricas foram todas realizadas utilizando procedimentos padronizados, sendo massa corporal e estatura mensuradas, conforme Gordon, Chumlea e Roche (1988), e dobras cutâneas, conforme Harrison et al. (1988). A massa corporal foi mensurada por meio de balança digital de resolução de 100g (Toledo 2096PP, Toledo do Brasil, São Paulo, Brasil). A estatura foi mensurada por meio de estadiômetro profissional com altura de 2,1 m e resolução de 1 mm (Sanny, American Medical do Brasil, São Paulo, Brasil). A espessura de dobras cutâneas foi mensurada por plicômetro com resolução de 0,5 mm (Lange Skinfold Caliper, Incorporated Cambridge, Maryland, EUA). Foram aferidas as dobras cutâneas peitoral, abdominal e coxa medial para homens, e supra-íliaca, tricipital e coxa medial para mulheres. Para a predição dos valores de densidade corporal foi utilizada a fórmula de três dobras proposta por Jackson e Pollock (1978), sendo o percentual de gordura corporal estimado por fórmula proposta por Siri (1961).

3.2.3 Determinação da P_{MAX}

Após a avaliação antropométrica, os sujeitos realizaram um teste incremental. A carga inicial foi de $0,5 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ com incrementos de $0,5 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ a cada estágio de três minutos até à exaustão voluntária. Anteriormente ao início do teste e ao final de cada estágio, ocorreu a coleta de sangue (25 μ l) do lóbulo da orelha para a mensuração das concentrações de lactato sanguíneo ([La]). O VO_2 foi mensurado a cada respiração durante todo o protocolo a partir do gás expirado (Quark PFTergo, Cosmed, Itália), sendo os dados reduzidos a médias de 15 s. Antes do teste, o sistema de análise do O_2 e CO_2 foi calibrado usando o ar ambiente e gases com concentrações conhecidas de O_2 e CO_2 , enquanto a turbina foi calibrada por meio de seringa de 3L (Cosmed, Roma, Itália). O $\text{VO}_{2\text{max}}$ do teste incremental ($\text{VO}_{2\text{maxINC}}$) foi considerado o maior valor obtido num intervalo de 15 s. Como critérios para a determinação do $\text{VO}_{2\text{max}}$, foram utilizados o aparecimento de um estado estável do VO_2 , apesar de um aumento na intensidade (aumento no $\text{VO}_2 < 150 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$), ou quando dois ou mais dos seguintes critérios foram observados: (1) quociente respiratório maior que 1,1; (2) visível exaustão; (3) frequência cardíaca (FC) máxima ao final do teste

pelo menos igual a 90% do valor máximo predito ($220 - \text{idade}$); e (4) $[\text{La}]$ ao final do exercício maior que 8 mmol.l^{-1} . As $[\text{La}]$ foram analisadas por meio de analisador eletroquímico (YSI 1500 STAT, Yellow Springs, Ohio, EUA). A P_{MAX} foi determinada de acordo com a equação:

$P_{\text{MAX}} (W) = \text{potência último estágio completado (W)} + [t (s)/\text{duração do estágio (s)} \times \text{Incremento do estágio (W)}]$, onde t é o tempo do estágio último incompleto (KUIPERS, VERSTAPPEN *et al.*, 1985).

O LL foi considerado a intensidade anterior ao aumento das $[\text{La}]$ em relação à linha de base. A identificação do LL foi realizada por dois avaliadores experientes. Em caso de discordância entre eles, um terceiro avaliador foi consultado. O LAn foi determinado por interpolação linear usando uma concentração fixa de lactato de $3,5 \text{ mmol.l}^{-1}$ (HECK, MADER *et al.*, 1985).

Imediatamente após a realização do teste incremental, os sujeitos repousaram passivamente por 15 minutos. Após isso, retornaram à bicicleta para realização de teste de tempo de exaustão a 100% da P_{MAX} . Esse teste foi precedido por um aquecimento de cinco minutos com carga equivalente a $1W/kg$, um minuto de recuperação passiva e dois minutos de exercício a $20W$, após os quais a carga foi elevada abruptamente até 100% da P_{MAX} . Esse protocolo foi executado para a confirmação do VO_2max encontrado no teste incremental. O VO_2max do teste de confirmação do VO_2max (VO_2maxCON) foi considerado o maior valor obtido num intervalo de 15 s. O T_{LIM} foi considerado como o tempo total de exercício. Os sujeitos não foram informados do tempo decorrido durante o teste. O teste foi interrompido por exaustão voluntária do sujeito ou caso ele não conseguisse manter uma cadência acima de 60rpm.

3.2.4 Testes de carga constante

Nas visitas 2, 3 e 4, os sujeitos realizaram seis testes de T_{LIM} para a determinação da ISUP, TSUP, PC e W' . Em cada dia foram realizados dois testes de T_{LIM} , sendo o primeiro para a determinação da ISUP, e o segundo realizado com no mínimo uma hora de descanso, para determinação da PC.

Inicialmente, os sujeitos realizaram o primeiro teste de determinação da ISUP. A primeira intensidade foi correspondente a

125% da P_{MAX} . No mínimo uma hora após o teste, os sujeitos realizaram o primeiro teste das cargas preditivas para a PC, em ordem aleatória, que foi correspondente a 95, 100 ou 110% P_{MAX} . Todos os testes foram precedidos de sete minutos de aquecimento na intensidade correspondente ao LL. Todos os exercícios (aquecimento e teste de T_{LIM}) foram precedidos por três minutos de pedalada a 20W. Após o aquecimento, houve descanso passivo de dois minutos.

3.2.5 Determinação da potência crítica

Os sujeitos realizaram três testes de T_{LIM} em ordem aleatória com carga constante a 95, 100 e 110% da P_{MAX} . As cargas foram selecionadas para que os sujeitos entrassem em exaustão com um tempo entre três e 12 minutos.

Os sujeitos foram verbalmente encorajados a se esforçarem o máximo possível. O VO_2 foi mensurado a cada respiração durante todo o teste. O maior valor em médias de 15s foram considerados o VO_{2max} dos testes a 95 (VO_{2max95}), 100 ($VO_{2max100}$) e 110% P_{MAX} ($VO_{2max110}$). O T_{LIM} foi considerado o tempo total de exercício, sendo registrado por meio de um cronômetro. Os sujeitos não foram informados quanto ao tempo de exercício durante o teste.

Para a determinação da PC e W' , os valores individuais de T_{LIM} e trabalho realizado, obtidos durante os testes de carga constante, foram ajustados a partir do seguinte modelo de regressão linear (HILL, 1993):

$$P = PC + W' \left(\frac{1}{T_{LIM}} \right),$$

onde T_{LIM} é o tempo de exaustão na potência realizada (P); W' é a capacidade de trabalho anaeróbio (joules), e PC é a potência crítica (W). Sendo que a inclinação da reta corresponde à PC e o ponto em que a reta intercepta o eixo x representa a W' .

3.2.6 Determinação do VO_{2max}

Para um critério mais robusto do VO_{2max} , foram considerados cinco valores de VO_{2max} para cada sujeito. O VO_{2max} representou a média dos valores de VO_{2max} dos testes incremental, confirmação do VO_{2max} , e T_{LIM} a 95, 100 e 110% P_{MAX} . O VO_{2max} de cada sujeito foi determinado pelo seguinte cálculo:

$$\text{VO}_{2\text{max}} = (\text{VO}_{2\text{maxINC}} + \text{VO}_{2\text{maxCON}} + \text{VO}_{2\text{max95}} + \text{VO}_{2\text{max100}} + \text{VO}_{2\text{max110}})/5$$

3.2.7 Determinação da maior intensidade (ISUP) e menor tempo de exercício (TSUP) em que o VO₂max é alcançado

Os sujeitos realizaram dois a três testes de T_{LIM} e carga constante para determinação da ISUP e TSUP. Caso a ISUP não tenha sido determinada em três dias, o indivíduo foi convidado a realizar, em um quarto dia, teste de T_{LIM} para determinação da ISUP. No primeiro teste, a intensidade escolhida foi correspondente a 125% P_{MAX}, devido a estudos prévios mostrarem que a ISUP, em média, corresponde a essa intensidade para sujeitos ativos (CAPUTO; DENADAI, 2008; CAPUTO, 2006). Caso durante o primeiro teste (125%P_{MAX}) o VO₂max fosse alcançado, o próximo teste foi realizado numa intensidade 5% maior até que o VO₂max não tenha sido alcançado. Caso contrário, se no primeiro teste o VO₂max não fosse alcançado, o próximo teste foi realizado numa intensidade 5% menor até que o VO₂max tenha sido alcançado. Como critério para o alcance do VO₂max, os dados a cada respiração no teste de ISUP foram analisados em médias de 5s. A média dos três maiores valores consecutivos de VO₂ no teste de ISUP foram considerados como o VO₂max do teste de ISUP (VO₂maxISUP). Este teve que ser maior ou igual ao VO₂max menos 1 desvio padrão intrassujeito (VO₂max – 1DP) para que fosse considerado que o VO₂max foi atingido. O TSUP foi definido como o T_{LIM} associado à ISUP.

3.2.8 Teste de Wingate

Após aquecimento de três minutos a 20W e seis minutos na intensidade de 50% da diferença entre o VO₂ do LL e o VO₂max ($\Delta 50\%$), e cinco minutos de recuperação passiva, os sujeitos iniciaram o teste de Wingate.

Os sujeitos realizaram, em cicloergômetro (Lode, Excallibur, Sport, Groningen, Holanda), esforço máximo por trinta segundos, contra uma resistência equivalente a 7,5% do peso corporal. Para as mulheres, essa resistência foi equivalente a 6,7% do peso corporal. Os sujeitos foram orientados a pedalar o mais rápido possível contra a resistência

inercial do ergômetro. Não receberam informações durante o teste, podendo visualizar apenas a cadência realizada. A única orientação foi para que os indivíduos pedalassem por trinta segundos na maior intensidade possível. O cicloergômetro foi selecionado no modo *Wingate*.

Trinta segundos anteriores ao início do teste, os sujeitos se posicionaram na bicicleta. Faltando vinte segundos para iniciar o teste, foram orientados a pedalar numa cadência baixa apenas girando o pedal. Após contagem regressiva de cinco segundos, iniciaram o teste, sendo verbalmente encorajados a pedalar na maior intensidade possível durante os trinta segundos.

A partir do teste de *Wingate*, foram identificados o pico de potência (PP), que foi considerado a maior potência atingida no teste; potência média (PM), que foi calculada pela média dos trinta segundos do primeiro ao trigésimo segundo do teste; e índice de fadiga, calculado pela diferença entre a potência mínima e a potência pico em relação à potência pico. A correção inercial efetuada pelo cicloergômetro foi excluída dessas análises. Todos esses cálculos foram realizados no *software* Microsoft Office Excel (2007).

3.2.9 Teste de Contra-relógio de 250kJ

Após aquecimento de três minutos a 20W e seis minutos na intensidade de $\Delta 50\%$, e cinco minutos de recuperação passiva, os sujeitos iniciaram o teste de contra-relógio de 250kJ, no menor tempo possível, com o ergômetro ajustado no modo linear. Para cálculo do fator linear de cada sujeito, foi realizado o seguinte:

- (1) $\text{Tempo} = (250 \text{ kJ} - W')/PC$
- (2) $\text{Potência} = ((PC * \text{Tempo}) + W')/\text{Tempo}$
- (3) $\text{Fator linear} = \text{Potência} * \text{Cadência Preferida Incremental}^2$

Os sujeitos foram orientados a dar seu esforço máximo durante todo o teste, na tentativa de realizar 250kJ no menor tempo possível. Não houve informação do tempo decorrido. As únicas informações recebidas o teste de contra-relógio foi o trabalho realizado, cujo valor foi apresentado no monitor à frente dos sujeitos e ditado pelo avaliador responsável. Os sujeitos puderam visualizar a cadência realizada durante todo o teste. O tempo total de teste foi mensurado, assim como a potência média.

3.2.10 Modelos de treinamento

Após o período pré-treinamento, os indivíduos completaram três sessões de treinamento intervalado por semana na intensidade correspondente à ISUP ou a 105%PC durante quatro semanas.

O resumo dos modelos de treinamento, para os grupos ISUP e 105%PC, estão apresentados na tabela 3. Os sujeitos no grupo ISUP completaram duas séries de quatro repetições (razão esforço:pausa 1:2) Cada repetição correspondeu a 60% do TSUP. A recuperação foi ativa a 80% do LL. Entre as duas séries, realizaram uma recuperação de dez minutos (cinco minutos iniciais a 80%LL e cinco minutos finais de recuperação passiva). A cada semana, foi inserido um intervalo de repetição em cada série. Na última semana de treinos, os indivíduos realizaram duas séries com sete repetições.

Tabela 3 – Resumo das sessões de treinamento, em ambos os grupos.

	ISUP	105%PC
Intensidade do exercício	ISUP	105%PC
Duração do exercício	60%TSUP	5 minutos
Razão esforço:pausa	1:2	5:1
Intensidade da recuperação	80%LL	Passiva
Número de séries	2 [#]	1
Número de repetições*	4	4

Fonte: Produção do próprio autor.

#A recuperação entre séries teve duração de 10 minutos, sendo os 5 minutos iniciais de recuperação ativa (80%LL) e os 5 minutos finais de recuperação passiva. *A cada três sessões de treinamento foi acrescentada uma repetição por série, em ambos os grupos.

Os sujeitos do grupo 105%PC completaram uma série de quatro repetições por sessão (razão esforço:pausa 5:1). Cada repetição correspondeu a cinco minutos numa intensidade 5% acima da PC (105%PC). Entre as repetições ocorreu recuperação passiva de um minuto. A cada semana, foi adicionado um intervalo de exercício na série. Na última semana, os indivíduos realizaram uma série com sete repetições.

Na primeira (T1) e última sessão (T12) de treinamento, foram mensuradas as variáveis cardiorrespiratórias e FC durante todo o treino.

A FC foi analisada em relação à FC máxima do indivíduo (%FCmax). No grupo ISUP, as [La] e FC foram mensuradas após o aquecimento, e no fim das duas séries. No grupo 105%PC, as [La] e FC foram mensuradas após o aquecimento, e ao final da segunda repetição e fim da sessão. Além disso, foram analisados a FCmédia e VO₂médio do treino (FC em relação a máxima durante todo o treinamento, incluindo o período de recuperação). Também, foi estimado o total de O₂ consumido na sessão, multiplicando-se a média do VO₂ pelo tempo de treinamento, em cada grupo.

O tempo mantido acima de 95%VO₂max (t@95%) também foi mensurado. Para isso, durante T1 e T12, os valores de VO₂ foram reduzidos em médias de 5s. Após isso, foram considerados acima de 95% do VO₂max do sujeito cada média de 5s maior que 95% do VO₂max do sujeito.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram apresentados como Média $\pm$ DP. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de *Shapiro-Wilk*.

Onde foi encontrada normalidade, a igualdade entre os grupos nos momentos pré e pós-treinamento, bem como a interação entre as variáveis, e efeitos do treinamento sobre as variáveis, foi realizada a análise de variância ANOVA *two-way splitplot*, complementado pelo *post-hoc* teste t de *Student* para dados não pareados.

Foi encontrado normalidade nas seguintes variáveis: P_{MAX}, PC, VO₂max, VO₂maxINC, VO₂max95, VO₂max100, VO₂max110, VO₂maxISUP, ISUP, TSUP, T_{LIM} a 110%P_{MAX}, T_{LIM} confirmação, massa corporal, percentual de gordura, PP, PM e índice de fadiga do teste de Wingate, tempo total do teste de contra-relógio de 250kJ, trabalho total realizado em T1 e T12, bem como FC e [La] em T1 e T12.

Onde não foi encontrado normalidade, a igualdade entre as variáveis, nos momentos pré e pós-treinamento, foi analisada pelo teste t de *Student* para dados não pareados ou pelo teste U de *Mann-Whitney*. Para verificar os efeitos do treinamento em ambos os grupos, foram realizados o teste t de *Student* para dados pareados, ou teste de *Wilcoxon*. Não foi observada normalidade nas seguintes variáveis: LL, LAn, PC em relação a P_{MAX}, W', ISUP em relação a P_{MAX}, T_{LIM} a 95%

e 100% P_{MAX} , potência média do teste de contra-relógio de 250kJ e t@95% em T1 e T12.

Em todos os testes foi adotado um nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

4 RESULTADOS

4.1 VARIÁVEIS ANTROPOMÉTRICAS

As variáveis antropométricas, assim como efeitos do treinamento sobre a massa corporal e percentual de gordura, estão apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 – Efeitos do treinamento sobre as variáveis antropométricas.

	ISUP			105%PC		
	Pré	Pós	%	Pré	Pós	%
Idade (anos)	22,9 ± 2,6	-	-	22,4 ± 2,5	-	-
Estatura (cm)	172,4 ± 5,1	-	-	173,9 ± 5,7	-	-
Massa corporal (kg)	75,1 ± 6,6	75,1 ± 6,7	0 ± 0,7	77,1 ± 5,7	76 ± 6,4*	-1,5 ± 1,8
Percentual de gordura (%)	12,2 ± 4,2	11,3 ± 4,2	-0,9 ±1,3	11,2 ± 5	9,4 ± 4,4*	-2,8 ± 2,9

Fonte: Produção do próprio autor.

Valores são médias ± desvio padrão; * Diferença significativa em relação ao momento pré-treinamento ($p \leq 0,05$).

O teste de ANOVA *two-way* revelou interação entre os grupos, na massa corporal revelando efeito significativo do treinamento ($p \leq 0,05$), porém não houve diferenças entre os grupos nos momentos pré e pós-treinamento ($p = 0,60$). Foi observada redução significativa na massa corporal apenas no grupo 105%PC, e não no grupo ISUP ($p = 0,92$). No percentual de gordura, foi verificado efeito do treinamento ($p = 0,001$), mas sem diferenças entre os grupos nos momentos pré e pós-treinamento ($p = 0,62$). O percentual de gordura foi significativamente

reduzido no grupo 105%PC ($p = 0,001$), mas não no grupo ISUP ($p = 0,10$).

4.2 RESPOSTAS AGUDAS NA PRIMEIRA E ÚLTIMA SESSÃO DE TREINAMENTO

As intensidades de treinamentos, tanto na potência absoluta como na potência relativa à P_{MAX} , foram significativamente maiores no grupo ISUP (tabela 5). O tempo de exercício de cada repetição e o tempo de recuperação de cada repetição estão apresentados na tabela 5. A intensidade média da recuperação durante o treinamento na ISUP foi de $52,6 \pm 21,4W$, que representou $19,2 \pm 5,4\%P_{MAX}$, enquanto o grupo 105%PC realizava recuperação passiva.

Para comparação do trabalho total realizado em T1 e T12, ANOVA *two-way* não revelou interação entre as sessões de treinamento, porém mostrou diferenças entre os grupos ($p = 0,38$) em T1 e T12, apenas dentro do grupo (Tabela 3). Em ambos os grupos, o trabalho total realizado aumentou significativamente de T1 para T12 ($p < 0,01$).

Os resultados do tempo mantido acima de $95\%VO_2max$ ($t@95\%$) em T1 e T12, para ambos os grupos, estão apresentados na tabela 3. Em T1, o teste U de *Mann-Whitney* não mostrou diferenças no $t@95\%$ entre ISUP e 105%PC, enquanto na comparação entre T12, o $t@95\%$ foi significativamente maior no grupo ISUP. Ainda, no grupo ISUP, o $t@95\%$ foi significativamente maior em T12 comparado a T1 ($p = 0,026$), sem diferenças entre T1 e T12 no grupo 105%PC ($p = 0,19$).

Tabela 5 – Características dos dois tipos de treinamento realizados

	ISUP		105%PC	
	T1	T12	T1	T12
Intensidade (W)	318,5 ± 32 ^{&}		208,3 ± 27,5	
Intensidade (%P_{MAX})	127 ± 6,6 ^{&}		82,5 ± 7,1	
Repetição (s)	83,6 ± 11,5		300	
Recuperação (s)	167,3 ± 23,1		60	
Trabalho total realizado (kJ)	292,4 ± 36,3	470,5 ± 81 [*]	273,6 ± 34,8 ^{\$}	446,7 ± 41,4
t@95%(s)	141,3 ± 144,4	387,5 ± 233 ^{*\$}	182,5 ± 269,3	280,6 ± 584,6

Fonte: Produção do próprio autor.

Valores são médias ± desvio padrão; *Diferença significativa em relação a T1 no grupo ISUP ($p < 0,01$). ^{\$}Diferença significativa em relação a T12 no grupo 105%PC ($p = 0,05$). [&]Diferença significativa em relação ao grupo 105%PC ($p < 0,05$).

As respostas das [La], na primeira e última sessão de treinamento, em ambos os grupos, estão apresentadas na tabela 6. Em T1, no grupo ISUP, as [La] subiram significativamente ao final da primeira e segunda série em relação aos níveis pós-aquecimento ($p < 0,01$). Ainda, as [La] subiram significativamente no fim de T1 comparadas ao término da primeira série de exercício ($p = 0,01$). Ainda em T1, porém no grupo 105%PC, as [La] subiram significativamente no fim da segunda repetição e fim do treino em relação ao repouso ($p < 0,05$). Ainda, subiram significativamente no fim do treino comparadas à segunda repetição ($p < 0,05$), com uma diferença média de $1,7 \pm 0,6$ mmol/l. Comparando-se T1, entre os grupos, as [La] na primeira e segunda série no grupo ISUP foram significativamente maiores que no fim da segunda repetição e fim do treino em 105%PC.

Tabela 6 - Respostas das concentrações de lactato sanguíneo, na primeira e última sessão de treinamento, em ambos os grupos

		ISUP			105%PC		
		Pré	S1	Fim	Pré	R2	Fim
[La] (mmol/l)	T1	1,8 ± 0,4*	13,3 ± 1,6 [@]	15,4 ± 2 ^{#@}	1,8 ± 0,8*	8,8 ± 1,5	10,4 ± 1,7 [#]
	T12	1,5 ± 0,3*	13,7 ± 1,7 [@]	14,2 ± 2,1 [@]	1,6 ± 0,3*	7,4 ± 2,1	9,0 ± 3,0 [#]

Fonte: Produção do próprio autor.

Valores são médias ± desvio padrão; *Diferença significativa em relação aos outros momentos, na mesma sessão de treino ($p < 0,05$). [#]Diferença significativa em relação a S1/R2, na mesma sessão de treino ($p < 0,05$). [@]Diferença significativa em relação a R2 e Fim comparado ao grupo 105%PC, na mesma sessão de treino ($p < 0,05$).

Em T12, no grupo ISUP, as [La] se elevaram significativamente ao final da primeira e segunda série comparadas aos valores pós-aquecimento ($p < 0,001$). Porém, não houve diferença significativa entre as [La] ao final da primeira e segunda série ($p = 0,51$). Em T12, no grupo 105%PC, as [La] se elevaram em relação aos níveis pós-aquecimento ao fim da segunda repetição e no fim do treino ($p < 0,05$). Além disso, as [La] no fim do treino foram significativamente maiores comparadas à segunda repetição ($p = 0,004$), o que significou uma diferença média de $1,6 \pm 1,1$ mmol/l. Comparando-se T12, entre os grupos, as [La] foram significativamente maiores no fim da primeira e segunda série no grupo ISUP do que na segunda repetição e fim do treino no grupo 105%PC.

Em T1, no grupo ISUP, as análises da FC, realizadas em valores relativos à frequência cardíaca máxima (FCmax), não mostraram diferenças entre o final da primeira e segunda série ($p = 0,8$). Em T1, no grupo 105%PC, a FC aumentou ao fim da segunda repetição ($p < 0,001$). Comparando-se T1, entre grupos, a FC foi significativamente maior no fim da primeira série em ISUP do que na segunda repetição em 105%PC ($p = 0,003$). Ainda, foram maiores no fim do treino na ISUP comparado ao grupo 105%PC ($p = 0,03$).

Tabela 7 - Respostas da frequência cardíaca, na primeira e última sessão de treino, em ambos os grupos.

		ISUP		105%PC	
		S1	Fim	R2	Fim
FC (%FCmax)	T1	98,1 ± 3,7 [#]	98,3 ± 4,1%, [#]	90,2 ± 5%	92,9 ± 5,2*
	T12	98,6 ± 2,7 [#]	98,6 ± 4,1 [#]	86,8 ± 8,4	90,5 ± 8,0*

Fonte: Produção do próprio autor.

Valores são médias ± desvio padrão; * Diferença significativa em relação a R2, na mesma sessão de treino ($p < 0,05$). # Diferença significativa em relação a R2 e fim da sessão de treino, na mesma sessão de treino, comparado ao grupo 105%PC ($p < 0,05$).

As respostas da FC em relação à FC máxima estão apresentadas na tabela 7. Em T12, no grupo ISUP, a FC não aumentou ao fim da segunda série comparada à do fim da primeira série ($p = 0,84$). No grupo 105%PC, a FC foi significativamente maior no fim da sessão de treino comparado a segunda repetição ($p = 0,006$). Comparando-se T12, entre os treinos, a FC foi significativamente maior no grupo ISUP, no fim da primeira e segunda série, comparada à do fim da segunda repetição e fim do treino no grupo 105%PC ($p < 0,05$).

Quando os valores de VO_2 , FC e total de O_2 consumido (tabela 8) foram analisados, na média para T1 e T12, não foram observadas diferenças entre os grupos na FC e total de O_2 consumido ($p > 0,05$). No entanto, a média do VO_2 foi significativamente maior no grupo 105%PC do que no grupo ISUP, tanto em T1 ($p = 0,01$) como em T12 ($p = 0,02$). Além disso, em ambos os grupos, apenas o total de O_2 consumido aumentou em T12 comparado a T1, sem diferenças entre T1 e T12 no VO_2 e FC.

Tabela 8 - Respostas da média do VO₂ e FC, bem como total de O₂ consumido, na primeira e última sessão de treino, em ambos os grupos.

	ISUP		105%PC	
	T1	T12	T1	T12
VO₂ médio (ml/min)	2417 ± 390	2395 ± 431	2907 ± 337*	2903 ± 357*
FC média (%FCmax)	84 ± 4	83 ± 4	86 ± 6	84 ± 8
O₂ consumido (L)	63598 ± 8416	126716 ± 21470 [#]	69768 ± 8091	116120 ± 14283 [#]

Fonte: Produção do próprio autor.

Valores são médias ± desvio padrão; *Diferença significativa em relação à mesma sessão de treino, comparado ao grupo ISUP ($p < 0,05$). [#] Diferença significativa em relação à T1 ($p < 0,05$).

4.3 TESTE INCREMENTAL

A ANOVA *two-way* revelou efeito significativo do treinamento sobre a P_{MAX} ($p < 0,001$), sem diferença entre grupos em cada condição ($p = 0,51$). O teste *t* de *Student* revelou que a P_{MAX} melhorou após o treinamento na ISUP ($p < 0,001$) como no grupo 105%PC ($p < 0,001$). Com relação ao LL, o teste *t* de *Student* revelou efeito significativo do treinamento na ISUP sobre o LL ($p < 0,001$), porém o teste de *Wilcoxon* não mostrou efeito significativo do treinamento a 105%PC sobre o LL ($p = 0,062$, $n = 6$). No LAn, O teste de *Wilcoxon* revelou efeito significativo do treinamento na ISUP ($p = 0,007$), enquanto o teste *t* de *Student* revelou efeito significativo do treinamento a 105%PC sobre o LAn ($p = 0,03$; $n = 6$). O teste *U* de *Mann-Whitney* não revelou diferenças entre os grupos, nas condições pré e pós- treinamento, tanto para o LL como para o LAn ($p > 0,2$). O teste *t* de *Student* não verificou diferenças significativas na melhora em percentual, na P_{MAX} ($p = 0,77$) e no LL ($p = 0,53$) entre os grupos, enquanto o teste *U* de *Mann-Whitney* não identificou diferença na melhora em percentual do LAn entre os grupos ($p = 0,33$). Os efeitos do treinamento sobre o P_{MAX}, LL e LAn estão apresentados na tabela 9. Em relação ao LL e LAn, no grupo 105%PC, as análises foram realizadas com seis sujeitos ($n = 6$) devido a problemas instrumentais na análise das [La].

Tabela 9 – Efeitos do treinamento sobre o teste incremental, modelo de potência crítica e determinação da ISUP.

	ISUP			105%PC		
	PRÉ	PÓS	%	PRÉ	PÓS	%
P_{MAX}	266 ±	294 ±		254 ±	283 ±	
(W)	40	38*	11 ± 7	36	32*	12 ± 4
LL	66 ±	98 ±	60 ±	69 ±	100 ±	50 ±
(W)	27	28*	36	18	20 [#]	31
LAn	154 ±	184 ±	22 ±	145 ±	170 ±	26 ±
(W)	42	36*	11	44	31 ^{*#}	34
PC	209 ±	233 ±	14 ±	198 ±	222 ±	
(W)	47	35*	17	26	28*	12 ± 8
W'	17,6 ±	16,9 ±		19,6 ±	18,3 ±	
(kJ)	7	4	-	6	2,2	-
ISUP	338 ±	357 ±		319 ±	340 ±	
(W)	51	51*	6 ± 5	33	33*	7 ± 6
ISUP	127 ±	121 ±	-4,8 ±	126 ±		-4,1 ±
(%P_{MAX})	6	9*	4	10	121 ± 4	6
TSUP	139 ±	140 ±		167 ±	154 ±	
(s)	19	18	-	37	16	-

Fonte: Produção do próprio autor.

Valores são médias ± desvio padrão; *Diferença significativa em relação ao momento pré-treinamento ($p < 0,05$). [#] n = 6.

Após o teste incremental, no teste de confirmação do VO₂max a 100% da P_{MAX}, o teste de ANOVA *two-way* não revelou efeito significativo do treinamento ($p = 0,07$), nem diferenças entre os grupos nos momentos pré e pós-treinamento ($p = 0,18$). A média do T_{LIM} no teste de confirmação do VO₂max, nos momentos pré e pós- treinamento, no grupo ISUP foram 239,4 ± 47,5s, e 203,6 ± 42s, respectivamente. No grupo 105%PC, o T_{LIM} no teste de confirmação foi reduzido de 254 ± 54s na condição pré treinamento, para 241,6 ± 33s, na condição pós-treinamento.

4.4 DETERMINAÇÃO DA PC E W'

Não houve diferenças entre os grupos, nas condições pré e pós-treinamento, no T_{LIM} a 95% P_{MAX} ($p > 0,47$). O teste *t* de *Student* não revelou redução significativa no T_{LIM} a 95% P_{MAX} no treinamento com a ISUP (Pré: $429,3 \pm 64,6s$; Pós: $387 \pm 74,7s$; $p = 0,14$). No entanto, o teste de *Wilcoxon* revelou redução significativa no T_{LIM} a 95% P_{MAX} no grupo 105%PC (Pré: $490,9 \pm 130,4$; Pós: $406,1 \pm 39,6$; $p = 0,054$). No T_{LIM} a 100% P_{MAX} , o teste *U* de *Mann-Whitney* revelou diferenças significativas entre os grupos na condição pré treinamento (ISUP $300,6 \pm 21,8s$; 105%PC $370 \pm 116,7s$; $p = 0,02$), mas o teste *t* de *Student* não encontrou diferenças na condição pós-treinamento (ISUP: $277,1 \pm 32,7s$; 105%PC: $308,8 \pm 50,6s$; $p = 0,16$). No grupo ISUP ($p = 0,14$) e 105%PC ($p = 0,07$), não houve mudanças significativas no T_{LIM} 100% P_{MAX} após o treinamento. No T_{LIM} a 110% P_{MAX} , o teste de ANOVA *two-way* revelou diferenças significativas entre os grupos nas condições pré e pós-treinamento ($p = 0,019$), sendo que o teste *t* de *Student* revelou diferenças apenas na condição pré treinamento ($p = 0,03$) mas não na condição pós-treinamento ($p = 0,064$). Houve redução significativa no T_{LIM} a 110% P_{MAX} apenas no grupo 105%PC (Pré $247,4 \pm 33,2s$; Pós: $212,3 \pm 22,1s$; $p = 0,0009$), mas não no grupo ISUP (Pré $211,9 \pm 24,7s$; Pós: $191 \pm 21,3s$; $p = 0,03s$; $p = 0,13$).

O teste de ANOVA *two-way* revelou efeito significativo do treinamento sobre a PC ($p < 0,001$), sem diferenças entre os grupos nas condições pré e pós-treinamento ($p = 0,527$). A partir do teste *t* de *Student*, foi verificada melhora significativa na PC, com o treinamento na ISUP ($p = 0,02$) e a 105%PC ($p = 0,002$). O teste *U* de *Mann-Whitney* não revelou efeito significativo entre os grupos, no percentual de melhora da PC ($p = 0,87$). No grupo 105%PC, na condição pré-treinamento, o erro padrão de estimativa (EPE) da PC foi de $5,0 \pm 4,3\%$ e o r^2 de $0,99 \pm 0,01$, enquanto na condição pós-treinamento o EPE da PC foi de $3,3 \pm 1,6\%$ e o r^2 de $0,99 \pm 0,01$. No grupo ISUP, na condição pré-treinamento, o EPE da PC foi de $3,8 \pm 4,2\%$ e o r^2 de $0,99 \pm 0,01$, enquanto na condição pós-treinamento o EPE da PC foi de $1,6 \pm 0,6\%$ e o r^2 de $0,99 \pm 0,01$. No grupo 105%PC, na condição pré-treinamento, o EPE da W' foi de $18,9 \pm 14,4\%$, enquanto na condição pós-treinamento o EPE da W' foi de $13,0 \pm 7,0\%$. No grupo ISUP, na condição pré-

treinamento, o EPE da W' foi de $18,9 \pm 14,4\%$, enquanto na condição pós-treinamento o EPE da W' foi de $6,7 \pm 4,0\%$.

Quando expressa em valores relativos à P_{MAX} , não houve diferenças significativas na PC pelo teste U de *Mann-Whitney* entre os grupos na condição pré (ISUP: $78,3 \pm 9,3\%$; 105%PC: $78,6 \pm 6,8\%P_{MAX}$; $p = 0,87$), nem pelo teste t de *Student* para dados não pareados na condição pós-treinamento (ISUP: $79,2 \pm 5,2\%$; 105%PC: $78,5 \pm 2\%P_{MAX}$; $p = 0,74$). Não houve mudanças significativas na $PC\%P_{MAX}$ em ambos os grupos ($p > 0,9$).

O teste U de *Mann-Whitney* não revelou diferenças na W' entre os grupos na condição pré ($p = 0,7$) e pós-treinamento ($0,37$). Nem o grupo ISUP ($p = 1$) nem o grupo 105%PC ($p = 0,5$) promoveram alterações na W' após um mês de treinamento. Os valores de PC e W' estão apresentados na tabela 9.

4.5 DETERMINAÇÃO DA ISUP E TSUP

Na potência da ISUP, a ANOVA *two-way* não identificou diferenças significativas entre os grupos nas condições pré e pós-treinamento ($p = 0,394$). No entanto, identificou diferenças significativas do treinamento sobre a ISUP ($p = 0,001$). O teste t de *Student* mostrou uma melhora na ISUP tanto no grupo ISUP ($p = 0,02$) quanto no grupo 105%PC ($p = 0,01$). Não houve diferenças na melhora em percentual da potência da ISUP entre os grupos ($p = 0,67$).

Quando a ISUP foi expressa em percentual da P_{MAX} ($\%P_{MAX}$), o teste U de *Mann-Whitney* não mostrou diferenças entre os grupos nas condições pré e pós-treinamento ($p > 0,4$). O teste de *Wilcoxon* revelou diminuição significativa da ISUP no grupo ISUP ($p = 0,01$), porém o teste t de *Student* não revelou redução significativa da ISUP expressa em relação a P_{MAX} no grupo 105%PC ($p = 0,07$).

Na TSUP, a ANOVA *two-way* não mostrou efeitos do treinamento ($p = 0,32$), nem diferenças entre os grupos nas condições pré e pós-treinamento ($p = 0,065$). Os valores da potência de ISUP, potência da ISUP em relação a P_{MAX} e TSUP estão apresentados na tabela 9.

4.6 VO₂max

Na comparação entre grupos, o teste de ANOVA *two-way* não identificou diferenças no VO₂maxINC ($p = 0,99$), VO₂max95 ($p = 0,91$), VO₂max100 ($p = 0,81$) e VO₂max110 ($p = 0,93$) nas condições pré e pós-treinamento. O teste de *U* de Mann-Whitney não identificou diferenças nessas condições entre os grupos no VO₂maxCON ($p > 0,05$). Além disso, não houve diferenças no VO₂maxCON após o treinamento em ambos os grupos ($p > 0,05$).

Dentro dos grupos, o teste de ANOVA *two-way* mostrou efeito da interação entre os grupos no VO₂max100 ($p = 0,001$) e VO₂max110 ($p = 0,03$). O teste de ANOVA *two-way* revelou efeitos significativos do treinamento no VO₂maxINC ($p < 0,001$), VO₂max95 ($p = 0,012$), VO₂max100 ($p = 0,003$) e VO₂max110 ($p = 0,006$). O teste *t* de Student mostrou melhora significativa do VO₂maxINC apenas no grupo 105%PC ($p = 0,007$), mas não no grupo ISUP ($p = 0,07$). Houve melhora significativa apenas no grupo ISUP no VO₂max95 ($p = 0,050$), VO₂max100 ($p = 0,002$) e VO₂max110 ($p = 0,019$), fato que não aconteceu no grupo 105%PC ($p > 0,1$).

Quando foi realizada a média dos valores do VO₂maxINC, VO₂maxCON, VO₂max95, VO₂max100, VO₂max110, ANOVA *two-way* não identificou diferenças entre os grupos nas condições pré e pós-treinamento ($p = 0,99$). Porém, revelou efeito significativo do treinamento no VO₂max ($p = 0,005$). O teste *t* de Student mostrou melhora significativa no VO₂max no grupo ISUP ($p = 0,02$), mas não no grupo 105%PC ($p = 0,16$).

Tabela 10 – VO₂max dos testes Incremental, Confirmação, 95, 100 e 110%P_{MAX}, e também da média do VO₂max, média do VO₂max – 1DP e VO₂max no teste de ISUP

	ISUP			105%PC		
	PRÉ	PÓS	%	PRÉ	PÓS	%
VO₂maxINC	3650 ± 483 ^{@#π}	3772 ± 450 ^π	3 ± 4	3617 ± 474 ^π	3796 ± 488 ^{*π}	5 ± 4
VO₂maxCON	3581 ± 514	3727 ± 540	2 ± 3	3640 ± 450	3639 ± 400	-1 ± 5
VO₂max95	3585 ± 551 ^π	3883 ± 478 ^{*@π}	9 ± 10	3630 ± 405	3803 ± 432 ^{#πZ}	5 ± 9
VO₂max100	3514 ± 452 ^π	3844 ± 573 ^{*π}	11 ± 5	3723 ± 355 ^{@πZ}	3700 ± 397 ^π	-1 ± 4
VO₂max110	3428 ± 404	3757 ± 561 ^{*π}	10 ± 9	3551 ± 383 ^π	3601 ± 3208 ^{#\$}	2 ± 3
VO₂max	3558 ± 446	3790 ± 496 ^{*@}	7 ± 6	3638 ± 388 [@]	3708 ± 390	2 ± 4
VO₂max - 1DP	3430 ± 424	3666 ± 493 ^{*π}	6,9 ± 6	3490 ± 395	3565 ± 357	2,3 ± 4
VO₂maxISUP	3524 ± 469	3717 ± 492	5,8 ± 8	3532 ± 331	3692 ± 461 ^π	4,4 ± 7

Fonte: Produção do próprio autor.

Valores são médias ± desvio padrão; Valores apresentados em ml/min⁻¹; *Diferença significativa em relação ao momento pré-treinamento; @Diferença significativa em relação ao VO₂max110 no mesmo momento; #Diferença significativa em relação ao VO₂max no mesmo momento; \$Diferença significativa em relação ao VO₂max95 no mesmo momento; π Diferença significativa em relação ao VO₂max – 1DP no mesmo momento; Z Diferença significativa em relação ao VO₂maxISUP no mesmo momento.

A partir do VO₂max do sujeito, e de seu respectivo desvio padrão dos valores de VO₂maxINC, VO₂CON, VO₂max95, VO₂100 e VO₂110, foi calculado o VO₂max que serviu como critério para a determinação da ISUP, que foi o VO₂max – 1DP. Não houve diferenças no VO₂max – 1DP entre os grupos nas condições pré e pós-treinamento (p > 0,995). Foi revelada melhora significativa no VO₂max -1DP apenas no grupo ISUP (p = 0,01), mas não no grupo 105%PC (p = 0,13). Ainda, o teste de ANOVA two-way não revelou diferença no VO₂maxISUP

entre os grupos nas condições pré e pós- treinamento ($p = 0,81$), porém revelou efeito significativo do treinamento ($p = 0,02$). Porém, o teste t de *Student* usado como *post hoc* não revelou efeitos significativos do grupo ISUP ($p = 0,10$) e 105%PC ($p = 0,11$) no $\text{VO}_2\text{maxISUP}$. Os valores de VO_2max do teste incremental, confirmação do VO_2max , 95, 100 e 110% P_{MAX} , VO_2max , $\text{VO}_2\text{max} - 1\text{DP}$ e $\text{VO}_2\text{maxISUP}$ estão apresentados na tabela 10.

No entanto, tanto o grupo ISUP ($p = 0,030$) quanto o grupo 105%PC ($p = 0,033$) provocaram benefícios no VO_2max quanto esse foi expresso em relação a massa corporal (Tabela 11). Além disso, não houve diferenças entre os grupos nesses valores, nas condições pré e pós-treinamento ($p > 0,05$).

Tabela 11 – Efeitos do treinamento, realizado na ISUP e a 105%PC, sobre o VO_2max expresso em relação a massa corporal.

	ISUP			105%PC		
	PRÉ	PÓS	%	PRÉ	PÓS	%
VO_2max	47,5 ±	50,7 ±	6,6 ±	47,2 ±	48,8 ±	3,5 ±
(ml/kg/min⁻¹)	5,7	6,9*	6,7	3,9	3,7*	3,8

Fonte: Produção do próprio autor.

Valores são médias ± desvio padrão; *Diferença significativa em relação a condição pré-treinamento ($p = 0,03$).

4.7 TESTE DE WINGATE

A ANOVA *two-way* não revelou diferenças significativas entre os grupos nas condições pré e pós-testes para PM ($p = 0,8$) e índice de fadiga ($p = 0,6$). No entanto, revelou diferenças significativas nessas condições entre os grupos na PP ($p = 0,001$). O testes t de *Student* revelou que a PP foi significativamente maior na condição pré-treinamento no grupo 105%PC.

A ANOVA *two-way* revelou um interação significativa entre os grupos na PP ($p = 0,01$) e PM ($p = 0,04$). A ANOVA *two-way* revelou efeitos do treinamento na PP ($p = 0,004$) e PM ($p = 0,006$), porém não no índice de fadiga ($p = 0,465$). O *post hoc* revelou melhora na PP ($p = 0,009$) e PM ($p = 0,01$) apenas no grupo ISUP, mas não no grupo 105%PC ($p > 0,33$).

Quando comparado a melhora, o teste *t* de *Student* revelou diferença significativa entre os grupos na melhora da PP ($p = 0,02$), mas não na PM ($p = 0,06$). No índice de fadiga, o teste *U* de *Mann-Whitney* não identificou diferenças entre os dois grupos ($p = 0,06$). Os valores referentes à PP, PM e índice de fadiga entre os grupos estão apresentados na tabela 12.

Tabela 12 – Valores referentes à potência pico, potência média e índice de fadiga no teste de Wingate.

	ISUP			105%PC		
	PRÉ	PÓS	%	PRÉ	PÓS	%
PP	894 ±	951 ±	6 ± 5 ^{\$}	918 ±	924 ±	1 ± 3
(W)	111	124*		119 [#]	122	
PM	705 ±	743 ±	5 ± 5	729 ±	736 ±	1 ± 2
(W)	65	79*		79	81	
Índice de fadiga (%)	48 ± 16	48 ± 8	0,1 ± 14	47 ± 5	44 ± 4	4 ± 3

Fonte: Produção do próprio autor.

Valores são médias ± desvio padrão; *Diferença significativa em relação ao momento pré-treinamento ($p < 0,05$). [#]Diferença significativa em relação ao grupo ISUP, no momento pré-treinamento ($p < 0,05$). ^{\$} Diferença significativa em relação à melhora do grupo 105%PC.

4.8 TESTE DE CONTRA-RELÓGIO DE 250KJ

A ANOVA *two-way* não revelou diferenças significativas entre os grupos nas condições pré e pós-treinamento, no tempo de teste ($p = 0,58$), potência média relativa à PC ($p = 0,61$) e potência média relativa à P_{MAX} ($p = 0,35$). Porém, foi revelado um efeito significativo do treinamento, em ambos os grupos, apenas no tempo total. Além disso, na potência média absoluta do teste, não houve diferenças entre os grupos nas condições pré e pós-treinamento ($p > 0,05$). Os efeitos do treinamento sobre o tempo total e potência média absoluta e relativa estão expressos na tabela 13.

Tabela 13 - Efeitos do treinamento sobre o tempo total e potência do teste de Contra-relógio de 250kJ.

	ISUP			105%PC		
	PRÉ	PÓS	%	PRÉ	PÓS	%
Tempo (s)	1137 ± 217	1019 ± 182*	-10 ± 7	1188 ± 180	1072 ± 171*	-10 ± 13
Potência média (W)	228 ± 49	262 ± 39*	13 ± 11	215 ± 32	238 ± 32*	11 ± 2
Potência média (%PC)	110 ± 9	108 ± 5	-3 ± 5	107 ± 6	107 ± 6	0 ± 6
Potência média (%P_{MAX})	85 ± 7	86 ± 7	1 ± 5	85 ± 4	84 ± 4	-0,5 ± 4,5

Fonte: Produção do próprio autor.

*Diferença significativa em relação ao momento pré-treinamento, no mesmo grupo ($p < 0,05$).

O teste t de *Student* revelou uma melhora significativa no tempo de teste, tanto no grupo ISUP, como 105%PC ($p < 0,01$). O teste de *Wilcoxon* revelou melhora significativa na potência média do teste no grupo 105%PC ($p = 0,01$), enquanto o teste t de *Student* revelou esta melhora no grupo ISUP ($p = 0,009$). Não houve diferença no percentual de melhora do tempo total de contra-relógio entre os grupos ($p = 0,99$), nem na melhora na potência média entre os grupos ($p = 0,6$).

5 DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi analisar e comparar os efeitos de quatro semanas de treinamento intervalado de alta intensidade, realizado em duas diferentes intensidades do domínio severo do exercício (105%PC e ISUP), sobre os principais índices fisiológicos e de desempenho aeróbio e anaeróbio no ciclismo. Um dos principais achados deste estudo foi que ambos os treinamentos, com o mesmo trabalho total realizado, se mostraram eficazes na melhora dos principais índices fisiológicos aeróbios (P_{MAX} , LAn , PC e VO_{2max} relativo) bem como do desempenho aeróbio (contra-relógio de 250kJ). Em contraste, apenas o grupo que treinou na ISUP apresentou melhoras significativas no VO_{2max} absoluto e LL. Semelhantemente, com relação aos parâmetros anaeróbios investigados no teste de Wingate, houve aumento nos indicadores de potência e capacidade anaeróbia (pico de potência e potência média, respectivamente) somente no grupo de treinamento ISUP.

Treinamentos intervalados com repetições durando de um a oito minutos e períodos de recuperação variando de 0,5 a cinco minutos têm sido referenciados para o aumento da capacidade aeróbia máxima e o desempenho de *endurance* (FOX, BARTELS *et al.*, 1975; SEILER e SJURSEN, 2004), utilizando-se de razões esforço:pausa de 1:2, 2:1 e até mesmo 5:1. Ainda, a intensidade do esforço tem sido sugerida entre 85 e 105% da potência aeróbia máxima (SEILER e SJURSEN, 2004). Alguns estudos mostraram, em corredores (SEILER e SJURSEN, 2004) e ciclistas bem treinados (STEPTO, HAWLEY *et al.*, 1999; STEPTO, MARTIN *et al.*, 2001) que intervalos de exercício de três a cinco minutos parecem ser o tempo ideal para provocar um estímulo ao VO_{2max} . Além disso, a duração de cinco minutos de exercício tem sido utilizada para a prescrição de treinamento em exercícios próximos à PC (LINDSAY, HAWLEY *et al.*, 1996; WESTGARTHTAYLOR, HAWLEY *et al.*, 1997; WESTON, MYBURGH *et al.*, 1997; STEPTO, MARTIN *et al.*, 2001; VANHATALO, ANNI, DOUST, JONATHAN H. *et al.*, 2008).

No presente estudo, o grupo ISUP realizou o treinamento numa intensidade de aproximadamente 127% P_{MAX} , com intervalos de exercício de 84 segundos em média e razão esforço:pausa 1:2. Esse tempo foi prescrito baseado em 60% de TSUP. Não se conhecem na

literatura estudos que tenham prescrito o treinamento baseado no T_{LIM} na ISUP; porém, alguns estudos que basearam o treinamento na P_{MAX} apontaram como um tempo de exercício entre 50 e 60% no T_{LIM} na P_{MAX} como ótimo estímulo para melhora do VO_{2max} e desempenho de *endurance* (SMITH, MCNAUGHTON *et al.*, 1999; SMITH, COOMBES *et al.*, 2003; LAURSEN, SHING *et al.*, 2004; ESFARJANI e LAURSEN, 2007). Além disso, tipicamente tem sido usada razão esforço pausa 1:1 e 1:2, com seis a oito repetições, quando o objetivo é a melhora do VO_{2max} e parâmetros aeróbios do exercício (SMITH, MCNAUGHTON *et al.*, 1999; LAURSEN, 2012).

As respostas da sessão de treinamento evidenciaram que ambos os grupos se encontravam no domínio severo do exercício, com as [La] e FC se elevando durante a sessão de treino, sem estabilidade nesses parâmetros, e mantendo tempos consideráveis próximos ao VO_{2max} . Foram observados ainda maiores valores de FC e [La] no grupo ISUP, comparado ao grupo 105%PC, além de maior tempo mantido acima de 95% VO_{2max} , porém apenas em T12. Contudo, quando a FC, O_2 consumido e VO_2 nos treinamentos foram comparados durante toda a sessão de treino, incluindo os períodos de recuperação, não houve diferenças no total de O_2 consumido e FC média, sendo a média do VO_2 maior no grupo 105%PC. Assim, embora o grupo ISUP tenha provocado maiores valores de pico nessas variáveis durante o treino, não pareceu haver diferenças na sobrecarga cardiovascular e metabólica aeróbia entre os grupos durante treinamento analisado como um todo (Tabela 8), podendo se justificar na melhora similar entre os grupos nos índices e desempenho aeróbio.

Em exercícios de intensidade muito alta ($>P_{MAX}$), como o treinamento na ISUP no presente estudo, grande parte da energia é fornecida pela quebra da PCr e glicólise anaeróbia (JACOBS, ESBJORNSSON *et al.*, 1987; HELLSTEN, APPLE *et al.*, 1996; MOHR, KRUSTRUP *et al.*, 2007). Assim, é provável que muitas adaptações relacionadas ao metabolismo anaeróbio tenham ocorrido apenas no grupo ISUP, como o aumento na atividade das enzimas creatina quinase (CK), e enzima glicolítica fosfofrutoquinase (PFK), o maior número relativo de fibras de contração rápida e também aumento da capacidade de tamponamento muscular (SAHLIN e HENRIKSSON, 1984; JACOBS, ESBJORNSSON *et al.*, 1987; HELLSTEN, APPLE *et al.*, 1996; MOHR, KRUSTRUP *et al.*, 2007). Apesar disso, o aumento

da atividade da CK e PFK não é garantia de melhora no desempenho anaeróbio, uma vez que junto de sua melhora não foi visto efeito positivo no Wingate (JACOBS *et al.*, 1987; RODAS *et al.*, 2000) e exercício máximo de corrida de 50 metros (MOHR *et al.*, 2007). Portanto, pelo fato de o exercício de alta intensidade provocar altos níveis de ativação neural (JONHAGEN, ERICSON *et al.*, 1996), é provável que as adaptações neuromusculares, como aumento da ativação muscular, recrutamento de fibras de contração rápida, velocidade de transmissão do impulso pelo neurônio motor, velocidade de condução neural e maior excitabilidade do motoneurônio (ROSS, LEVERITT *et al.*, 2001), possam ter acontecido apenas no grupo ISUP, confirmadas pela melhora do desempenho de curta duração, principalmente na PP do teste de Wingate.

Foi mostrado que em consecutivas repetições máximas de 30s no ciclismo, há um deslocamento na contribuição energética, diminuindo-se a contribuição anaeróbia e aumentando-se a contribuição aeróbia, conforme o aumento no número de repetições (BOGDANIS, NEVILL *et al.*, 1995; BOGDANIS, NEVILL *et al.*, 1996; PAROLIN, CHESLEY *et al.*, 1999). Mesmo que no treinamento na ISUP a intensidade não seja máxima, Gastin (2001) coloca que a contribuição aeróbia num exercício máximo durando 75 a 90 segundos seria de 51 e 56%. Embora não mensurado em nosso estudo, assim como aconteceu em consecutivos exercícios máximos de 30s, é possível que esse deslocamento na contribuição energética tenha ocorrido durante os treinamentos na ISUP. Além disso, durante os períodos de recuperação, a participação do metabolismo aeróbio na recuperação dos substratos e metabólitos derivados do exercício no grupo ISUP também podem ter exercido importante efeito na melhora desse sistema. Isso foi visualizado com os resultados do treinamento, no qual ambos os grupos foram eficientes para melhora do desempenho aeróbio (Contra-relógio de 250kJ), enquanto apenas o grupo ISUP provocou melhoras no desempenho anaeróbio, notado pelo aumento da PP e PM do teste de Wingate.

Semelhante a isso, pesquisas recentes têm mostrado que o treinamento baseado em repetidos esforços de intensidade *all-out*, foi igualmente efetivo ao treinamento de baixa intensidade na melhora dos parâmetros aeróbios do exercício; no entanto, os parâmetros anaeróbios, investigados durante consecutivos testes de Wingate, apenas

melhoraram no grupo de treinamento de intensidade máxima (GIBALA et al., 2006; BURGOMASTER et al., 2008). Essas melhoras no desempenho aeróbio foram acompanhadas por aumentos na atividade das enzimas relacionadas ao metabolismo aeróbio, aumento das concentrações de glicogênio de repouso, melhora da capacidade de tamponamento muscular e melhora da capacidade aeróbia, além de aumento na oxidação de gorduras e diminuição na oxidação de carboidratos durante o exercício, de forma similar entre as diferentes intensidades (esforços máximos vs. baixa intensidade) (GIBALA et al., 2006; BURGOMASTER et al., 2008). Além disso, o desempenho anaeróbio no exercício, observado pela melhora da potência pico e potência média em consecutivos testes de Wingate, tem melhorado apenas no grupo de treinamento de intensidade máxima (TABATA et al., 1997; GIBALA et al., 2006; BURGOMASTER et al., 2008). Isso se assemelha ao presente estudo, no qual observamos melhora nos parâmetros aeróbios em ambos os treinamentos, mas efeito positivo no teste de Wingate apenas no grupo ISUP.

Além disso, o treinamento em intensidades próximo à PC não parece modificar a atividade da PFK (WESTON et al., 1996). No entanto, algumas adaptações que parecem ocorrer não só no treinamento próximo à PC, mas também à ISUP, são o aumento da atividade da bomba de $\text{Na}^+ - \text{K}^+$, (MOHR et al., 2007), maior capacidade de tamponamento muscular e menor queda do pH (SAHLIN; HENRIKSSON, 1984; MOHR et al., 2007). Outro aspecto que sofreria influência desses treinamentos aqui utilizados seria o aumento da expressão do MCT1. Mohr et al. (2007) mostraram que o aumento da expressão do MCT1 foi independente das [La] em dois diferentes treinamentos. Em nosso estudo não foi possível obter essa medida, porém, embora diferenças nas [La] entre grupos, houve menor produção de [La] do T12 comparada ao T1 para ambos os grupos. Além disso, essas adaptações também podem ser decorrentes do aumento das enzimas oxidativas e maior oxidação de gorduras, e também de maior capacidade de remoção do lactato (BROOKS e MERCIER, 1994). Essas informações em conjunto ajudam a entender os achados do presente estudo, no qual ambos os grupos melhoraram os aspectos aeróbios do exercício, sendo que os parâmetros anaeróbios apenas melhoraram no grupo ISUP, isso provavelmente decorrente das adaptações provocadas pelo forte caráter anaeróbio e neuromuscular desse treinamento.

5.1 EFEITOS DO TREINAMENTO SOBRE O VO₂MAX

Dentre as variáveis que podem ser manipuladas no treinamento intervalado (*i.e.* intensidade e duração do exercício e da recuperação), a intensidade do exercício tem sido apontada como a principal a ser manipulada para a melhora do VO₂max (WENGER e BELL, 1986; LAURSEN, 2012). No presente estudo, acompanhando a ausência de diferença no trabalho total realizado entre os grupos, não houve diferença na FC e total de O₂ consumido médio entre os grupos, mesmo com uma diferença considerável na intensidade de treinamento. Além disso, mesmo o grupo ISUP treinando numa intensidade consideravelmente maior que o grupo 105%PC (127 vs. 83%P_{MAX}), a média do VO₂ das sessões analisadas foi significativamente maior no grupo 105%PC do que no grupo ISUP, apontando similar estímulo ao metabolismo aeróbio entre os grupos.

Embora ambos os grupos estivessem treinando no domínio severo, não houve diferenças no t@95% VO₂max em T1 entre os grupos. Entretanto, no T12, o t@95%VO₂max foi significativamente maior no grupo ISUP que no grupo 105%PC. Além disso, houve um aumento significativo no t@95% em T12 comparado à T1 apenas no grupo ISUP, o que não aconteceu no grupo 105%PC. Além de mostrar um tempo maior no VO₂max no último treino na ISUP, a diferença no t@95% do primeiro para o último treino pode significar um estímulo continuado e/ou aumentado ao VO₂max durante as sessões de treinamento no grupo ISUP, o que não parece ter acontecido no grupo 105%PC, já que o t@95% não aumentou de T1 para T12. Apesar disso, não é possível saber a partir de qual período de treinamento o t@95% tornou-se maior no grupo ISUP, sendo que apenas mensuramos a primeiro e última sessão de treinamento. Também, não realizamos ajuste da intensidade do exercício durante o período de treinamento, sendo possível os indivíduos do grupo 105%PC não terminarem o treinamento dentro do domínio pesado, já que a PC melhorou em ambos os grupos. Além disso, a análise do t@95% do VO₂max foi realizada com o valor do VO₂max pré-treinamento. Pensando que apenas houve melhora no VO₂max absoluto no grupo ISUP, se essa análise fosse refeita como valor pós treinamento, essa diferença no t@95% poderia não aparecer. Caso isso ocorresse, o t@95% deixaria de ser uma variável determinante

para a melhora do VO_2max , pelo menos em sujeitos com o nível de treinamento aqui estudados, uma vez que ambos os grupos melhoraram o VO_2max relativo a massa corporal, e a falta de melhora no VO_2max no grupo 105%PC contrasta com o resultado de grande quantidade de estudos que observou melhora do VO_2max mesmo em treinamentos realizados nas intensidades do domínio moderado e pesado do exercício (BERGER, TOLFREY *et al.*, 2006; DUFFIELD, EDGE *et al.*, 2006; DAUSSIN, PONSOT *et al.*, 2007; TALANIAN, GALLOWAY *et al.*, 2007; DAUSSIN, ZOLL *et al.*, 2008; ZIEMANN, GRZYWACZ *et al.*, 2011), intensidades em que o VO_2max não é atingido.

A diferença no $t@95\%$, em T12 entre os grupos, e aumento no $t@95\%$ de T1 para T12, no grupo ISUP, vai ao encontro da teoria do maior tempo mantido próximo ao VO_2max para melhora desse aspecto (LAURSEN, SHING *et al.*, 2002; MIDGLEY, MCNAUGHTON *et al.*, 2006; MIDGLEY, MCNAUGHTON *et al.*, 2007; LAURSEN, 2012), e ainda, levanta a questão da intensidade do exercício. As fibras de contração rápida são recrutadas em intensidades acima de 90% VO_2max , e taxas máximas de débito cardíaco parecem ser requeridas para provocar as adaptações centrais relacionadas à melhora do VO_2max , como a espessura da parede do ventrículo esquerdo, complacência do coração e contratilidade do miocárdio (MIDGLEY, MCNAUGHTON *et al.*, 2006; LAURSEN, 2012). O treinamento na ISUP correspondeu a uma intensidade acima de 90% VO_2max , com consideráveis tempos acima de 95% VO_2max e ainda com elevadas [La]. No entanto, na média dos treinos, ambos provocaram altas sobrecargas ao VO_2 e FC (Tabela 8). Assim, a intensidade do exercício pareceu ser um aspecto relevante para a melhora do VO_2max absoluto, embora não se possa descartar que o VO_2max também tenha sido elevado por adaptações periféricas.

Ainda questionando a relação da intensidade do exercício com o VO_2max , recentemente muita atenção foi dada ao treinamento que utiliza intensidades máximas de exercício. Embora essa espécie de treinamento tenha apresentado muitos efeitos benéficos sobre índices fisiológicos e desempenho, seus efeitos sobre o VO_2max não são claros, com alguns estudos mostrando melhora (MCKENNA, HEIGENHAUSER *et al.*, 1997; MACDOUGALL, HICKS *et al.*, 1998; BURGOMASTER, HOWARTH *et al.*, 2008) e outros, não (CREER, RICARD *et al.*, 2004; BURGOMASTER, HUGHES *et al.*, 2005; BURGOMASTER, HEIGENHAUSER *et al.*, 2006). Buchheit *et al.*

(2012) mostraram que nesse tipo de treinamento, o tempo mantido próximo ao VO_2max não parece ser significativo, o que pode contribuir para a ausência de efeito. No entanto, tendo em vista que esses estudos investigaram sujeitos fisicamente ativos, o que parece ser importante para a melhora do VO_2max é o período de treinamento (*i.e.* sobrecarga acumulada). Duas (BURGOMASTER, HUGHES *et al.*, 2005; BURGOMASTER, HEIGENHAUSER *et al.*, 2006) ou quatro semanas (CREER, RICARD *et al.*, 2004) de treinamento não foram sensíveis para reportar melhoras no VO_2max , sendo mostrada melhora apenas com um mínimo de seis semanas de treinamento de intensidade *all-out* (MCKENNA, HEIGENHAUSER *et al.*, 1997; MACDOUGALL, HICKS *et al.*, 1998; BURGOMASTER, HOWARTH *et al.*, 2008). No entanto, além dos fatores fisiológicos, o critério de determinação do VO_2max , aliado à variabilidade do VO_2max , que fica em torno de 5% (KATCH; SADY; FREEDSON, 1982), poderiam explicar o efeito e/ou ausência de efeito no VO_2max encontrado entre estudos, sendo que nesses períodos de treinamento a melhora do VO_2max também fica em torno 5%.

Uma questão importante observada em nosso estudo foi o critério de determinação do VO_2max . A fim de uma determinação mais robusta da ISUP, seguindo as sugestões de Caputo e Denadai (2008), e também minimizar os efeitos de variação diária do VO_2max , que fica em torno de 5% (KATCH, SADY *et al.*, 1982), foram utilizados cinco valores de VO_2max por indivíduo. A partir destes foram calculados a média e o desvio padrão dos valores de VO_2max para cada sujeito. Nos testes de determinação da ISUP, o VO_2max deveria ser maior ou igual ao VO_2max (média do incremental, confirmação e testes de carga preditiva) menos 1DP. Com relação ao efeito do treinamento sobre o VO_2max , foi utilizada apenas a média, sem ser considerado o DP. Levando isso em consideração, foi observada melhora apenas no VO_2max no grupo que treinou na ISUP.

Entretanto, um resultado curioso do presente estudo, foi que se o VO_2max absoluto fosse analisado de forma individual, para cada teste (incremental e testes a 95, 100 e 110% P_{MAX}), os efeitos do treinamento poderiam ter sido bem diferentes. No VO_2maxINC , foi observado melhora apenas no grupo que treinou a 105%PC ($p = 0,01$), e não no grupo ISUP ($p = 0,07$), oposto ao que foi encontrado na média dos valores de VO_2max . No entanto, no $\text{VO}_2\text{max95}$, $\text{VO}_2\text{max100}$ e

VO₂max110, foram observadas melhoras significativas apenas no grupo ISUP, e não no grupo 105%PC. Esses resultados podem ser levados em consideração (*i.e.* efeito da variação biológica) em estudos que pretendem investigar os efeitos do treinamento sobre o VO₂max, nos quais uma determinação mais robusta (não considerando apenas o teste incremental) pode ser necessária para o real conhecimento dos efeitos do treinamento sobre VO₂max.

5.2 EFEITOS DO TREINAMENTO SOBRE A ISUP E TSUP

Burnley e Jones (2007) estimaram um T_{LIM} não superior a 120 segundos durante o exercício realizado no domínio extremo, tempo este que é inferior aos encontrados no limite superior do domínio severo do presente estudo, no qual a média de TSUP foi de 153 segundos para os 16 sujeitos. Esse tempo foi semelhante aos 137 segundos estimados indiretamente por Hill et al (2002), para um tempo de exaustão numa intensidade média de 343 W, assemelhando-se ao encontrado em nosso estudo, numa potência de 328W, excetuando-se a relação com a P_{MAX}.

Caputo e Denadai (2008) foram os pioneiros em determinar a ISUP em ciclistas, corredores e sujeitos sem treinamento no ciclismo. Em nosso estudo, na ISUP em relação à P_{MAX}, a intensidade se assemelha à encontrada em ciclistas (130%) e corredores (124%) no estudo de Caputo e Denadai (2008), porém superior à encontrada pelos indivíduos sem treinamento (119%). Na potência absoluta, assim como na TSUP, os valores médios dos 16 sujeitos do presente estudo ficaram, entre os ciclistas, 451W e 117 segundos, e os corredores, 319W e 170 segundos; porém, ligeiramente acima dos indivíduos sem treinamento, 269W e 209 segundos, representando uma amostra com nível de treinamento intermediário. Divididos nos grupos ISUP e 105%PC, não houve diferenças entre os grupos, nas condições pré e pós-treinamento, na ISUP e TSUP.

Em relação aos dois grupos do presente estudo, ambos apresentaram comportamento semelhante nos efeitos do treinamento sobre essas variáveis, aumentando a potência absoluta de ISUP, sem alterações significativas no TSUP com ambos os treinamentos. No entanto, quando expressa em relação à P_{MAX}, apenas no grupo ISUP ela foi reduzida significativamente.

Não foi analisado no presente estudo o tempo de resposta do VO_2 durante o exercício na ISUP. Entretanto, considerando que TSUP representa o menor tempo em que o $\text{VO}_{2\text{max}}$ é atingido durante o exercício de carga constante, e o $\text{VO}_{2\text{max}}$ é atingido muito próximo à exaustão, isso pode representar uma análise indireta do tempo de resposta do VO_2 durante o exercício severo. Porém, não houve diferença significativa em ambos os grupos no TSUP, mas a ISUP foi elevada significativamente. Dessa forma, após o treinamento, os indivíduos de ambos os grupos precisaram de um mesmo tempo para atingir o $\text{VO}_{2\text{max}}$; portanto, um similar tempo de resposta no VO_2 , porém numa carga absoluta maior.

Entre os estudos que investigaram os efeitos do treinamento sobre a cinética do VO_2 no exercício severo (BERGER, TOLFREY *et al.*, 2006; DUFFIELD, EDGE *et al.*, 2006; DAUSSIN, ZOLL *et al.*, 2008; BAILEY, WILKERSON *et al.*, 2009), alguns compararam o treinamento intervalado de alta intensidade com o treinamento contínuo de baixa intensidade sobre a cinética do VO_2 no domínio severo (BERGER, TOLFREY *et al.*, 2006; DAUSSIN, ZOLL *et al.*, 2008; BAILEY, WILKERSON *et al.*, 2009), sendo ambos efetivos para melhora do tempo de resposta do VO_2 , enquanto em outros estudos apenas foi observada aceleração na cinética do VO_2 no domínio severo após o treinamento intervalado de alta intensidade (DAUSSIN, ZOLL *et al.*, 2008; BAILEY, WILKERSON *et al.*, 2009). Assim, Berger *et al.* (2006) formularam hipótese de que o número de transições repouso-exercício durante o treinamento poderia ser determinante para melhora do tempo de resposta do VO_2 no exercício severo. No grupo ISUP, o número de transições repouso-exercício foi superior em relação ao grupo 105%PC, porém não pareceu ser determinante para provocar diferenças na TSUP. No entanto, uma análise da cinética do VO_2 no exercício severo seria ideal para se assumir conclusões.

5.3 EFEITOS DO TREINAMENTO SOBRE OS ÍNDICES FISIOLÓGICOS AERÓBIOS

Dentre as adaptações resultantes do treinamento de *endurance*, Jones e Carter (2000) destacam seus efeitos sobre o deslocamento para a direita da hipérbole gerada pela relação potência-tempo, a qual permite aos indivíduos se exercitarem numa intensidade absoluta por mais

tempo, ou exercitar-se numa maior intensidade de exercício para uma determinada duração. Além disso, o VO_2max , economia de movimento, LL e a cinética do VO_2 são apontados como fatores-chave para a melhora dessa curva (WHIPP, WARD *et al.*, 1982; JONES e CARTER, 2000).

A P_{MAX} , maior intensidade atingida num teste incremental, é determinada pela associação do VO_2max e economia de movimento de um indivíduo, e tem forte relação com o desempenho de *endurance* (HILL e ROWELL, 1996; JONES e CARTER, 2000). Além disso, a P_{MAX} também parece ser influenciada pela capacidade anaeróbia, potência muscular e habilidade neuromuscular de se exercitar em altas intensidade (JONES e CARTER, 2000). Assim, melhoras no VO_2max , economia de movimento e também capacidade anaeróbia podem resultar em melhoras na P_{MAX} .

Grande quantidade de estudos observou melhora da P_{MAX} com os treinamentos realizados em intensidades do domínio severo no ciclismo (LINDSAY, HAWLEY *et al.*, 1996; WESTGARTHTAYLOR, HAWLEY *et al.*, 1997; WESTON, MYBURGH *et al.*, 1997; STEPTO, HAWLEY *et al.*, 1999; LAURSEN, BLANCHARD *et al.*, 2002; LAURSEN, SHING *et al.*, 2002; PATON e HOPKINS, 2005; DUFFIELD, EDGE *et al.*, 2006; DAUSSIN, PONSOT *et al.*, 2007; TONG, CHUNG *et al.*, 2011; ZIEMANN, GRZYWACZ *et al.*, 2011). Além disso, aqueles que compararam o treinamento realizado no domínio severo com o realizado no domínio moderado/pesado mostraram que ambos foram efetivos na melhora dessa variável (BERGER, TOLFREY *et al.*, 2006; BAILEY, WILKERSON *et al.*, 2009). No presente estudo, foi mostrado que ambos os treinamentos, realizados em intensidades do domínio severo, foram igualmente eficientes na melhora da P_{MAX} .

A melhora desse índice, fortemente associada à economia de movimento, também pode ser dependente de melhoras no VO_2max e capacidade anaeróbia. Estes últimos foram visualizados no grupo que treinou na ISUP, no qual foram aliadas a melhora na P_{MAX} . No grupo 105%PC, não foi visualizada melhora significativa no VO_2max e capacidade anaeróbia, podendo melhora na P_{MAX} ser atribuídas a outros fatores que não estes, como a economia de movimento ou eficiência. Em ambos os grupos foram observados deslocamentos para a direita na relação potência-tempo, com aumentos de igual magnitude nas

potências associadas ao LAn e PC. Um aumento no LL proporciona um estágio a mais no teste incremental sem o aparecimento do componente lento. Ainda, o aumento do LAn, que indiretamente reflete a MFEL, permite [La] estáveis num estágio mais avançado do teste incremental. Associado a isso, um aumento na PC, além de amenizar a amplitude do componente lento (CARTER, JONES *et al.*, 2000; BERGER, TOLFREY *et al.*, 2006), atrasa o alcance do VO_2max , que está fortemente associado à tolerância ao exercício (BURNLEY e JONES, 2007).

Contribuindo também para as melhoras da P_{MAX} estão as melhoras nos limiar de lactato e limiar anaeróbio. Em ambos os grupos foi mostrada igual eficiência na melhora do LAn; no entanto, foi observado melhora significativa do LL apenas no grupo ISUP. Outros estudos mostraram efeitos positivos do treinamento de alta intensidade sobre os limiares associados à resposta do lactato sanguíneo como também sobre os limiares ventilatórios (BERGER, TOLFREY *et al.*, 2006; DUFFIELD, EDGE *et al.*, 2006; DAUSSIN, PONSOT *et al.*, 2007; ZIEMANN, GRZYWACZ *et al.*, 2011). Para a melhora do limiar de lactato, intensidades próximas a ele têm sido sugeridas como a intensidade ideal para sua melhora (LONDEREE, 1997; JONES e CARTER, 2000). No entanto, já foi mostrado que treinar na intensidade do LL, ou de forma intermitente acima e abaixo do LL, é igualmente eficiente na sua melhora (KEITH, JACOBS *et al.*, 1992).

Em ambos os grupos de treinamento no presente estudo, foi observada redução nas [La] entre T1 e T12, e também no teste incremental. Essa redução na [La] seguindo o treinamento pode ser derivada de uma menor taxa de produção do lactato (FAVIER, CONSTABLE *et al.*, 1986; MACRAE, DENNIS *et al.*, 1992) e/ou uma melhora na habilidade de remoção do lactato sanguíneo (FREUND, LONSDORFER *et al.*, 1992; BONEN, BAKER *et al.*, 1997). Além disso, essas melhoras podem estar associadas a um aumento na capilarização do músculo esquelético, aumentando a capacidade de fluxo sanguíneo muscular e a área de superfície para a troca de gases, substratos e metabólitos entre o músculo e o sangue (INGJER, 1979; JONES e CARTER, 2000). Ainda, aumentos no tamanho e número de mitocôndrias, e aumento nas concentrações de enzimas associadas ao ciclo de Krebs, cadeia de transporte de elétrons, lançadeira malato-aspartato (SPINA *et al.*, 1996) e expressão do MCT1 (MOHR *et al.*,

2007), podem resultar na melhora do LL e LAn (SUTER, HOPPELER *et al.*, 1995; SPINA, CHI *et al.*, 1996; DUBOUCAUD, BUTTERFIELD *et al.*, 2000). Por fim, estudos realizados em animais sugerem que o treinamento de baixa intensidade ($\sim 50\% \text{VO}_2\text{max}$) pode ser suficiente para maximizar o aumento nas mitocôndrias nas fibras de tipo I, mas intensidades muito maiores são necessárias para causar efeitos significativos no volume mitocondrial nas fibras musculares tipo II (HARMS e HICKSON, 1983; JONES e CARTER, 2000), aumentando assim a capacidade oxidativa total da musculatura.

A partir dos testes de T_{LIM} a 95, 100 e 110% P_{MAX} , pela relação trabalho realizado-tempo, foi possível a estimativa da PC e W' dos indivíduos. Um interessante achado do presente estudo foi que ambos os grupos obtiveram semelhantes resultados nesses parâmetros. Os dois grupos de treinamento aumentaram de forma significativa a PC, sem mudanças substanciais na W' . Esses resultados corroboram com os encontrados em outros estudos, tanto no ciclismo como na corrida, nos quais houve melhora na PC, sem alterações na W' (GAESSER e WILSON, 1988; POOLE, WARD *et al.*, 1990; JENKINS e QUIGLEY, 1992; VANHATALO, ANNI, DOUST, JONATHAN H. *et al.*, 2008; CLARK, WEST *et al.*, 2013).

Analisando as respostas agudas ao treinamento, em relação ao trabalho realizado, VO_2 , [La], FC e total de O_2 consumido, houve diferenças apenas nas maiores taxas de [La] (figura 2) e FC (figura 3) no grupo ISUP, com média do VO_2 maior no grupo 105%PC (figura 4), sem diferenças nos outros parâmetros (figuras 5 e 6), exibindo certa similaridade na sobrecarga aeróbia entre os grupos. Assim, apesar de algumas diferenças, estas não pareceram interferir na melhora da PC. Por outro lado, a melhora da PC foi acompanhada pelo aumento da P_{MAX} e limiares de transição fisiológica em ambos os grupos, mostrando que melhoras nos índices relacionados ao aumento da tolerância ao exercício se refletem na melhora da PC.

A W' , que reflete o trabalho que pode ser realizado acima da PC, compreende a energia derivada das vias de fosfato, componente anaeróbio e estoques de O_2 (POOLE, WARD *et al.*, 1988). Também, está relacionada ao alcance de uma concentração crítica de um ou mais substratos ou metabólitos associados à fadiga muscular (JONES *et al.*, 2010). Além disso, a W' é apontada por alguns autores por ser dependente de alguns aspectos, como a capacidade anaeróbia, o tempo

de resposta do VO_2 no exercício severo e o $\text{VO}_{2\text{max}}$; assim, mudanças nesses parâmetros poderiam causar mudanças na W' (BURNLEY e JONES, 2007). No grupo 105%PC, não houve aumento significativo no $\text{VO}_{2\text{max}}$, e, baseado no teste de Wingate, não houve melhora na capacidade anaeróbia, procedendo a um resultado esperado que seria a ausência de aumento do W' . Por outro lado, no grupo ISUP, houve aumento significativo no $\text{VO}_{2\text{max}}$ e melhora, a partir do teste de Wingate, na capacidade anaeróbia; no entanto, não houve melhora no W' . Assim, esses resultados nos fazem questionar se esses seriam realmente os únicos determinantes da W' no ciclismo, ou mesmo da validade e reprodutibilidade da W' como parâmetro de capacidade anaeróbia.

Apesar da queda da W' ser prejudicial para eventos de curta duração, o aumento da PC, principalmente sem concomitantes reduções na W' , parece ser benéfico para o desempenho aeróbio (VANHATALO, JONES *et al.*, 2011). Dessa forma, um aumento na PC, observado em ambos os grupos, significa um aumento na magnitude das intensidades do domínio pesado, nas quais o $\text{VO}_{2\text{max}}$ não pode ser alcançado, além de uma possível atenuação no desenvolvimento do componente lento, traduzindo-se numa tolerância ao exercício aumentada (BURNLEY e JONES, 2007; VANHATALO, A., DOUST, J. H. *et al.*, 2008). No entanto, isso foi observado apenas nas cargas absolutas, já que não houve alterações quando a PC foi expressa em relação à P_{MAX} . No entanto, a forte relação da PC com o desempenho aeróbio (VANHATALO *et al.*, 2008; JONES *et al.*, 2010), foi confirmada pela semelhante melhora em ambos os grupos na prova de contra-relógio de 250kJ, na qual ambos os grupos melhoraram a PC e o tempo de prova em ~10%.

Com relação às diferenças no T_{LIM} a 95, 100 e 110% P_{MAX} , pré e pós- treinamento, não houve significância nos tempos de exaustão a 100% P_{MAX} em ambos os grupos após o treinamento. Entretanto, houve redução de forma significativa no T_{LIM} a 95 e 110% P_{MAX} no grupo 105%PC após o treinamento, diferentemente do grupo ISUP. O tempo de exaustão durante o exercício supramáximo ($>\text{VO}_{2\text{max}}$) é determinado pela depleção do W' , representando todo o trabalho realizado acima da PC (JONES, VANHATALO *et al.*, 2010; VANHATALO, JONES *et al.*, 2011). Embora não tenha havido mudanças no W' , houve essa redução no T_{LIM} a 95 e 110% P_{MAX} no

grupo 105%PC. É possível que o aumento da capacidade anaeróbia, verificada no grupo ISUP, possa ter ajudado de forma que essa queda no T_{LIM} não tenha sido tão acentuada como no grupo 105%PC, uma vez que Billat et al. (1995) mostraram que entre as cargas preditivas da VC, em corredores bem treinados, o tempo de exaustão a 95% P_{MAX} é correlacionado com a VC, enquanto o tempo de exaustão a 105% P_{MAX} é correlacionado com o W' . Além disso, a contribuição anaeróbia durante o teste de 110% P_{MAX} não deve ser ignorada, já que durante um teste a 100% P_{MAX} sua contribuição parece ser superior a 15% (FAINA, BILLAT *et al.*, 1997).

No presente estudo, para a determinação da PC e W' , os testes de cargas preditivas foram realizados sempre com uma hora de descanso após um teste de tempo de exaustão, realizado em intensidades próximas a 125% P_{MAX} . Esse desenho foi realizado a fim de otimizar o número de visitas dos sujeitos, possibilitando tanto a determinação da PC, quanto da ISUP, em três dias. Bishop e Jenkins (1995) não encontraram diferenças na PC e W' quando mulheres sem treinamento realizaram os três testes de cargas preditivas com três ou 24 horas de intervalo de recuperação entre eles. Ainda, Ferguson et al. (2007) não encontraram diferenças na PC quando as cargas preditivas foram precedidas por teste de seis minutos numa intensidade no domínio severo e dois minutos de exercício sem carga; entretanto, essa intervenção diminuiu significativamente a W' . Também, Ferguson et al. (2010), em estudo semelhante, verificaram os efeitos desse exercício prévio, porém com períodos de recuperação de dois, seis e 15 minutos para a realização da carga preditiva. Não houve diferença na PC entre as intervenções, no entanto, a W' foi reduzida nas três intervenções, tendo uma recuperação de aproximadamente 38, 66 e 86% para os tempos de dois, seis e 15 minutos de descanso. Portanto, o modelo utilizado em nosso estudo, com um intervalo de descanso de uma hora após o fim do teste de determinação da ISUP para o início do teste de carga preditiva da PC, não parece ter afetado a estimativa da PC e W' no presente estudo.

5.4 EFEITOS DO TREINAMENTO SOBRE O TESTE DE WINGATE

Para investigar os efeitos do treinamento realizado na ISUP e a 105%PC nos parâmetros anaeróbios do ciclismo, o teste de Wingate foi realizado. Houve comportamentos diferentes com relação aos efeitos de

cada treinamento sobre as variáveis obtidas do teste de Wingate, pico de potência, potência média. No grupo ISUP, houve aumento de maneira significativa na PP e PM, sem alterações no índice de fadiga, enquanto no grupo 105%PC, não aconteceram alterações significativas em nenhum dos parâmetros do teste.

Em relação aos parâmetros do teste de Wingate, a PP tem sido usada como indicativo da potência anaeróbia (SCOTT, ROBY *et al.*, 1991), nos quais os segundos iniciais do teste de Wingate refletem a taxa de energia gerada pelo metabolismo anaeróbio alático (BENEKE, POLLMANN *et al.*, 2002). Ainda, foi mostrado que a PP está diretamente relacionada às propriedades metabólicas anaeróbias do músculo esquelético, incluindo uma alta proporção de fibras musculares tipo II, e alta atividade da enzima fosfofrutoquinase (ESBJORNSSON, SYLVEN *et al.*, 1993). No presente estudo, foi observada uma melhora significativa de 6,5% na PP no grupo ISUP, sendo que não foram observadas alterações na PP no grupo 105%PC. Essas adaptações podem ter ocorrido apenas no grupo ISUP devido ao padrão de recrutamento de unidades motoras durante as sessões de treinamento. No grupo ISUP, parece ter ocorrido um maior recrutamento de unidades motoras do tipo II, comparado ao do grupo 105%PC, devido à intensidade empregada e resultado no teste de Wingate, traduzindo-se em adaptações neuromusculares e metabólicas diferentes nessas fibras. Afirmando isto, a ANOVA *two-way* revelou interação significativa entre os grupos nessa variável, apontando comportamentos diferentes entre os grupos nessa adaptação.

Com relação à média de potência gerada durante os trinta segundos do teste de Wingate (PM), esta tem sido apontada como reflexo da quantidade de ATP fornecido de forma anaeróbia, indicando capacidade anaeróbia (BENEKE, POLLMANN *et al.*, 2002; COOPER, BAKER *et al.*, 2004). Também, a glicólise anaeróbia tem sido sugerida como principal fonte de energia do quinto ao trigésimo segundo de exercício, sendo o metabolismo anaeróbio responsável por mais de 80% da energia produzida no teste de Wingate (BENEKE, POLLMANN *et al.*, 2002). No grupo ISUP, além do aumento na PP, aconteceu um aumento de aproximadamente 5% na PM. Além disso, não houve mudanças no índice de fadiga. Diferentemente, no grupo 105%PC, não houve mudanças na PM nem índice de fadiga. Dessa forma, o treinamento na ISUP melhorou a capacidade anaeróbia, possivelmente

por uma maior atividade glicolítica. Isso aliado à maior capacidade de tamponamento e transporte de H^+ e lactato, podendo atenuar a taxa de diminuição no pH muscular e acidose muscular (BANGSBO, JUEL *et al.*, 1997). Isso também pode ter acontecido devido a uma menor acumulação de potássio no interstício muscular (BANGSBO, MADSEN *et al.*, 1996), além de uma possível maior atividade da bomba Na^+/K^+ , o que pode ter diminuído a acumulação de potássio extracelular (MOHR *et al.*, 2007). Juntos, esses fatores podem ter contribuído para uma melhora na potência média no grupo ISUP com o treinamento, porém algo não visualizado no grupo 105%PC. Entretanto, as causas da fadiga durante o exercício intenso é algo complexo (FITTS, 1994), podendo outros fatores estar associados à melhora do desempenho, como os aspectos neuromusculares, já mencionados acima. Ainda, foi notada interação significativa entre os grupos pelo teste de ANOVA two-way na PM. A princípio, esses resultados parecem mostrar diferentes adaptações geradas pelos diferentes tipos de treinamento na PP e PM, o que tem sido evidenciado por estudos que têm observado essa melhora apenas no treinamento de intensidade máxima, mas não no treinamento de *endurance* de baixa intensidade (GIBALA *et al.*, 2006; BURGOMASTER *et al.*, 2008).

No entanto, no índice de fadiga, ambos os grupos apresentaram resultados semelhantes. Beneke *et al.* (2002) não encontraram associações do índice de fadiga com as análises de contribuição energética realizada em seu estudo. Parece existir uma relação do índice de fadiga com o percentual de tipo de fibras musculares, com indivíduos com maiores percentuais de fibras tipo I apresentando menores índices de fadiga no teste de Wingate (INBAR, KAISER *et al.*, 1981), sugerindo reflexo do metabolismo aeróbio. No entanto, levando em consideração que o tempo de resposta do VO_2 no exercício severo, baseado no TSUP, não parece ter aumentado em ambos os grupos, isso poderia justificar em parte a falta de efeito do treinamento sobre o índice de fadiga.

Esses resultados se assemelham com alguns estudos na literatura que investigaram os efeitos do treinamento sobre o teste de Wingate. Tabata *et al.* (1997) observaram os efeitos de seis semanas de um grupo de treinamento de baixa intensidade (70% VO_{2max} , 60 minutos) com um grupo de treinamento de alta intensidade (sete a oito repetições de 20:10 segundos, a 170% VO_{2max}) sobre o teste de

Wingate. Além de ser observadas melhora no VO_2max no teste incremental, foi observado aumento de forma significativa na PP e PM, e diminuição no índice de fadiga no grupo de alta intensidade, alterações não observadas no teste de Wingate no grupo de baixa intensidade, assumindo que essas melhoras foram associadas a adaptações no metabolismo anaeróbio. Ainda, Burgomaster et al. (2008) compararam um grupo de treinamento de baixa intensidade com outro realizado na intensidade do teste de Wingate. Em ambos os grupos foi observada melhora significativa na PP, porém foi observada melhora apenas na PM no grupo de treinamento que baseou a intensidade de treinamento no teste de Wingate. Estudando uma razão de esforço:pausa de 90:180 segundos, sendo o exercício a $80\%P_{\text{MAX}}$, Ziemann et al. (2011) observaram melhoras apenas na PM e trabalho total realizados no teste de Wingate. Por não notarem diferença na PP, os autores não assumiram melhora no metabolismo anaeróbio alático, atribuindo essas melhoras a um aumento ou no metabolismo anaeróbio láctico ou na fosforilação oxidativa, ou em ambos. Caso a melhora da fosforilação oxidativa pudesse ser a responsável sozinha por essa melhora, seria de se esperar melhora na PM no grupo $105\%PC$, o que não ocorreu, além de também não ter ocorrido melhora no tempo de respostas do VO_2 , observado pela TSUP. Dessa forma, baseada nos resultados sobre o teste de Wingate aqui encontrados, e também nos resultados de outros estudos, a melhora do metabolismo anaeróbio parece determinante para benefícios no desempenho anaeróbio.

Além desses, outros estudos basearam a intensidade do exercício no teste de Wingate e verificaram os efeitos desse treinamento sobre este teste (MACDOUGALL, HICKS *et al.*, 1998; CREER, RICARD *et al.*, 2004; BURGOMASTER, HUGHES *et al.*, 2005; BURGOMASTER, HEIGENHAUSER *et al.*, 2006). No entanto, estes têm sido verificados não em um único teste de Wingate, mas sim em quatro consecutivos, com períodos médios de recuperação. Têm sido observadas melhoras no PP (MACDOUGALL, HICKS *et al.*, 1998; CREER, RICARD *et al.*, 2004; BURGOMASTER, HUGHES *et al.*, 2005; BURGOMASTER, HEIGENHAUSER *et al.*, 2006), PM (CREER, RICARD *et al.*, 2004; BURGOMASTER, HEIGENHAUSER *et al.*, 2006) sem resultados conclusivos sobre o índice de fadiga, sendo observados benefício (BURGOMASTER, HEIGENHAUSER *et al.*,

2006) e prejuízo (BURGOMASTER, HUGHES *et al.*, 2005) nesse índice.

5.5 TESTE DE CONTRA-RELÓGIO DE 250KJ

Tendo em vista que muitos eventos esportivos requerem atletas a completar uma determinada distância de trabalho no menor tempo possível, nós testamos os efeitos de ambos os treinamentos sobre um teste de contra-relógio de 250kJ. Nossos resultados mostraram que ambos os grupos foram igualmente efetivos na melhoria do tempo total, apresentando comportamentos semelhantes nessa adaptação. Isso se deve principalmente ao aumento significativo da potência média gerada durante todo o teste, observado em ambos os grupos. Apesar disso, em ambos os grupos, não houve aumento no percentual relativo da potência média do teste de contra-relógio em relação à PC e P_{MAX} , podendo isso ser em decorrência de uma melhora nas potências absolutas da P_{MAX} e PC, porém não na relação da PC com a P_{MAX} (%PC em relação a P_{MAX}) em ambos os grupos após o treinamento.

Outros estudos investigaram os efeitos do treinamento intervalado, com intensidade baseada no teste de Wingate, sobre o teste de contra-relógio de 250kJ (BURGOMASTER, HEIGENHAUSER *et al.*, 2006; BABRAJ, VOLLAARD *et al.*, 2009). Entre esses, após duas semanas de treinamento, Burgomaster, Heigenhauser e Gibala (2006) observaram uma melhora de 9,6% no tempo do teste após o treinamento, melhora esta não observada no grupo controle. Além disso, a potência média do teste aumentou após o treinamento de 247W para 272W. No estudo de Babraj *et al.* (2009), que também utilizaram período de duas semanas de treinamento, foi reportada uma melhora com o treinamento de aproximadamente 75 segundos no tempo de contra-relógio, o que significou redução de 6% no tempo total. Nossos resultados corroboram com esses estudos, uma vez que foi observada melhora de quase 10% em ambos os grupos no tempo de prova, tendo uma redução média de $118 \pm 108s$ e $116 \pm 40s$, nos grupos ISUP e 105%PC, respectivamente.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou que o treinamento intervalado realizado no limite superior e no limite inferior do domínio severo do exercício durante quatro semanas, em indivíduos fisicamente ativos, foi igualmente eficiente na melhora dos principais índices fisiológicos aeróbios, como P_{MAX} , LAn , PC e VO_2max relativo a massa corporal, e também no desempenho de contra-relógio de 250kJ. No entanto, o treinamento intervalado na ISUP foi o único efetivo para melhorar o LL e VO_2max absoluto. Com isso, a melhora do desempenho de contra-relógio, vista também no grupo 105%PC, mostra sua independência com relação à melhora do VO_2max absoluto. No entanto, o treinamento na ISUP foi o único a provocar benefícios sobre a PP e PM do teste de Wingate, diferentemente do grupo 105%PC. Dessa forma, embora com similares adaptações nos parâmetros aeróbios, o treinamento na ISUP parece superior em relação ao treinamento realizado a 105%PC cujo objetivo é melhorar também os parâmetros anaeróbios do exercício em indivíduos ativos.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, R. A. de; TURNES, T.; CRUZ, R. S. D. O.; CAPUTO, F. Fast-start strategy increases the time spent above 95 %VO₂max³ during severe-intensity intermittent running exercise. **European Journal of Applied Physiology**, v. 113, n. 4, Apr. 2013.

ANDERSON, G. S.; RHODES, E. C. A Review of blood lactate and ventilatory methods of detecting transition thresholds. **Sports Medicine**, v. 8, n. 1, p. 43-55, Jul 1989.

BABRAJ, J. A.; VOLLAARD, N. B.; KEAST, C.; GUPPY, F. M.; COTTRELL, G.; TIMMONS, J. A. Extremely short duration high intensity interval training substantially improves insulin action in young healthy males. **BMC Endocrine Disorders**, v. 9, p. 3, 2009.

BAILEY, S. J.; WILKERSON, D. P.; DIMENNA, F. J.; JONES, A. M. Influence of repeated sprint training on pulmonary O₂ uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 106, n. 6, p. 1875-1887, Jun 2009.

BANGSBO, J.; JUEL, C.; HELLSTEN, Y.; SALTIN, B. Dissociation between lactate and proton exchange in muscle during intense exercise in man. **The Journal of Physiology**, v. 504 (Pt 2), p. 489-499, Oct 15 1997.

BANGSBO, J.; KRUSTRUP, P.; GONZALEZ-ALONSO, J.; BOUSHEL, R.; SALTIN, B. Muscle oxygen kinetics at onset of intense dynamic exercise in humans. **American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology**, v. 279, n. 3, p. R899-R906, Sep 2000.

BANGSBO, J.; MADSEN, K.; KIENS, B.; RICHTER, E. A. Effect of muscle acidity on muscle metabolism and fatigue during intense exercise in man. **The Journal of Physiology**, v. 495 (Pt 2), p. 587-596, Sep 1 1996.

BARON, B.; NOAKES, T. D.; DEKERLE, J.; MOULLAN, F.; ROBIN, S.; MATRAN, R.; PELAYO, P. Why does exercise terminate at the

maximal lactate steady state intensity? **British Journal of Sports Medicine**, v. 42, n. 10, p. 828-833, Oct 2008.

BARSTOW, T. J. Characterization of VO_2 kinetics during heavy exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 26, n. 11, p. 1327-1334, Nov 1994.

BARSTOW, T. J.; MOLE, P. A. Simulation of pulmonary O_2 uptake during exercise transients in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 63, n. 6, p. 2253-2261, Dec 1987.

BASSETT, D. R.; HOWLEY, E. T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 32, n. 1, p. 70-84, Jan 2000.

BENEKE, R.; POLLMANN, C.; BLEIF, I.; LEITHAUSER, R. M.; HUTLER, M. How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? **European Journal of Applied Physiology**, v. 87, n. 4-5, p. 388-392, Aug 2002.

BERGER, N. J. A.; TOLFREY, K.; WILLIAMS, A. G.; JONES, A. M. Influence of continuous and interval training on oxygen uptake on-kinetics. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 38, n. 3, p. 504-512, Mar 2006.

BILLAT, L. V. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training - Recommendations for long-distance running. **Sports Medicine**, v. 22, n. 3, p. 157-175, Sep 1996.

BILLAT, V.; RENOUX, J. C.; PINOTEAU, J.; PETIT, B.; KORALSZTEIN, J. P. Times to exhaustion at 90, 100 and 105% of velocity at VO_2 max (maximal aerobic speed) and critical speed in elite long-distance runners. **Archives of Physiology and Biochemistry**, v. 103, n. 2, p. 129-135, May 1995.

BILLAT, V.; SIRVENT, P.; LEPRETRE, P. M.; KORALSZTEIN, J. P. Training effect on performance, substrate balance and blood lactate

concentration at maximal lactate steady state in master endurance-runners. **Pflugers Archiv: European Journal of Physiology**, v. 447, n. 6, p. 875-883, Mar 2004.

BILLAT, V. L.; MILLE-HAMARD, L.; DEMARLE, A.; KORALSZTEIN, J. P. Effect of training in humans on off- and on-transient oxygen uptake kinetics after severe exhausting intensity runs. **European Journal of Applied Physiology**, v. 87, n. 6, p. 496-505, Oct 2002.

BILLAT, V. L.; SIRVENT, P.; PY, G.; KORALSZTEIN, J. P.; MERCIER, J. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. **Sports Medicine**, v. 33, n. 6, p. 407-426, 2003.

BISHOP, D.; JENKINS, D. G. The influence of recovery duration between periods of exercise on the critical power function. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 72, n. 1-2, p. 115-120, 1995.

BOGDANIS, G. C.; NEVILL, M. E.; BOOBIS, L. H.; LAKOMY, H. K. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 80, n. 3, p. 876-884, Mar 1996.

BOGDANIS, G. C.; NEVILL, M. E.; BOOBIS, L. H.; LAKOMY, H. K.; NEVILL, A. M. Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. **The Journal of Physiology**, v. 482 (Pt 2), p. 467-480, Jan 15 1995.

BONEN, A.; BAKER, S. K.; HATTA, H. Lactate transport and lactate transporters in skeletal muscle. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v. 22, n. 6, p. 531-552, Dec 1997.

BRICKLEY, G.; DOUST, J.; WILLIAMS, C. A. Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power. **European Journal of Applied Physiology**, v. 88, n. 1-2, p. 146-151, Nov 2002.

BROOKS, G. A.; MERCIER, J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. **Journal of Applied Physiology**, v. 76, n. 6, p. 2253-2261, Jun 1994.

BUCHHEIT, M.; ABBISS, C. R.; PEIFFER, J. J.; LAURSEN, P. B. Performance and physiological responses during a sprint interval training session: relationships with muscle oxygenation and pulmonary oxygen uptake kinetics. **European Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 2, p. 767-779, Feb 2012.

BURGOMASTER, K. A.; HEIGENHAUSER, G. J. F.; GIBALA, M. J. Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance. **Journal of Applied Physiology**, v. 100, n. 6, p. 2041-2047, Jun 2006.

BURGOMASTER, K. A.; HOWARTH, K. R.; PHILLIPS, S. M.; RAKOBOWCHUK, M.; MACDONALD, M. J.; MCGEE, S. L.; GIBALA, M. J. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. **Journal of Physiology**, v. 586, n. 1, p. 151-160, Jan 1 2008.

BURGOMASTER, K. A.; HUGHES, S. C.; HEIGENHAUSER, G. J. F.; BRADWELL, S. N.; GIBALA, M. J. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 98, n. 6, p. 1985-1990, Jun 2005.

BURNLEY, M.; JONES, A. M. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. **European Journal of Sport Science**, v. 7, n. 2, p. 63-79, 2007 2007.

CAPUTO, F. **Determinação da maior intensidade de esforço onde o consumo máximo de oxigênio é atingido durante o ciclismo: influência do estado e especificidade do treinamento aeróbio.** 2006. 96, UNESP, Rio Claro/SP.

CAPUTO, F.; DELUCAS, R. D.; MANCINI, E.; DENADAI, B. S. Comparação de diferentes índices obtidos em testes de campo para

predição da performance aeróbia de curta duração no ciclismo. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**. 9: 13 - 17 p. 2001.

CAPUTO, F.; DENADAI, B. S. The highest intensity and the shortest duration permitting attainment of maximal oxygen uptake during cycling: effects of different methods and aerobic fitness level. **European Journal of Applied Physiology**, v. 103, n. 1, p. 47-57, May 2008.

CAPUTO, F.; OLIVEIRA, M. F. M. D.; GRECO, C. C.; DENADAI, B. S. Exercício aeróbio: Aspectos bioenergéticos, ajustes fisiológicos, fadiga e índices de desempenho. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v. 11, n. 1, p. 94-102, 2009.

CARTER, H.; JONES, A. M.; BARSTOW, T. J.; BURNLEY, M.; WILLIAMS, C.; DOUST, J. H. Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running. **Journal of Applied Physiology**, v. 89, n. 5, p. 1744-1752, Nov 2000.

CERRETELLI, P.; PENDERGAST, D.; PAGANELLI, W. C.; RENNIE, D. W. Effects of specific muscle training on VO_2 on-response and early blood lactate. **Journal of Applied Physiology**, v. 47, n. 4, p. 761-769, 1979 1979.

CLARK, I. E.; WEST, B.; REYNOLDS, S.; MURRAY, S. R.; PETTITT, R. W. Applying the Critical Velocity Model for an Off-Season Interval Training Program. **Journal of Strength and Conditioning Research**, Mar 8 2013.

COOPER, S. M.; BAKER, J. S.; EATON, Z. E.; MATTHEWS, N. A. A simple multistage field test for the prediction of anaerobic capacity in female games players. **British Journal of Sports Medicine**, v. 38, n. 6, p. 784-789, Dec 2004.

COYLE, E. Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. **Exercise and Sport Sciences Reviews** 23: 25 - 63 p. 1995.

COYLE, E. F.; COGGAN, A. R.; HOPPER, M. K.; WALTERS, T. J. Determinants of endurance in well-trained cyclists. **Journal of Applied Physiology**, v. 64, n. 6, p. 2622-2630, Jun 1988.

COYLE, E. F.; FELTNER, M. E.; KAUTZ, S. A.; HAMILTON, M. T.; MONTAIN, S. J.; BAYLOR, A. M.; ABRAHAM, L. D.; PETREK, G. W. Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 23, n. 1, p. 93-107, Jan 1991.

COYLE, E. F.; MARTIN, W. H.; EHSANI, A. A.; HAGBERG, J. M.; BLOOMFIELD, S. A.; SINACORE, D. R.; HOLLOSZY, J. O. Blood lactate threshold in some well-trained ischemic-heart-disease patients. **Journal of Applied Physiology**, v. 54, n. 1, p. 18-23, 1983 1983.

CREER, A. R.; RICARD, M. D.; CONLEE, R. K.; HOYT, G. L.; PARCELL, A. C. Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists. **International Journal of Sports Medicine**, v. 25, n. 2, p. 92-98, Feb 2004.

DAUSSIN, F. N.; PONSOT, E.; DUFOUR, S. P.; LONSDORFER-WOLF, E.; DOUTRELEAU, S.; GENY, B.; PIQUARD, F.; RICHARD, R. Improvement of VO_2 (max), by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. **European Journal of Applied Physiology**, v. 101, n. 3, p. 377-383, Oct 2007.

DAUSSIN, F. N.; ZOLL, J.; DUFOUR, S. P.; PONSOT, E.; LONSDORFER-WOLF, E.; DOUTRELEAU, S.; METTAUER, B.; PIQUARD, F.; GENY, B.; RICHARD, R. Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. **American Journal of Physiology-Regulatory Integrative and Comparative Physiology**, v. 295, n. 1, p. R264-R272, Jul 1 2008.

DAWSON, B.; FITZSIMONS, M.; GREEN, S.; GOODMAN, C.; CAREY, M.; COLE, K. Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 78, n. 2, p. 163-169, Jul 1998.

DELUCAS, R. D.; DENADAI, B. S.; GRECO, C. C. Respostas fisiológicas durante o exercício contínuo e intermitente: implicações para a avaliação e a prescrição do treinamento aeróbico. **Motriz**. 15: 810 - 820 p. 2009.

DEMARLE, A. P.; SLAWINSKI, J. J.; LAFFITE, L. P.; BOCQUET, V. G.; KORALSZTEIN, J. P.; BILLAT, V. L. Decrease of O-2 deficit is a potential factor in increased time to exhaustion after specific endurance training. **Journal of Applied Physiology**, v. 90, n. 3, p. 947-953, Mar 2001.

DENADAI, B. S. Limiar anaeróbico: Considerações fisiológicas e metodológicas. **Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde**. 1: 74 - 88 p. 1995.

DENADAI, B. S.; ORTIZ, M. J.; MELLO, M. T. Índices fisiológicos associados com a “performance” aeróbia em corredores de “endurance”: efeitos da duração da prova. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**. 10 2004.

DI PRAMPERO, P. E. Factors limiting maximal performance in humans. **European Journal of Applied Physiology**, v. 90, n. 3-4, p. 420-429, Oct 2003.

DUBOUCHAUD, H.; BUTTERFIELD, G. E.; WOLFEL, E. E.; BERGMAN, B. C.; BROOKS, G. A. Endurance training, expression, and physiology of LDH, MCT1, and MCT4 in human skeletal muscle. **Endocrinology and Metabolism: American Journal of Physiology**, v. 278, n. 4, p. E571-579, Apr 2000.

DUFFIELD, R.; EDGE, J.; BISHOP, D. Effects of high-intensity interval training on the VO₂ response during severe exercise. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 9, n. 3, p. 249-255, Jun 2006.

DUPONT, G.; BLONDEL, N.; LENSEL, G.; BERTHOIN, S. Critical velocity and time spent at a high level of VO₂ for short intermittent runs at supramaximal velocities. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v. 27, n. 2, p. 103-115, Apr 2002.

ESBJORNSSON, M.; SYLVEN, C.; HOLM, I.; JANSSON, E. Fast twitch fibres may predict anaerobic performance in both females and males. **International Journal of Sports Medicine**, v. 14, n. 5, p. 257-263, Jul 1993.

ESFARJANI, F.; LAURSEN, P. B. Manipulating high-intensity interval training: effects on VO₂max, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 10, n. 1, p. 27-35, Feb 2007.

FAINA, M.; BILLAT, V.; SQUADRONE, R.; DE ANGELIS, M.; KORALSZTEIN, J. P.; DAL MONTE, A. Anaerobic contribution to the time to exhaustion at the minimal exercise intensity at which maximal oxygen uptake occurs in elite cyclists, kayakists and swimmers. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 76, n. 1, p. 13-20, 1997.

FARRELL, P. A.; WILMORE, J. H.; COYLE, E. F.; BILLING, J. E.; COSTILL, D. L. Plasma lactate accumulation and distance running performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 11, n. 4, p. 338-344, 1979.

FAVIER, R. J.; CONSTABLE, S. H.; CHEN, M.; HOLLOSZY, J. O. Endurance exercise training reduces lactate production. **Journal of Applied Physiology**, v. 61, n. 3, p. 885-889, Sep 1986.

FERGUSON, C.; ROSSITER, H. B.; WHIPP, B. J.; CATHCART, A. J.; MURGATROYD, S. R.; WARD, S. A. Effect of recovery duration from prior exhaustive exercise on the parameters of the power-duration

relationship. **Journal of Applied Physiology**, v. 108, n. 4, p. 866-874, Apr 2010.

FERGUSON, C.; WHIPP, B. J.; CATHCART, A. J.; ROSSITER, H. B.; TURNER, A. P.; WARD, S. A. Effects of prior very-heavy intensity exercise on indices of aerobic function and high-intensity exercise tolerance. **Journal of Applied Physiology**, v. 103, n. 3, p. 812-822, Sep 2007.

FITTS, R. H. Cellular mechanisms of muscle fatigue. **Physiological Reviews**, v. 74, n. 1, p. 49-94, Jan 1994.

FOX, E. L.; BARTELS, R. L.; BILLINGS, C. E.; O'BRIEN, R.; BASON, R.; MATHEWS, D. K. Frequency and duration of interval training programs and changes in aerobic power. **Journal of Applied Physiology**, v. 38, n. 3, p. 481-484, Mar 1975.

FREUND, H.; LONSDORFER, J.; OYONO-ENGUELLE, S.; LONSDORFER, A.; BOGUI, P. Lactate exchange and removal abilities in sickle cell patients and in untrained and trained healthy humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 73, n. 6, p. 2580-2587, Dec 1992.

FUKUOKA, Y.; GRASSI, B.; CONTI, M.; GUIDUCCI, D.; SUTTI, M.; MARCONI, C.; CERRETELLI, P. Early effects of exercise training on VO₂ on- and off-kinetics in 50-year-old subjects. **Pflugers Archiv-European Journal of Physiology**, v. 443, n. 5-6, p. 690-697, Mar 2002.

GAESSER, G.; POOLE, D. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Exercise and Sport Sciences Reviews**. 24: 35 - 70 p. 1996.

GAESSER, G. A.; WILSON, L. A. Effects of continuous and interval training on the parameters of the power-endurance time relationship for high-intensity exercise. **International Journal of Sports Medicine**, v. 9, n. 6, p. 417-421, Dec 1988.

GASTIN, P. B. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. **Sports Medicine**, v. 31, n. 10, p. 725-741, 2001.

GIBALA, M. J.; LITTLE, J. P.; VAN ESSEN, M.; WILKIN, G. P.; BURGOMASTER, K. A.; SAFDAR, A.; RAHA, S.; TARNOPOLSKY, M. A. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. **Journal of Physiology**, v. 575, n. 3, p. 901-911, Sep 15 2006.

GORDON, C. C.; CHUMLEA, W. C.; ROCHE, A. F. Stature, recumbent length, and weight In: LOHMAN, T. C.; ROCHE, A. F., *et al* (Ed.). **Anthropometric standardization reference manual**. Champaign: Human Kinetics, 1988. p.117.

GRASSI, B. Regulation of oxygen consumption at exercise onset: is it really controversial? **Exercise and Sport Sciences Reviews**. 3: 134 - 138 p. 2001.

GRASSI, B.; GLADDEN, L. B.; STARY, C. M.; WAGNER, P. D.; HOGAN, M. C. Peripheral O₂ diffusion does not affect VO(2) on-kinetics in isolated in situ canine muscle. **Journal of Applied Physiology**, v. 85, n. 4, p. 1404-1412, Oct 1998.

GRASSI, B.; HOGAN, M. C.; KELLEY, K. M.; ASCHENBACH, W. G.; HAMANN, J. J.; EVANS, R. K.; PATILLO, R. E.; GLADDEN, L. B. Role of convective O₂ delivery in determining VO(2) on-kinetics in canine muscle contracting at peak VO(2). **Journal of Applied Physiology**, v. 89, n. 4, p. 1293-1301, Oct 2000.

HARMS, S. J.; HICKSON, R. C. Skeletal muscle mitochondria and myoglobin, endurance, and intensity of training. **Journal of Applied Physiology**, v. 54, n. 3, p. 798-802, Mar 1983.

HARRISON, G. G.; BUSKIRK, E. R.; CARTER, J. E. L.; JOHNSTON, F. E.; LOHMAN, T. G.; POLLOCK, M. L.; ROCHE, A. F.; WILMORE, J. Skinfold thicknesses and measurement technique. In:

LOHMAN, T. C.; ROCHE, A. F., *et al* (Ed.). **Anthropometric standardization reference manual**. Champaign: Human Kinetics, 1988. p.117.

HAWLEY, J. A.; MYBURGH, K. H.; NOAKES, T. D.; DENNIS, S. C. Training techniques to improve fatigue resistance and enhance endurance performance. **Journal of Sports Sciences**, v. 15, n. 3, p. 325-333, Jun 1997.

HECK, H.; MADER, A.; HESS, G.; MUCKE, S.; MULLER, R.; HOLLMANN, W. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. **International Journal of Sports Medicine**, v. 6, n. 3, p. 117-130, 1985.

HELLSTEN, Y.; APPLE, F. S.; SJODIN, B. Effect of sprint cycle training on activities of antioxidant enzymes in human skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology**, v. 81, n. 4, p. 1484-1487, Oct 1996.

HILL, D. W. The critical power concept - a review. **Sports Medicine**, v. 16, n. 4, p. 237-254, Oct 1993.

HILL, D. W.; FERGUSON, C. S. A physiological description of critical velocity. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 79, n. 3, p. 290-293, Feb 1999.

HILL, D. W.; POOLE, D. C.; SMITH, J. C. The relationship between power and the time to achieve $\text{VO}_{2\text{max}}$. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 4, p. 709-714, Apr 2002.

HILL, D. W.; ROWELL, A. L. Running velocity at $\text{VO}_{2\text{max}}$. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 28, n. 1, p. 114-119, Jan 1996.

HILL, D. W.; STEVENS, E. C. VO_2 response profiles in severe intensity exercise. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 45, n. 3, p. 239-247, Sep 2005.

HOOD, D. A. Plasticity in skeletal, cardiac, and smooth muscle - Invited review: Contractile activity-induced mitochondrial biogenesis in

skeletal muscle. **Journal of Applied Physiology**, v. 90, n. 3, p. 1137-1157, Mar 2001.

HOUSH, T. J.; JOHNSON, G. O.; MCDOWELL, S. L.; HOUSH, D. J.; PEPPER, M. Physiological-responses at the fatigue threshold. **International Journal of Sports Medicine**, v. 12, n. 3, p. 305-308, Jun 1991.

INBAR, O.; KAISER, P.; TESCH, P. Relationships between leg muscle fiber type distribution and leg exercise performance. **International Journal of Sports Medicine**, v. 2, n. 3, p. 154-159, Aug 1981.

INGJER, F. Effects of endurance training on muscle fibre ATP-ase activity, capillary supply and mitochondrial content in man. **Journal of Physiology**, v. 294, p. 419-432, Sep 1979.

JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. **British Journal of Nutrition**, v. 40, n. 3, p. 497-504, Nov 1978.

JACOBS, I.; ESBJORNSSON, M.; SYLVEN, C.; HOLM, I.; JANSSON, E. Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 19, n. 4, p. 368-374, Aug 1987.

JENKINS, D. G.; QUIGLEY, B. M. Endurance training enhances critical power. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 24, n. 11, p. 1283-1289, Nov 1992.

JONES, A. M. The physiology of the world record holder for the women's marathon. **International Journal of Sports Science and Coaching** 1: 101 - 116 p. 2006.

JONES, A. M.; CARTER, H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. **Sports Medicine**, v. 29, n. 6, p. 373-386, Jun 2000.

JONES, A. M.; DOUST, J. H. The validity of the lactate minimum test for determination of the maximal lactate steady state. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 30, n. 8, p. 1304-1313, Aug 1998.

JONES, A. M.; VANHATALO, A.; BURNLEY, M.; MORTON, R. H.; POOLE, D. C. Critical Power: Implications for Determination of VO_2max and Exercise Tolerance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 42, n. 10, p. 1876-1890, Oct 2010.

JONHAGEN, S.; ERICSON, M. O.; NEMETH, G.; ERIKSSON, E. Amplitude and timing of electromyographic activity during sprinting. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 6, n. 1, p. 15-21, Feb 1996.

JOYNER, M. J. MODELING - Optimal marathon performance on the basis of physiological factors. **Journal of Applied Physiology**, v. 70, n. 2, p. 683-687, Feb 1991.

KATCH, V. L.; SADY, S. S.; FREEDSON, P. Biological variability in maximum aerobic power. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 14, n. 1, p. 21-25, 1982.

KEITH, S. P.; JACOBS, I.; MCLELLAN, T. M. Adaptations to training at the individual anaerobic threshold **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 65, n. 4, p. 316-323, 1992.

KINDERMANN, W.; SIMON, G.; KEUL, J. Significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 42, n. 1, p. 25-34, 1979.

KOLBE, T.; DENNIS, S. C.; SELLEY, E.; NOAKES, T. D.; LAMBERT, M. I. The relationship between critical power and running performance. **Journal of Sports Sciences**. 13 1995.

KOPPO, K.; BOUCKAERT, J.; JONES, A. M. Effects of training status and exercise intensity on phase IIV_{O2} kinetics. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 36, n. 2, p. 225-232, Feb 2004.

KORZENIEWSKI, B.; LIGUZINSKI, P. Theoretical studies on the regulation of anaerobic glycolysis and its influence on oxidative phosphorylation in skeletal muscle. **Biophysical Chemistry**, v. 110, n. 1-2, p. 147-169, Jul 1 2004.

KORZENIEWSKI, B.; ZOLADZ, J. A. Factors determining the oxygen consumption rate VO₂ on-kinetics in skeletal muscles. **Biochemical Journal**, v. 379, p. 703-710, May 1 2004.

KRUSTRUP, P.; HELLSTEN, Y.; BANGSBO, J. Intense interval training enhances human skeletal muscle oxygen uptake in the initial phase of dynamic exercise at high but not at low intensities. **Journal of Physiology**, v. 559, n. 1, p. 335-345, Aug 15 2004.

KUIPERS, H.; VERSTAPPEN, F. T.; KEIZER, H. A.; GEURTEN, P.; VAN KRANENBURG, G. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. **International Journal of Sports Medicine**, v. 6, n. 4, p. 197-201, Aug 1985.

LAURSEN, P. B. Interval Training for Endurance Performance. In: (Ed.). **Endurance training: Science and Practice**, 2012. cap. 5, p.41 - 50.

LAURSEN, P. B.; BLANCHARD, M. A.; JENKINS, D. G. Acute high-intensity interval training improves T-vent and peak power output in highly trained males. **Canadian Journal of Applied Physiology**, v. 27, n. 4, p. 336-348, Aug 2002.

LAURSEN, P. B.; JENKINS, D. G. The scientific basis for high-intensity interval training - Optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. **Sports Medicine**, v. 32, n. 1, p. 53-73, 2002 2002.

LAURSEN, P. B.; SHING, C. M.; JENKINS, D. G. Temporal aspects of the VO₂ response at the power output associated with VO₂peak in well trained cyclists--implications for interval training prescription.

Research Quarterly for Exercise and Sport, v. 75, n. 4, p. 423-428, Dec 2004.

LAURSEN, P. B.; SHING, C. M.; PEAKE, J. M.; COOMBES, J. S.; JENKINS, D. G. Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, n. 11, p. 1801-1807, Nov 2002.

LINDSAY, F. H.; HAWLEY, J. A.; MYBURGH, K. H.; SCHOMER, H. H.; NOAKES, T. D.; DENNIS, S. C. Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 28, n. 11, p. 1427-1434, Nov 1996.

LONDEREE, B. R. Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: A meta-analysis. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 29, n. 6, p. 837-843, Jun 1997.

MACDOUGALL, J. D. The anaerobic threshold: its significance for the endurance athlete. **Canadian journal of applied sport sciences**. 2: 134 - 140 p. 1977.

MACDOUGALL, J. D.; HICKS, A. L.; MACDONALD, J. R.; MCKELVIE, R. S.; GREEN, H. J.; SMITH, K. M. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. **Journal of Applied Physiology**, v. 84, n. 6, p. 2138-2142, Jun 1998.

MACRAE, H. S.; DENNIS, S. C.; BOSCH, A. N.; NOAKES, T. D. Effects of training on lactate production and removal during progressive exercise in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 72, n. 5, p. 1649-1656, May 1992.

MARGARIA, R.; MANGILI, F.; CUTTICA, F.; CERRETELLI, P. The kinetics of the oxygen-consumption at the onset of muscular exercise in man. **Ergonomics**, v. 8, n. 1-4, p. 49-54, 1965 1965.

MCKENNA, M. J.; HEIGENHAUSER, G. J. F.; MCKELVIE, R. S.; OBMINSKI, G.; MACDOUGALL, J. D. Enhanced pulmonary and active skeletal muscle gas exchange during intense exercise after sprint training in men. **Journal of Physiology-London**, v. 501, n. 3, p. 703-716, Jun 15 1997.

MCLELLAN, T. M. VENTILATORY AND PLASMA LACTATE RESPONSE WITH DIFFERENT EXERCISE PROTOCOLS - A COMPARISON OF METHODS. **International Journal of Sports Medicine**, v. 6, n. 1, p. 30-35, 1985 1985.

MIDGLEY, A. W.; MCNAUGHTON, L. R.; JONES, A. M. Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance? Can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? **Sports Medicine**, v. 37, n. 10, p. 857-880, 2007 2007.

MIDGLEY, A. W.; MCNAUGHTON, L. R.; WILKINSON, M. Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners? Empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. **Sports Medicine**, v. 36, n. 2, p. 117-132, 2006 2006.

MIURA, A.; KINO, F.; KAJITANI, S.; SATO, H.; FUKUBA, Y. The effect of oral creatine supplementation on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry in humans. **Japanese Journal of Physiology**, v. 49, n. 2, p. 169-174, Apr 1999.

MIURA, A.; SATO, H.; WHIPP, B. J.; FUKUBA, Y. The effect of glycogen depletion on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry. **Ergonomics**, v. 43, n. 1, p. 133-141, Jan 2000.

MOHR, M.; KRUSTRUP, P.; NIELSEN, J. J.; NYBO, L.; RASMUSSEN, M. K.; JUEL, C.; BANGSBO, J. Effect of two different intense training regimens on skeletal muscle ion transport proteins and fatigue development. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v. 292, n. 4, p. R1594-1602, Apr 2007.

MORITANI, T.; NAGATA, A.; DEVRIES, H. A.; MURO, M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. **Ergonomics**, v. 24, n. 5, p. 339-350, 1981 1981.

OKUNO, N. M.; PERANDINI, L. A. B.; BISHOP, D.; SIMOES, H. G.; PEREIRA, G.; BERTHOIN, S.; KOKUBUN, E.; NAKAMURA, F. Y. Physiological and perceived exertion responses at intermittent critical power and intermittent maximal lactate steady state. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 7, p. 2053-2058, Jul 2011.

PAROLIN, M. L.; CHESLEY, A.; MATSOS, M. P.; SPIRET, L. L.; JONES, N. L.; HEIGENHAUSER, G. J. Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise. **American Journal of Physiology**, v. 277, n. 5 Pt 1, p. E890-900, Nov 1999.

PATON, C. D.; HOPKINS, W. G. Combining explosive and high-resistance training improves performance in competitive cyclists. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 19, n. 4, p. 826-830, Nov 2005.

PHILLIPS, S. M.; GREEN, H. J.; MACDONALD, M. J.; HUGHSON, R. L. Progressive effect of endurance training on VO_2 kinetics at the onset of submaximal exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 79, n. 6, p. 1914-1920, Dec 1995.

POOLE, D. C.; JONES, A. M. Towards an understanding of the mechanistic bases of VO_2 kinetics. . In: DC, J. A. M. E. P. (Ed.). **Oxygen Uptake Kinetics in Sport** London, Routledge: Exercise and Medicine, 2005. p.294.

POOLE, D. C.; WARD, S. A.; GARDNER, G. W.; WHIPP, B. J. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. **Ergonomics**, v. 31, n. 9, p. 1265-1279, Sep 1988.

POOLE, D. C.; WARD, S. A.; WHIPP, B. J. THE EFFECTS OF TRAINING ON THE Metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 59, n. 6, p. 421-429, Jan 1990.

POWERS, S. K.; DODD, S.; BEADLE, R. E. Oxygen-uptake kinetics in trained athletes differing in VO_2max . **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 54, n. 3, p. 306-308, 1985 1985.

RODAS, G.; VENTURA, J. L.; CADEFEAU, J. A.; CUSO, R.; PARRA, J. A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. **European Journal of Applied Physiology**, v. 82, n. 5-6, p. 480-486, Aug 2000.

ROSS, A.; LEVERITT, M. Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training: Implications for sprint training and tapering. **Sports Medicine**, v. 31, n. 15, p. 1063-1082, 2001 2001.

ROSS, A.; LEVERITT, M.; RIEK, S. Neural influences on sprint running: training adaptations and acute responses. **Sports Medicine**, v. 31, n. 6, p. 409-425, 2001.

ROSTON, W. L.; WHIPP, B. J.; DAVIS, J. A.; CUNNINGHAM, D. A.; EFFROS, R. M.; WASSERMAN, K. Oxygen-uptake kinetics and lactate concentration during exercise in humans. **American Review of Respiratory Disease**, v. 135, n. 5, p. 1080-1084, May 1987.

SAHLIN, K.; HENRIKSSON, J. Buffer capacity and lactate accumulation in skeletal muscle of trained and untrained men. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 122, n. 3, p. 331-339, Nov 1984.

SCOTT, C. B.; ROBY, F. B.; LOHMAN, T. G.; BUNT, J. C. The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 23, n. 5, p. 618-624, May 1991.

SEILER, S.; SJURSEN, J. E. Effect of work duration on physiological and rating scale of perceived exertion responses during self-paced interval training. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 14, n. 5, p. 318-325, Oct 2004.

SIRI, W. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In: BROZEK, J. (Ed.). **Techniques for measuring body composition**. Washington: National Academy of Science, 1961.

SJODIN, B.; JACOBS, I. ONSET OF BLOOD LACTATE ACCUMULATION AND MARATHON RUNNING PERFORMANCE. **International Journal of Sports Medicine**, v. 2, n. 1, p. 23-26, 1981 1981.

SMITH, T. P.; COOMBES, J. S.; GERAGHTY, D. P. Optimising high-intensity treadmill training using the running speed at maximal O₂ uptake and the time for which this can be maintained. **European Journal of Applied Physiology**, v. 89, n. 3-4, p. 337-343, May 2003.

SMITH, T. P.; MCNAUGHTON, L. R.; MARSHALL, K. J. Effects of 4-wk training using V_{max}/T_{max} on VO₂max and performance in athletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 31, n. 6, p. 892-896, Jun 1999.

SOARES-CALDEIRA, L. F.; OKUNO, N. M.; SALES, M. M.; GRUBERT CAMPBELL, C. S.; SIMOES, H. G.; NAKAMURA, F. Y. Similarity in physiological and perceived exertion responses to exercise at continuous and intermittent critical power. **European Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 5, p. 1637-1644, May 2012.

SPINA, R. J.; CHI, M. M.; HOPKINS, M. G.; NEMETH, P. M.; LOWRY, O. H.; HOLLOSZY, J. O. Mitochondrial enzymes increase in muscle in response to 7-10 days of cycle exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 80, n. 6, p. 2250-2254, Jun 1996.

STEPTO, N. K.; HAWLEY, J. A.; DENNIS, S. C.; HOPKINS, W. G. Effects of different interval-training programs on cycling time-trial

performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 31, n. 5, p. 736-741, May 1999.

STEPTO, N. K.; MARTIN, D. T.; FALLON, K. E.; HAWLEY, J. A. Metabolic demands of intense aerobic interval training in competitive cyclists. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 33, n. 2, p. 303-310, Feb 2001.

SUTER, E.; HOPPELER, H.; CLAASSEN, H.; BILLETER, R.; AEBI, U.; HORBER, F.; JAEGER, P.; MARTI, B. Ultrastructural modification of human skeletal muscle tissue with 6-month moderate-intensity exercise training. **International Journal of Sports and Medicine**, v. 16, n. 3, p. 160-166, Apr 1995.

TABATA, I.; IRISAWA, K.; KOUZAKI, M.; NISHIMURA, K.; OGITA, F.; MIYACHI, M. Metabolic profile of high intensity intermittent exercises. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 29, n. 3, p. 390-395, Mar 1997.

TALANIAN, J. L.; GALLOWAY, S. D. R.; HEIGENHAUSER, G. J. F.; BONEN, A.; SPRIET, L. L. Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. **Journal of Applied Physiology**, v. 102, n. 4, p. 1439-1447, Apr 2007.

TONG, T. K.; CHUNG, P. K.; LEUNG, R. W.; NIE, J.; LIN, H.; ZHENG, J. Effects of non-wingate-based high-intensity interval training on cardiorespiratory fitness and aerobic-based exercise capacity in sedentary subjects: a preliminary study. **Journal of Exercise Science & Fitness**, v. 9, n. 2, p. 75-81, 2011 2011.

VANHATALO, A.; DOUST, J. H.; BURNLEY, M. A 3-min all-out cycling test is sensitive to a change in critical power. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 40, n. 9, p. 1693-1699, Sep 2008.

VANHATALO, A.; DOUST, J. H.; BURNLEY, M. A 3-min all-out cycling test is sensitive to a change in critical power. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 40, n. 9, p. 1693-1699, Sep 2008.

VANHATALO, A.; JONES, A. M.; BURNLEY, M. Application of critical power in sport. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 6, n. 1, p. 128-136, Mar 2011.

WASSERMA.K; WHIPP, B. J.; CASTAGNA, J. Cardiodynamic hyperpnea - hyperpnea secondary to cardiac-output increase. **Journal of Applied Physiology**, v. 36, n. 4, p. 457-464, 1974 1974.

WASSERMAN, K.; MCILROY, M. B. Detecting threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. **American Journal of Cardiology**, v. 14, n. 6, p. 844-&, 1964 1964.

WENGER, H. A.; BELL, G. J. The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. **Sports Medicine**, v. 3, n. 5, p. 346-356, Sep-Oct 1986.

WESTGARTHTAYLOR, C.; HAWLEY, J. A.; RICKARD, S.; MYBURGH, K. H.; NOAKES, T. D.; DENNIS, S. C. Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 75, n. 4, p. 298-304, Apr 1997.

WESTON, A. R.; MYBURGH, K. H.; LINDSAY, F. H.; DENNIS, S. C.; NOAKES, T. D.; HAWLEY, J. A. Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 75, n. 1, p. 7-13, Jan 1997.

WHIPP, B. J. The slow component of O₂ uptake kinetics during heavy exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 26, n. 11, p. 1319-1326, Nov 1994.

WHIPP, B. J.; WARD, S. A.; LAMARRA, N.; DAVIS, J. A.; WASSERMAN, K. Parameters of ventilatory and gas-exchange dynamics during exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 52, n. 6, p. 1506-1513, 1982 1982.

XU, F.; RHODES, E. C. Oxygen uptake kinetics during exercise. **Sports Medicine**, v. 27, n. 5, p. 313-327, May 1999.

ZIEMANN, E.; GRZYWACZ, T.; LUSZCZYK, M.; LASKOWSKI, R.; OLEK, R. A.; Gibson, a. l. aerobic and anaerobic changes with high-intensity interval training in active college-aged men. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 4, p. 1104-1112, Apr 2011.

ZOLADZ, J. A.; KORZENIEWSKI, B.; GRASSI, B. Training-induced acceleration of oxygen uptake kinetics in skeletal muscle: the underlying mechanisms. **Journal of Physiology and Pharmacology**, v. 57, p. 67-84, Nov 2006.