UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE DE RIBEIRÃO PRETO

GABRIEL LUCHES PEREIRA

Investigações sobre as contribuições energéticas anaeróbias em extensão dinâmica de joelhos: efeitos do treinamento anaeróbio e da aclimação à hipóxia

RIBEIRÃO PRETO

2021

GABRIEL LUCHES PEREIRA

Investigações sobre as contribuições energéticas anaeróbias em extensão dinâmica de joelhos: efeitos do treinamento anaeróbio e da aclimação à hipóxia

Versão Original

Dissertação apresentada à Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Educação Física e Esporte.

Área de Concentração: Atividade Física e Esporte

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Papoti

RIBEIRÃO PRETO

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

PEREIRA, Gabriel Luches

Investigações sobre as contribuições energéticas anaeróbias em extensão dinâmica de joelhos: efeitos do treinamento anaeróbio e da aclimação à hipóxia. Ribeirão Preto, 2021. 108 p.

Dissertação de Mestrado, apresentada à Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto/USP. Área de concentração: Atividade Física e Esporte.

Orientador: Papoti, Marcelo.

1. Déficit de oxigênio. 2. Contribuição energética anaeróbia. 3. Esforço exaustivo. 4. Extensão dinâmica de joelhos. 5. Hipóxia. 6. Treinamento intervalado de alta intensidade.

Nome: PEREIRA, Gabriel Luches. **Investigações sobre as contribuições energéticas anaeróbias em extensão dinâmica de joelhos: efeitos do treinamento anaeróbio e da aclimação à hipóxia.** 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2021.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

DEDICATÓRIA

“À minha família, por ser a minha base e por ser exemplo de carinho e união;

Aos meus amigos que estão juntos desde minha infância e que partilham até hoje momentos incríveis;

À minha família de Ribeirão Preto que tornou possível a construção de uma vida longe de casa agradável e intensa.

Ao meu querido irmão de coração João (Jango) (in memoriam) que agora nos olha do céu”

AGRADECIMENTOS

É indescritível a satisfação em poder estar no presente momento e poder escrever os agradecimentos desse trabalho. Apesar de alguns momentos difíceis inerente a todo processo importante, vivi momentos extremamente gratificantes, onde sempre esteve presente em minha trajetória a famosa “intensidade”. Após uma reflexão sobre todo o processo ao longo desses anos, tenho muito a agradecer.

Primeiramente, agradeço à minha família por permitir que eu chagasse até aqui. Vocês foram peças fundamentais, desde o dia que confiaram em mim para sair de casa aos 17 anos e até agora pelo apoio incondicional. Agradeço especialmente à minha mãe (Fabiana) que batalhou arduamente todos os dias para me proporcionar as condições necessárias para atingir esse feito tão grande. Vovô e vovó (Genival e Aidê), vocês também foram e são fundamentais em minha vida. Nunca mediram esforços para apoiar o “filho caçula”. Não tenho palavras para expressar o quão grato sou em ter vocês dois presentes até hoje.

Agradeço também ao meu orientador. Professor Marcelo, muito obrigado por todos os ensinamentos e por ser exemplo constante de liderança. Você é inspiração por sua conduta e humanidade com todos que te procuram. Até mesmo em suas “broncas”, consegue ser compreensível. Prof., bem que você me avisou que não seria apenas um “mestrado”, só não imaginava que a imersão no ambiente acadêmico seria tão profunda e gratificante. Obrigado por me proporcionar esse ambiente tão rico que foi muito além do laboratório. Espero ter retribuído, pelo menos em parte, às suas expectativas.

GECIFEX! Quantos momentos incríveis vieram à minha cabeça. Gostaria de compartilhar alguns deles aqui, mas para não correr o risco de ser inapropriado, espero em breve comemorar com vocês mais uma conquista e relembrar os grandes momentos. Obrigado pelo convívio diário, pelas amizades sinceras construídas, pela ajuda mútua, tanto em coletas ou discussões acadêmicas (sempre muito ricas), quanto nas mais variadas demandas da vida. Vocês fizeram o processo ser mais leve e gratificante. Quando dizemos nosso lema: “Mais que um lab, uma rep”, não estamos exagerando. Novamente, obrigado “gecilier/outfex” e todos seus integrantes.

Aproveito para estender meus agradecimentos aos coordenadores (Prof. Claudio e Prof. Fúlvio) e as integrantes do LAFAE (UNICAMP - Limeira), em especial ao João Pedro da Cruz, por sua prontidão em ajudar e por me acolher prontamente em seu apartamento. Agradeço também ao Prof. Pedro Scariot pela paciência em ajudar nas técnicas laboratoriais que eu tinha pouca familiaridade.

Agradeço também a EEFERP e a seus funcionários, professores e assistentes acadêmicos. Principalmente durante minha representação discente, tive a oportunidade de ter contato direto com os mais variados setores da Escola. Independente do qual (da CPG à manutenção), todos sempre foram muito atenciosos e solícitos, fazendo dessa Escola um ambiente tão agradável para todos.

Por fim, agradeço de coração aqueles que estavam presentes diariamente em minha vida ou que com pouco contato conseguiram agregar significativamente. Obrigado República Tradição por ainda ser o lugar que busco para confraternizar ou buscar ajuda de um amigo verdadeiro. Foram momentos inesquecíveis que pude viver com seus integrantes, com aprendizados diários. Obrigado Apartamento 53, por não ser apenas um local de moradia, mas sim um ambiente de amizade e união, acima de tudo. Finalmente, gostaria de agradecer a todos os alunos e profissionais que tive contato com a Triple Assessoria Esportiva e com meus alunos particulares da Luches Assessoria/Academia Água Viva. Vocês me deram a certeza de estar na profissão certa e aprendi muito com cada um.

Aos leitores desse trabalho, espero que tenham uma leitura agradável. Busquei trazer informações relevantes que foram adquiridas ao longo do meu curso e espero contribuir com um “degrau” para a área de ciências do esporte. Muitas delas estavam diretamente relacionadas aos experimentos, outras foram adquiridas ao longo do processo graças a pessoas que foram protagonistas no meu processo de formação. Gostaria de ressaltar meus sinceros agradecimentos ao Prof. Dr. Carlos Augusto Kalva Filho (“Beisso”) por toda a paciência desde os meus primeiros momentos no laboratório e por até hoje, mesmo distante, contribuir sempre que vou “atormentá-lo”. Por questões de formalidade você não foi meu coorientador, mas sua ajuda foi muito além das escritas em qualquer documento.

RESUMO

PEREIRA, Gabriel Luches. **Investigações sobre as contribuições energéticas anaeróbias em extensão dinâmica de joelhos: efeitos do treinamento anaeróbio e da aclimação à hipóxia**. 2021. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2021.

A determinação do déficit acumulado de oxigênio (AOD) é frequentemente utilizada para a determinação das contribuições energética anaeróbias (CAn). Apesar disso, existem limitações acerca dessa metodologia que ainda precisam ser elucidadas. Nesse contexto, a presente dissertação teve como objetivo retomar as investigações sobre as CAn sob um novo olhar metodológico. Para isso, foram conduzidos três experimentos com o modelo de extensão dinâmica de joelhos (EDJ) em um protótipo desenvolvimento pelo nosso grupo de pesquisa (i.e., ergômetro de Krogh; KE). O primeiro experimento (Manuscrito 1) comparou diferentes metodologias para a determinação da CAn. Ainda, foi investigado o efeito da quantidade de massa muscular ativa sobre esses cálculos. Para isso, foram recrutados vinte e quatro homens saudáveis. As CAn foram determinadas por meio da cinética do $\dot{V}O_2$ (AOD) e pela construção da relação $\dot{V}O_2$ -intensidade (MAOD) em EDJ unilateral e bilateral. O delineamento experimental foi composto de um teste incremental exaustivo (GXT), 2-4 esforços submáximos (construção da equação de demanda energética; TED) e um esforço exaustivo de intensidade constante (EXT) (~2-5 min). Foi verificado que o AOD é correlacionado ao desempenho em alta intensidade e deve ser utilizado em EDJ, especialmente no modelo unilateral. No Manuscrito 2, doze homens fisicamente ativos foram recrutados e submetidos a três dias de avaliação. No primeiro dia, foi realizado o GXT, seguido de dois EXT para verificar a reprodutibilidade do AOD em situação teste-reteste. Não foram encontradas diferenças ou efeitos significativos entre os momentos, com baixos erros sistemáticos. Apesar disso, as medidas de dispersão individual foram elevadas (CV = 35%). Ainda, foi realizado um estudo longitudinal com 14 homens participantes de diferentes tipos de modalidades esportivas recreacionais. Nesse estudo (Manuscrito 3), foi investigado o efeito de um período de treinamento (4 semanas) baseado em sprints repetidos (SIT), seguido de um período de polimento (6 sessões), associado ou não à exposição à hipóxia normobárica (~3500 m com 200 horas totais de exposição; Live High-Train Low) sobre variáveis anaeróbias. As avaliações foram realizadas em três momentos e seguiram os protocolos propostos no Manuscrito 2, mas com apenas um esforço EXT em cada momento. Foi verificado que o AOD é sensível ao

treinamento no modelo SIT mas que a aclimatação à hipóxia atenua essas adaptações. Nenhum efeito foi observado com a adição do período de polimento, independente do grupo estudado. Frente ao exposto, conclui-se que o AOD é uma ferramenta prática e que discrimina adaptações do metabolismo anaeróbio. Contudo, futuras investigações devem utilizar esse parâmetro com cautela, uma vez que sua reprodutibilidade é limitada. Além disso, novas investigações devem utilizar um protocolo de familiarização ao KE com maior duração ou com um período de treinamento prévio.

Palavras-chave: Déficit de oxigênio. 2. Contribuição energética anaeróbia. 3. Esforço exaustivo. 4. Extensão dinâmica de joelhos. 5. Hipóxia. 6. Treinamento intervalado de alta intensidade. 7. Estresse ambiental. 8. Viver alto e treinar baixo.

ABSTRACT

PEREIRA, Gabriel Luches. **Investigations about anaerobic energetic contributions in knee-extensor exercise: effects of anaerobic training and acclimatization to hypoxia**. 2021. 106 p. Dissertation (Master's in sciences) – School of Physical Education and Sport of Ribeirão Preto, University of São Paulo, Ribeirão Preto, 2021.

Accumulated oxygen deficit (AOD) determination is a common strategy to determine anaerobic energy contributions (CAn); however, their limitations remain to be elucidated. Thus, the present dissertation aimed to investigate the CAn with a different perspective. Therefore, it was conducted three experiments with the knee-extensor model (DKE) in a prototype constructed by our laboratory (i.e., Krogh ergometer; KE). The first experiment (Manuscript 1) aimed to compare different methodologies to determine the CAn. Also, it was investigated the effect of active muscle mass on these calculations. Twenty-four healthy male were recruited. The CAn was determined by the $\dot{V}O_2$ kinetics (AOD) and through the $\dot{V}O_2$ -intensity relationship in one-legged or two-legged knee-extensor exercise. The experimental design was composed by a graded exercise test (GXT), 2-4 submaximal efforts (construction of $\dot{V}O_2$ -intensity relationship) and a constant-load exhaustive effort (EXT; ~2-5 min fatigue). It was found that AOD was associated to high-intensity performance and should be utilized in DKE, especially in one-legged exercise. In Manuscript 2, twelve physically active male were recruited and submitted to three days of tests. In Day 1, a GXT was performed, followed by two EXT bouts to verify AOD's test-retest reliability. No significant differences or effects were found between the moments, with low systematic error. Nevertheless, the individual variation was high (CV = 35%). Also, it was conducted a longitudinal study with fourteen male, enrolled with different recreational exercise modalities. In this study (Manuscript 3), it was investigated the effect of a training period (4 weeks) based on sprint interval training (SIT), followed by a taper period (6 sessions), associated or not to normobaric hypoxia (~3500 m with 200 hours exposure; Live High-Train Low) in the anaerobic variables. The evaluation protocol was conducted in three different moments and follow the same general procedures of Manuscript 2 with only one EXT in each period. It was verified that the AOD was sensitive to discriminate SIT's training effects, but the hypoxic adaptation blunts these adaptations. No effects were observed after the taper period, irrespective of the experimental group. Thus, it was shown that AOD was a practical tool to discriminate anaerobic metabolism adaptations. Although further investigation must

apply these parameter with caution since its reliability is limited. Also, future studies should emphasize the familiarization protocol or a lead-in period.

Keywords: 1. Oxygen deficit. 2. Anaerobic energetic contribution. 3. Exhaustive effort. 4. Dynamic knee extension. 5. Hypoxia. 6. High intensity interval training. 7. Ambiental stress.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Representação ilustrativa do comportamento do sinal da força durante a extensão dinâmica de joelhos (EDJ).....	39
Figure 3.2 – Ilustração da determinação do máximo déficit acumulado de oxigênio no presente estudo.	40
Figura 3.3 - Relação linear entre o consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) e a força aplicada durante os três esforços submáximos (5 min) em extensão dinâmica unilateral de joelhos (EXP ₁).....	43
Figura 3.4 - Valores absolutos e individuais nas duas metodologias investigadas (MAOD x AOD) em extensão dinâmica unilateral de joelhos (EXP ₁).....	43
Figure 3.5 - Relação linear entre o consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) e a força aplicada durante os quatro esforços submáximos (7 min) em extensão dinâmica bilateral de joelhos (EXP ₂).....	46
Figure 3.6 - Valores absolutos e individuais nas duas metodologias investigadas (MAOD x AOD) em extensão dinâmica bilateral de joelhos (EXP ₂).....	46
Figura 4.1 - Déficit Acumulado de Oxigênio (AOD) e inferências estatísticas.....	59
Figura 4.2 - Análise gráfica de Bland e Altman para o Déficit Acumulado de Oxigênio (AOD).....	59
Figura 4.3 - Regressões lineares entre as diferenças teste-reteste (Δ 's) entre as variáveis fisiológicas e de desempenho e a variação no Déficit Acumulado de Oxigênio (Δ AOD).....	61
Figura 5.1 - Variação percentual do Déficit Acumulado de Oxigênio (AOD) após o período de treinamento comparado com o baseline.....	78
Figura 5.2 - Variação percentual do Déficit Acumulado de Oxigênio (AOD) após o período de polimento comparado com o baseline.....	79
Figura 5.3 - Variação percentual do Déficit Acumulado de Oxigênio (AOD) após o período de polimento comparado com o período pós treinamento.....	79
Figura 5.4 - Déficit Acumulado de Oxigênio (AOD) relativizado (i.e., perna treinada/perna controle) nos diferentes momentos.....	80
Figura 5.5 - Coeficiente de correlação de Pearson (r) (intervalo de confiança; IC95%) entre as variáveis de desempenho e o Déficit Acumulado de Oxigênio (AOD).....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Características antropométricas dos participantes em ambos os experimentos.....	35
Tabela 3.2 – Variáveis fisiológicas obtidas após o teste incremental exaustivo (GXT) em extensão dinâmica unilateral de joelhos (EXP ₁).....	42
Tabela 3.3 - Parâmetros médios obtidos pela regressão linear entre os valores submáximos de $\dot{V}O_2$ e a intensidade de exercício (N) em extensão dinâmica unilateral de joelhos (EXP ₁).....	42
Tabela 3.4 – Variáveis fisiológicas e de desempenho obtidas após o esforço exaustivo no EXP ₁	42
Tabela 3.5 - Coeficientes de correlação de Pearson bayesiano (r) entre o desempenho e os índices anaeróbios (EXP ₁).....	45
Tabela 3.6 – Variáveis fisiológicas obtidas após o teste incremental exaustivo (GXT) em extensão dinâmica bilateral de joelhos (EXP ₂).....	45
Tabela 3.7 - Parâmetros médios obtidos pela regressão linear entre os valores submáximos de $\dot{V}O_2$ e a intensidade de exercício (N) em extensão dinâmica bilateral de joelhos (EXP ₂).....	45
Tabela 3.8 - Variáveis fisiológicas e de desempenho obtidas após o esforço exaustivo no EXP ₂	45
Tabela 3.9 - Coeficientes de correlação de Pearson bayesiano (r) entre o desempenho e os índices anaeróbios (EXP ₂).....	47
Tabela 4.1 - Variáveis obtidas ao final do teste incremental até a exaustão (TIE). Os dados estão apresentados em média (desvio padrão) (n=12).....	60
Tabela 4.2 - Parâmetros fisiológicos e desempenho observados após o esforço exaustivo (EXT) nas situações teste e reteste (n = 12). Os dados estão apresentados em média (desvio padrão).....	61
Tabela 5.1 - Parâmetros fisiológicos e desempenho observados após o esforço exaustivo (EXT) obtidos ao longo da intervenção no grupo hipóxia (GH) e grupo normóxia (GN).....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AOD	Déficit acumulado de oxigênio
$\dot{A}\dot{V}O_2$	Integral do $\dot{V}O_2$ ao longo do esforço
BF ₁₀	<i>Bayes factor hypothesis testing</i>
CAn	Contribuição energética anaeróbia
CI	Intervalo de confiança
CR	Intervalo de credibilidade
CV	Coefficiente de variação
<i>d</i>	Tamanho do efeito de <i>Cohen's</i>
EDJ	Extensão dinâmica de joelhos
EPO	Eritropoietina
ET	Erro típico
ES	Tamanho do efeito
ES _K	Coefficiente de concordância de Kendall's
ES _Z	Tamanho do efeito para WSR
EXP ₁	Experimento 1
EXP ₂	Experimento 2
EXT	Esforço exaustivo de intensidade constante
FiO ₂	Fração inspirada de oxigênio
FC	Frequência cardíaca
GXT	Teste incremental até a exaustão
<i>H</i>	Análise de variância de Kruskal-Wallis
HIF	<i>Hypoxia-inducible factor</i>
HIIT	<i>High Intensity Interval Training</i>
IQR	Intervalo interquartil
$i\dot{V}O_{2\text{máx}}$	Intensidade relativa ao consumo máximo de oxigênio
ICC	Coefficiente de correlação intraclasse
KE	Ergômetro de Krogh
LH-TL	<i>Live High-Train Low</i>
LH-C	<i>Live High-Control</i>
LL-TL	<i>Live Low-Train Low</i>
LL-C	<i>Live High- Control</i>

LoA	Limite de concordância
MAOD	Máximo déficit acumulado de oxigênio
M1	Primeira avaliação
M2	Segunda avaliação
M3	Terceira avaliação
p_{adj}	p ajustado pela correção de Bonferroni
PWR _{ext}	Intensidade do esforço exaustivo
PPO	Potência pico
OD	Déficit de oxigênio
OS	Objetivo da sessão
r	Coefficiente de correlação de Pearson
r^2	Coefficiente de determinação
RER	Coefficiente respiratório
RPE	Percepção subjetiva de esforço
SEM	<i>Standard error of measurement</i>
SDD	<i>Smallest detectable difference</i>
SG	Objetivo da sessão
SIT	<i>Sprint Interval Training</i>
SpO ₂	Saturação periférica de oxigênio
TED	Demanda energética teórica
TED _{AOD}	Demanda energética teórica pela cinética do $\dot{V}O_2$
TED _{EX}	Demanda energética teórica pela relação $\dot{V}O_2$ -intensidade
T _{Lim}	Tempo até a exaustão
TIE	Teste incremental até a exaustão
TT	Trabalho total mecânico
TZ	Tempo em Zona
U	Teste de Mann-Whitney
$\dot{V}E$	Ventilação minuto
$\dot{V}E/\dot{V}O_2$	Equivalente de O ₂
$\dot{V}E/\dot{V}CO_2$	Equivalente de CO ₂
$\dot{V}O_2$	Consumo de oxigênio
$\dot{V}O_{2baseline}$	Linha de base do consumo de oxigênio
$\dot{V}O_{2exh}$	Maiores médias a cada 5 s no consumo de oxigênio
$\dot{V}O_{2GXT}$	Maiores médias a cada 30 s no consumo de oxigênio durante o GXT

$\dot{V}O_{2\text{máx}}$	Consumo máximo de oxigênio
$\dot{V}O_{2\text{pico}}$	Consumo de oxigênio pico
$\dot{V}O_{2\text{SC}}$	Componente lento do $\dot{V}O_2$
$\dot{V}CO_2$	Produção de dióxido de carbono
VT_1	Primeiro limiar ventilatório
WSR	Wilcoxon <i>signed-rank</i>
VT_2	Segundo limiar ventilatório
Z1	Primeira zona de treinamento
Z2	Segunda zona de treinamento
Z3	Terceira zona de treinamento
ΔAOD	Variação percentual do AOD
χ^2	Análise de variância de Friedman
η_H^2	<i>eta-squared</i> para Kruskal-Wallis
η_U^2	<i>eta-squared</i> para Mann-Whitney

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO DO DOCUMENTO	19
1.1	Ingresso no curso e elaboração da temática	20
1.2	Atividades desenvolvidas	21
2	CONTEXTUALIZAÇÃO	27
2.1	Objetivo Geral	30
2.2	Objetivos Específicos	30
3	MANUSCRITO 1	33
3.1	Introdução	33
3.2	Materiais e Métodos	35
3.3	Resultados	41
3.4	Discussão	47
3.5	Conclusão	50
4	MANUSCRITO 2	53
4.1	Introdução	53
4.2	Materiais e Métodos	55
4.3	Resultados	58
4.4	Discussão	63
4.5	Conclusão	65
5	MANUSCRITO 3	67
5.1	Introdução	67
5.2	Materiais e Métodos	69
5.3	Resultados	76
5.4	Discussão	85
5.5	Conclusão	92
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
6.1	Conclusões da dissertação	95
	REFERÊNCIAS	97

CAPÍTULO 1 – APRESENTAÇÃO DO DOCUMENTO

1 APRESENTAÇÃO DO DOCUMENTO

A presente dissertação foi redigida como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Educação Física e Esporte – EEFERP/USP. O texto foi dividido em diferentes capítulos com objetivos específicos, onde o leitor pode acessá-los rapidamente por meio de *hiperlinks*. O atual capítulo (**Capítulo 1**) compreende uma breve apresentação de como foi elaborado o documento, em um esforço de deixar sua leitura didática e agradável. Ainda, nesse capítulo foi apresentada a temática da dissertação e as principais atividades desenvolvidas pelo autor ao longo do período do seu curso.

O **Capítulo 2** aborda a contextualização e as perguntas norteadoras dos diferentes trabalhos que foram redigidos. Foram elaborados três manuscritos onde o principal objeto de estudo foi a determinação das contribuições energéticas anaeróbias (CAn) por meio do déficit acumulado de oxigênio (AOD). Em ambos os trabalhos, foi utilizado o modelo de exercício de extensão dinâmica de joelhos (EDJ). O EDJ permite um padrão de movimento no qual o *Quadriceps Femoris* é o principal responsável pelas alterações metabólicas requeridas para a contração muscular, proporcionando um maior controle sobre a estimativa da CAn. Apesar das vantagens metodológicas que a utilização desse exercício promove, problemas metodológicos ainda precisavam ser investigados. Desse modo, foram conduzidos dois experimentos para a padronização da determinação do AOD no modelo de EDJ. O primeiro manuscrito (**Capítulo 3**) comparou a determinação do AOD pelo protocolo convencional mais utilizado na literatura (i.e., extrapolação das contribuições submáximas; MAOD) e pela metodologia proposta inicialmente (i.e., cinética do consumo de oxigênio; AOD). Nesse trabalho ainda foi investigado a influência de diferentes quantidades de massa muscular ativa sobre as variáveis estudadas.

O segundo manuscrito está apresentado no **Capítulo 4**, no qual foi testada a reprodutibilidade teste-reteste do AOD e de parâmetros de desempenho de alta intensidade. Após a investigação aprofundada sobre a CAn nesse modelo de exercício, essa metodologia foi aplicada em um estudo longitudinal. No terceiro manuscrito (**Capítulo 5**) foi investigada a sensibilidade do AOD após um período experimental de treinamento com ênfase em estímulos anaeróbios (4 semanas). De maneira complementar, foi verificado o efeito adicional de um período de polimento (6 sessões de treinamento) sobre essas adaptações. Também foi objetivo desse estudo verificar as adaptações ao treinamento são complementadas com a aclimação à altitude (i.e., modelo LH-TL; ~3500 m). As considerações finais e conclusão geral do trabalho estão apresentadas no **Capítulo 6**.

É importante ressaltar que o desenvolvimento do estudo do **Capítulo 5** fez parte do projeto de auxílio regular do laboratório do Prof. Dr. Marcelo Papoti (Processo FAPESP nº 16/12781-5), intitulado: “Adaptações metabólicas, hematológicas e neuromusculares provenientes do treinamento “dormir alto treinar baixo”, seguido de um período de polimento: um estudo duplo-cego e randomizado”. As análises referentes às contribuições anaeróbias em esforço exaustivo por meio do cálculo do AOD foram apresentadas aqui e os resultados são originais.

Esse trabalho foi confeccionado no modelo “escandinavo”, no qual o conhecimento produzido é apresentado no formato de artigos aptos para a submissão em periódicos. Esse modelo enfatiza a objetividade, mas são perdidas muitas informações sobre as atividades complementares desenvolvidas durante o curso. No próximo tópico, irei apresentar informações que estão além dos manuscritos, mas que foram essenciais para a construção da minha formação.

1.1 Ingresso no curso e elaboração da temática

Ainda na graduação, em agosto de 2016 iniciei minha participação no Grupo de Estudos em Ciências Fisiológicas e Exercício, coordenado pelo Prof. Dr. Marcelo Papoti. O contato inicial deu-se por meio da realização de uma bolsa de extensão e pesquisa do Programa Unificado de Bolsas - USP. A decisão em integrar o grupo influenciou minha trajetória acadêmica, profissional e pessoal de uma maneira indescritível, onde tive a satisfação em fazer parte de maneira ativa do grupo e da rotina laboratorial promovida pelos integrantes. Essa relação consolidou-se no início de 2018, momento em que tive a oportunidade de ingressar no curso de Mestrado, na linha de pesquisa “Aspectos Biodinâmicos da Atividade Física e do Esporte”.

Mesmo com nossos esforços, a execução das análises previamente propostas foi inviabilizada. Inicialmente, iríamos investigar as adaptações moleculares anaeróbias decorrentes da exposição à altitude. Apesar de todos os tecidos provenientes das biópsias musculares já estarem preparados no Laboratório de Fisiologia Aplicada ao Esporte (LAFAE), coordenado pelo Prof. Dr. Claudio Alexandre Gobatto, não foi possível realizar a compra dos anticorpos necessários. Além disso, nosso acesso ao laboratório foi limitado durante a pandemia da COVID-19. Gostaria de agradecer a colaboração do Prof. Claudio e da Profa. Dra. Fúlvia de Barros Manchado Gobatto pela oportunidade de frequentar o LAFAE e pela experiência

promovida pelos integrantes do grupo, principalmente pelo Prof. Dr. Pedro Paulo Menezes Scariot. Acreditamos que essas análises serão conduzidas em breve.

Diante desse obstáculo, vimos a necessidade de adaptar a proposta da minha dissertação. Continuamos as investigações sobre o metabolismo anaeróbio, mas com uma metodologia que é conduzida por meio das análises ventilatórias. Logo, procuramos investigar o efeito do modelo de exposição à hipóxia ambiental (*Live High-Train Low*; LHTL) sobre as contribuições energéticas anaeróbias estimadas pelo déficit acumulado de oxigênio (AOD). Apesar da aplicabilidade dessa análise, investigações eram necessárias para verificar a sua validade e reprodutibilidade no modelo de extensão dinâmica de joelhos (EDJ). Com o objetivo que responder essas questões, a presente dissertação foi elaborada.

1.2 Atividades desenvolvidas

Alguns momentos foram determinantes para minha formação ao longo do curso. Logo após meu ingresso, participei do 53º Curso de Verão em Fisiologia promovido pelo Departamento de Fisiologia da FMRP – USP, com duração total de 80 horas. Esse curso me proporcionou novas experiências na área da fisiologia básica e experimentação animal, como a técnica para determinação de concentrações de glicogênio e a modulação neural da respiração em condições de hipóxia. Esse contato despertou um grande interesse em me aprofundar nas investigações sobre as adaptações moleculares promovidas pelo exercício. Nesse curso fiz uma apresentação (Pôster) com o título: “*O Grupo de Estudos em Ciências Fisiológicas e Exercício e suas principais linhas de pesquisa*”.

Ainda no início de 2018, participei da execução de projetos de Mestrado e Doutorado vinculados ao nosso laboratório. Os objetivos foram: Verificar o “*Efeito da depleção do glicogênio na resposta à fadiga em diferentes domínios de intensidade*” (Doutorado), “*Uso da técnica de retro extrapolação para avaliação da aptidão aeróbia em militares*” (Academia da Força Aérea; Doutorado) e o “*Efeito da potencialização pós-ativação no desempenho de nadadores velocistas*” (Mestrado). Nesse período, fui eleito entre meus pares para os cargos de representação discente nos Colegiados da Congregação, da Comissão de Pós-Graduação e da Comissão Coordenadora do Programa de Aperfeiçoamento de Ensino – PAE (23 de abril de 2019 a 22 de abril de 2019), onde periodicamente participei de reuniões representando os pós-graduandos em decisões da EEFERP e da Pós-Graduação. Essas representações me proporcionaram a aproximação e aquisição de experiências com docentes de diferentes áreas

do conhecimento, introduzindo novos olhares para a carreira acadêmica e a atuação docente, aspectos que julgo de extrema importância para um mestrando.

Em junho de 2018, participei do 5º Congresso de Educação Física do IFSULDEMINAS – Campus Muzambinho, onde apresentei na modalidade comunicação oral o trabalho “*Comparação de diferentes critérios para a determinação do consumo máximo de oxigênio por meio da técnica de retro extrapolação em ciclistas*”, tendo sido premiado na área de Biodinâmica do Exercício Físico e Promoção de Saúde. No mesmo Congresso, participei como coautor dos trabalhos “*Relações entre conteúdo de glicogênio muscular e parâmetros de fadiga central e periférica*” e “*Relações entre parâmetros neuromusculares e o desempenho no esforço máximo de trinta segundos em nado atado*”.

Além de estar engajado com essas atividades, auxiliei nosso grupo de pesquisa a padronizar técnicas laboratoriais que eram necessárias para o desenvolvimento do auxílio regular FAPESP (16/12781-5). Liderei, então, as coletas de um estudo piloto que teve como objetivo comparar os efeitos de duas intensidades de exercício e sua reprodutibilidade para a determinação da capacidade anaeróbia (i.e., MAOD alternativo), uma das principais variáveis de interesse do projeto principal. Esse experimento também originou o segundo manuscrito, apresentado no **Capítulo 4**. Após a finalização do estudo piloto, observamos que eram necessárias alterações em nosso ergômetro (i.e., ergômetro de Krogh [KE]) para melhorar a mecânica e amplitude de movimento. Desse modo, auxiliei na reestruturação do equipamento que possuíamos e na construção de mais uma unidade, o que viabilizou a realização do nosso desenho experimental e garantiu um dispêndio temporal substancialmente menor. Durante os meses de agosto a setembro de 2018, com as técnicas necessárias já padronizadas, foram realizadas as coletas do experimento principal (**Capítulo 5**).

No dia 19 de março de 2019, realizei meu exame de qualificação com a presença do Prof. Dr. Enrico Fuini Puggina e do Prof. Dr. Alessandro Moura Zagatto. Após essa importante etapa, as considerações levantadas pela banca auxiliaram no olhar sobre nossos resultados e a abordagem experimental conduzida. Ainda no primeiro semestre de 2019, participei como assistente da disciplina de Fisiologia do Exercício 1 (60 horas; REF0008/EEFERP-USP) e como Vice-Coordenador do Projeto de Suporte Fisiológico (40 horas). Ainda, cursei o Estágio Supervisionado em Docência do Programa de Aperfeiçoamento de Ensino (PAE) na disciplina de Práticas Esportivas em Educação Física e Saúde (REF0061/EEFERP - USP), ministrada pelo Prof. Dr. Marcelo Papoti e Prof. Dr. Márcio Pereira Morato. Durante meu estágio, auxiliei na elaboração e andamento da disciplina, além de oferecer apoio extraclasse para os alunos. A disciplina possuía um caráter prático, onde os alunos desenvolveram um programa de

treinamento voltado para uma competição de Aquathlon (i.e., 500 m de natação e 5000 m de corrida). A proximidade com essas modalidades despertou meu interesse para também praticar e atuar de maneira mais próxima com modalidades de endurance. Com o objetivo de aprimorar meus conhecimentos com relação à prescrição do treinamento, tive a oportunidade de ser contratado para atuar na Triple Assessoria Esportiva, onde trabalhei até agosto de 2020.

O contato diário com atletas amadores e praticantes recreacionais me motivou a iniciar no *triathlon*, modalidade que pratico recreacionalmente até o presente momento. No segundo semestre de 2019, tive a oportunidade de auxiliar o Prof. Me. Matheus Silva Norberto a conduzir seu experimento na “Especialização em Triathlon – UNICAMP”, onde também participei como voluntário em prova simulada na distância *sprint*. Fui também coautor do seu trabalho intitulado: “*Efeitos da metformina sobre o desempenho, força muscular e parâmetro fisiológicos no triathlon: um estudo de caso*” publicado em forma de coletânea pela FEF-UNICAMP.

Outros trabalhos foram divulgados nesse período. Destaco minha participação no VII Congresso de Ciências do Desporto – UNICAMP, onde apresentei o trabalho: *Efeitos do modelo “Dormir Alto-Treinar Baixo” sobre a contribuição anaeróbia total durante extensão dinâmica unilateral de joelhos (Pôster)*. Fui ainda coautor dos trabalhos: “*Influência do modelo viver alto treinar baixo seguido de polimento na potência pico e limiares metabólicos*” e “*Efeito do período de polimento após 18 sessões de “dormir alto e treinar baixo” na contribuição anaeróbica total: um estudo duplo-cego controlado por placebo*”. Outros trabalhos foram divulgados com minha participação como colaborador: “*Effects of taper on glycogen content after an experimental 'living high training low': a double-blind placebo-controlled study*” no 24th Annual Congress of the European College of Sports Science; “*Effects of taper period on anaerobic performance in a 30s all-out one leg, after experimental 'sleep high and train low' training model*” e “*The effect of the 'live high and training low' training model in aerobic parameters in one-leg dynamic knee extension exercise*”, ambos no 54º Congresso Anual da SBFIS.

Ainda em 2019, auxiliei na preparação e execução dos experimentos de uma aluna de mestrado da Universidade Federal de Pernambuco. Sua pesquisa buscou investigar os efeitos da suplementação do nitrato de sódio no desempenho e modulação da fadiga (central e periférica) em ciclistas e em exercício controlado (i.e., EDJ). Concomitante a esse projeto, foram realizados os primeiros estudos do laboratório com a estratégia de “hipóxia intermitente de recuperação” em natação e corrida. Como resultado desses experimentos, assinei como colaborador dois manuscritos que estão submetidos em periódicos internacionais: “*Acute*

responses of “recovery intermittent hypoxia” during high-intensity interval training” e “Acute responses to intermittent hypoxia in recovery during sprint interval swimming training”.

No início de 2020, com a ajuda dos integrantes do LAFAE, preparamos as amostras de tecido muscular proveniente do projeto regular. Durante algumas visitas ao laboratório, foi possível me familiarizar com a técnica de *western blot* e as etapas iniciais necessárias (e.g., determinação do conteúdo de proteína total). Como dito anteriormente, as amostras estão armazenadas e esperamos finalizar esse experimento em breve. Entretanto, com o surgimento da pandemia e a necessidade do isolamento social, a execução de novos experimentos e a permanência no laboratório foi inviabilizada.

Por conta disso, os últimos meses foram destinados a redação de manuscritos e da presente dissertação. Dois deles foram recentemente aceitos para publicação. O primeiro é proveniente dos resultados dos experimentos envolvendo a construção e padronização do KE, liderados pelo Prof. Dr. Carlos Augusto Kalva Filho: “*A prototype for dynamic knee extension: Construction, force characterization and electromyographic responses*”. Além desse artigo, meu primeiro manuscrito como principal autor foi aprovado para publicação em um importante periódico na área de ciências do esporte (Fator de impacto: 1,432). Esse trabalho envolveu as coletas do auxílio regular FAPESP (13/15322-3): “*Backward extrapolation technique: analysis of different criteria after supramaximal exercise in cycling*”. Atualmente, mais dois manuscritos estão submetidos em periódicos internacionais. O primeiro é proveniente de uma tese de Doutorado com os resultados das análises aeróbias do auxílio regular (16/12781-5): “*Effects of the strategy of Living High and Training Low followed by a taper period on aerobic muscular adaptations*”. O outro manuscrito refere-se ao estudo do **Capítulo 3**, que recentemente foi submetido ao periódico *International Journal of Exercise Science* e encontra-se em processo de revisão.

Com relação ao meu histórico escolar, cumpri 26 créditos referentes a 6 disciplinas e em todas obtive nota máxima (conceito “A”). Ressalto que além das 2 disciplinas obrigatórias do nosso Programa, participei de disciplinas “optativas” que contribuíram significativamente para minha formação, como a “Estatística Aplicada a Educação Física e Esporte”, “Métodos Invasivos e Não Invasivos de Avaliação, Prescrição e Monitoramento do Treinamento Aeróbio e Anaeróbio”, “Didática para o Ensino Superior: Fundamentos Teóricos-Metodológicos (cursada na FMRP)” e “Adaptações Neuromusculares ao Treinamento de Força”. Além das disciplinas cursadas, recentemente fui convidado a participar como orientador no curso de especialização em “Nutrição, metabolismo e fisiologia do exercício físico - USP”. Atualmente

tenho auxiliado três alunos com diferentes formações profissionais a desenvolverem seus trabalhos de conclusão de curso.

Diante das informações expostas, esse capítulo teve como objetivo demonstrar as principais atividades desenvolvidas ao longo do meu curso. Além de liderar a execução dos experimentos que envolvem a presente dissertação, acredito que minha formação tenha sido complementada substancialmente. Ao longo desses últimos anos, procurei participar de atividades que iam além da rotina laboratorial. Nesse sentido, destaco minhas participações nas seguintes áreas:

- Representação discente em diferentes comissões;
- Estágio docente e de monitoria (PAE);
- Auxílio a estudantes de graduação em grupo de estudo;
- Orientação a estudantes em cursos de pós-graduação;
- Interação com outros laboratórios de pesquisa;
- Participação em eventos científicos da área;
- Envolvimento como voluntário em experimentos;
- Atividade profissional e prática regular em diferentes modalidades esportivas.

CAPÍTULO 2 – CONTEXTUALIZAÇÃO

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

O desempenho esportivo é dependente da contribuição integrada dos sistemas energéticos aeróbio e anaeróbio (alático e láctico) e a predominância de cada via metabólica é influenciada de acordo com a duração e intensidade do evento (GASTIN, 2001; SPENCER; GASTIN, 2001). Em provas de curta e média durações (e.g., 400 m e 800 m no atletismo; ~ 50 a 120 s em indivíduos treinados) isso é especialmente válido, com fornecimento energético significativo de ambos os metabolismos (DUFFIELD; DAWSON; GOODMAN, 2005). Dessa forma, a avaliação das respectivas contribuições energéticas é de grande interesse para as pesquisas em ciências do esporte, ampliando a possibilidade de uma prescrição mais assertiva do treinamento. Enquanto a contribuição aeróbia é prontamente determinada por meio do consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) (LEVINE, 2008; POOLE; JONES, 2017), a avaliação das contribuições anaeróbias é complexa e possui limitações importantes, com metodologias inviáveis na rotina esportiva ou com caráter invasivo (e.g., biópsia muscular) (BANGSBO, 1996; GASTIN, 1994). Por conta disso, a literatura ainda carece de investigações robustas para essa avaliação, dificultando as pesquisas relacionadas aos processos adaptativos anaeróbios.

Uma metodologia amplamente utilizada envolve o conceito de déficit de oxigênio (OD) (KARLSSON; SALTIN, 1970). O OD é calculado como a diferença entre o custo energético para um esforço (demanda energética teórica; TED) e a energia proveniente do sistema aeróbio (i.e., integral do $\dot{V}O_2$ ao longo do esforço; $A\dot{V}O_2$) (KARLSSON; SALTIN, 1970). Diferentes métodos são propostos para a determinação da TED (NOORDHOF; KONING; FOSTER, 2010). Usualmente, propõe-se a construção de uma regressão linear com valores submáximos de $\dot{V}O_2$ (i.e., relação $\dot{V}O_2$ -intensidade) (MEDBØ; MOHN; TABATA; BAHR *et al.*, 1988). Quando determinada em esforços exaustivos com durações entre 2 e 5 minutos, o “déficit” calculado por meio da extrapolação da relação $\dot{V}O_2$ -intensidade é associado à capacidade total anaeróbia (MAOD) (MEDBØ; MOHN; TABATA; BAHR *et al.*, 1988). Alternativamente, a TED pode ser calculada por meio da cinética do $\dot{V}O_2$ durante o esforço de interesse (WHIPP, 1994). Nesse modelo, os valores obtidos ao final do exercício ($\dot{V}O_{2pico}$) são extrapolados pela duração do esforço (AOD) (OZYENER; ROSSITER; WARD; WHIPP, 2003; WHIPP, 1994).

Foi demonstrado que o MAOD é uma metodologia válida para estimar a produção de energia anaeróbia (MEDBØ; MOHN; TABATA; BAHR *et al.*, 1988). Além disso, o MAOD é sensível ao treinamento anaeróbio (MEDBØ; BURGERS, 1990) e a exposição a hipóxia (FRIEDMANN; FRESE; MENOLD; BÄRTSCH, 2007). Contudo, a construção da relação $\dot{V}O_2$ -intensidade é inviável no contexto laboratorial e diversos fatores podem influenciar sua

precisão e, conseqüentemente, a estimativa da TED (NOORDHOF; KONING; FOSTER, 2010). Esses fatores incluem a duração, intensidade e número dos esforços submáximos, bem como o tipo de ação ou modalidade utilizada (NOORDHOF; KONING; FOSTER, 2010). Contrariamente, o AOD não depende dessa equação e apresenta grande viabilidade prática, uma vez que é determinado sem a necessidade de esforços prévios (KARLSSON; SALTIN, 1970).

Apesar da aplicabilidade do AOD, questões importantes sobre essa metodologia precisam ser elucidadas. Para sua aplicação em diferentes contextos experimentais, essa metodologia deve ser comparada com o protocolo considerado por alguns autores de “padrão ouro” (i.e., validade concorrente; comparação com o MAOD). Deve-se ainda verificar qual índice é melhor associado ao desempenho em altas intensidades (i.e., validade de constructo; *time trial*'s ou testes até a exaustão) (CURRELL; JEUKENDRUP, 2008). Além disso, o AOD deve refletir o mesmo fenômeno fisiológico quando os participantes são testados em diferentes momentos. Isso pode ser verificado após sua submissão a testes de reprodutibilidade teste-reteste (HOPKINS, 2000). A fim de evidenciar sua capacidade em discriminar adaptações não oxidativas, o AOD também deve ser sensível a um período de treinamento anaeróbio. O modelo de treinamento baseado no *Sprint Interval Training* (SIT) pode ser uma ferramenta interessante para promover essas adaptações, uma vez que foram observadas melhoras na capacidade de tamponamento, no conteúdo de glicogênio muscular e no desempenho após esse protocolo (BURGOMASTER; HEIGENHAUSER; GIBALA, 2006; GIBALA; LITTLE; VAN ESSEN; WILKIN *et al.*, 2006).

Em virtude do comprometimento do sistema oxidativo em ambientes com restrição de oxigênio (i.e., hipóxia), adaptações no metabolismo anaeróbio também são observadas sob essas condições (SEMENZA; ROTH; FANG; WANG, 1994). Os mecanismos responsáveis por essas adaptações são desencadeados em um objetivo de manter a integridade e homeostase dos diferentes sistemas do organismo (SEMENZA, 2006). Nesse contexto, atletas de diferentes modalidades são frequentemente submetidos a períodos de exposição a altitudes simuladas com o objetivo de obter adaptações provenientes dessa aclimação (MILLET; CHAPMAN; GIRARD; BROCHERIE, 2017). O modelo *Live High-Train Low* (LH-TL) parece ser uma alternativa interessante ao modelo tradicional de exposição (*Live High-Train Low*; LH-TH). No LH-TL, os participantes são submetidos à hipóxia nos seus momentos de recuperação ou sono, preservando a qualidade das sessões de treinamento (LEVINE; STRAY-GUNDERSEN, 1997). Apesar disso, os ganhos obtidos com essa estratégia podem ser marginais (BEJDER; NORDSBORG, 2018). Dessa forma, há a necessidade de utilizar uma abordagem com sensibilidade a essas adaptações.

A utilização do paradigma de Saltin é uma estratégia que pode diminuir a variabilidade interindividual (BOOTH, 2015). Nessa elegante abordagem experimental, cada participante tem apenas um membro inferior treinado e seu membro contralateral é utilizado como controle (BOOTH, 2015). Assim, as comparações entre os grupos submetidos às intervenções e os respectivos controles não sofrem influência da variabilidade biológica. Recentemente, nosso laboratório desenvolveu um protótipo desse ergômetro, que permite a realização do modelo de extensão dinâmica de joelhos (EDJ). Baseado em um ergômetro previamente validado (i.e., ergômetro de Krogh; KE) (ANDERSEN; ADAMS; SJAGAARD; THORBOE *et al.*, 1985), o KE permite a realização de movimentos bilaterais ou unilaterais e, conseqüentemente, a utilização do paradigma de Saltin (KALVA-FILHO; BARBIERI; DE ANDRADE; GOBBI *et al.*, 2020). Além disso, o modelo de EDJ pode aumentar a precisão nas estimativas anaeróbias, uma vez que nesse modelo de exercício a quantidade de massa muscular envolvida é controlada e as respostas fisiológicas obtidas são provenientes do grupamento muscular de interesse (BANGSBO, 1992; BANGSBO, 1996).

Além de um delineamento experimental robusto, o modelo em que as cargas de treinamentos são manipuladas ao longo da intervenção podem ser decisivos (LAURSEN, 2010; SEILER; KJERLAND, 2006). Para evidenciar as adaptações anaeróbias, devem ser aplicados frequentes estímulos em elevadas intensidades (i.e., próximas ou acima da $\dot{V}O_{2\text{máx}}$) (LAURSEN, 2010). Apesar disso, esse modelo de treinamento promove um elevado estresse fisiológico e quando períodos de elevada sobrecarga de treinamento são adicionados ao modelo de exposição à hipóxia, esse cenário pode ser agravado (SCHMITT; WILLIS; COULMY; MILLET, 2018). Portanto, a utilização de um período de polimento pode ser uma estratégia interessante para atenuar a fadiga residual desses protocolos (MUJICA; PADILLA, 2003). Contudo, no melhor do nosso conhecimento, nenhum estudo investigou o possível efeito adicional de um período de polimento após um protocolo com o modelo LH-TL baseado em sessões de SIT.

Frente ao exposto, a literatura vigente possui lacunas importantes relacionadas às metodologias de avaliação do metabolismo anaeróbio, bem como sobre as possíveis estratégias para promover suas adaptações. Nesse sentido, a presente dissertação procurou responder as seguintes perguntas:

- (i) A determinação das contribuições energéticas anaeróbias por meio do cálculo do AOD apresenta-se como uma alternativa viável comparada com o MAOD em EDJ? ([Manuscrito 1](#));

- (ii) Quando submetidos a repetidas avaliações, essa metodologia é reprodutível e apresenta valores consistentes? ([Manuscrito 2](#));
- (iii) O AOD é sensível para discriminar as adaptações provenientes de um período de treinamento anaeróbio? ([Manuscrito 3](#));
- (iv) A hipóxia normobárica promove ganhos adicionais no AOD quando comparado ao mesmo treinamento em normóxia? ([Manuscrito 3](#));
- (v) A adição de um período de polimento amplia essas respostas adaptativas? ([Manuscrito 3](#)).

Essas questões abordadas serão norteadoras do desenvolvimento dos três manuscritos descritos nos próximos capítulos.

2.1 Objetivo Geral

Propor a determinação da CAn por meio de uma metodologia não invasiva e com viabilidade prática (AOD) em exercício unilateral (EDJ), bem como investigar sua reprodutibilidade teste-reteste. Adicionalmente, essa metodologia foi aplicada em um estudo longitudinal, no qual buscou-se testar a sensibilidade desse procedimento após um período de treinamento anaeróbio, seguido de um período de polimento. Ainda, foi objetivo dessa dissertação verificar o possível efeito adicional da exposição à hipóxia normobárica sobre as adaptações anaeróbias.

2.2 Objetivos Específicos

- Comparar as contribuições anaeróbias determinadas pelo protocolo convencional (MAOD) e pelo cálculo do AOD em exercício de EDJ ([Manuscrito 1](#));
- Verificar a influência da quantidade de massa muscular ativa em cada metodologia ([Manuscrito 1](#));
- Propor uma metodologia (i.e., MAOD x AOD) para futuras investigações com o modelo de EDJ ([Manuscrito 1](#));
- Testar a reprodutibilidade teste-reteste do AOD e de parâmetros de desempenho em esforços exaustivos ([Manuscrito 2](#));
- Verificar se o AOD é sensível a um período de treinamento de alta intensidade (i.e., modelo *Sprint Interval Training*) e os possíveis efeitos adicionais de um período de polimento ([Manuscrito 3](#));

- Verificar o efeito de um período de exposição à hipóxia intermitente no modelo *Live High – Train Low* (~ 3,500 m) sobre o AOD e as variáveis associadas ao desempenho anaeróbio ([Manuscrito 3](#)).

CAPÍTULO 3 – MANUSCRITO 1

3 MANUSCRITO 1

As contribuições anaeróbias são influenciadas pela quantidade de massa muscular ativa e pela metodologia aplicada em exercício de extensão dinâmica de joelhos.

3.1 Introdução

Os sistemas anaeróbios (i.e., fosfatos inorgânicos de alta energia [anaeróbio alático] e via glicolítica [anaeróbio láctico]) fornecem energia para a ressíntese de ATP em uma taxa mais eficiente que o sistema aeróbio (GASTIN, 2001). Apesar disso, seus estoques são limitados e sua contribuição relativa diminui com a duração do exercício (SPENCER; GASTIN, 2001). Desse modo, o metabolismo anaeróbio é determinante em eventos de alta intensidade e curta duração, como em provas de 100 a 800 m rasos no atletismo (SPENCER; GASTIN, 2001) e de 50 a 400 metros na natação (CAMPOS; KALVA-FILHO; GOBBI; BARBIERI *et al.*, 2017). Uma vez associado à performance nesses eventos, sua determinação é imprescindível para a avaliação, prescrição e monitoramento do treinamento. Diferentemente da contribuição aeróbia que pode ser mensurada instantaneamente por meio da calorimetria indireta (i.e., consumo de oxigênio; $\dot{V}O_2$), a quantificação do metabolismo anaeróbio é complexa e carece de investigações robustas (BANGSBO; GOLLNICK; GRAHAM; JUEL *et al.*, 1990).

Investigações acerca das vias anaeróbias frequentemente são obtidas por meio de procedimentos invasivos (e.g., biópsia muscular) e a produção não oxidativa de ATP é calculada por meio de seus metabólitos (BANGSBO; GOLLNICK; GRAHAM; JUEL *et al.*, 1990). As contribuições anaeróbias também podem ser estimadas indiretamente por meio do déficit de oxigênio (OD), proposto inicialmente por Krogh e Lindhard (1920). O OD é atribuído ao atraso na resposta do $\dot{V}O_2$ no início do exercício, até que o *steady-state* seja atingido (BURNLEY; JONES, 2007) ou predito (OZYENER; ROSSITER; WARD; WHIPP, 2003). Esse “déficit” foi posteriormente denominado de déficit acumulado de oxigênio (AOD) e é calculado como a diferença entre o custo energético para uma determinada intensidade de exercício (TED) e a contribuição aeróbia total (área do $\dot{V}O_2$; $A\dot{V}O_2$). (BEARDEN; MOFFATT, 2000; OZYENER; ROSSITER; WARD; WHIPP, 2003; RIOJAS; VALENZUELA; MC; VINGREN *et al.*, 2020; VALENZUELA; RIOJAS; MC; VINGREN *et al.*, 2020).

O máximo AOD obtido em um esforço (MAOD) é atribuído à capacidade anaeróbia individual e representa, teoricamente, a quantidade total de energia que pode ser ressintetizada por esse metabolismo (MEDBØ; MOHN; TABATA; BAHR *et al.*, 1988; RIOJAS;

VALENZUELA; MC; VINGREN *et al.*, 2020). O MAOD é determinado em esforços exaustivos supramáximos com durações de 2-5 minutos, onde são obtidos seus maiores valores (i.e., depleção desses “estoques”) (MEDBØ; MOHN; TABATA; BAHR *et al.*, 1988). Apesar das críticas a seu respeito, essa metodologia é sensível em discriminar o nível de condicionamento anaeróbio (SCOTT; ROBY; LOHMAN; BUNT, 1991), em evidenciar suas adaptações ao treinamento de alta intensidade (MEDBØ; BURGERS, 1990) e a exposição à hipóxia (FRIEDMANN; FRESE; MENOLD; BÄRTSCH, 2007; MEDBØ; MOHN; TABATA; BAHR *et al.*, 1988).

Diferentes metodologias são encontradas na literatura para a estimativa da TED (ANDERSSON; MCGAWLEY, 2018; GASTIN, 1994). Em esforços onde não há a manifestação do componente lento de O_2 , a TED pode ser calculada pela cinética do $\dot{V}O_2$, sem a necessidade de esforços prévios (OZYENER; ROSSITER; WARD; WHIPP, 2003). Entretanto, o modelo mais utilizado para essas estimativas envolve a extrapolação de uma regressão linear construída com os dados submáximos de $\dot{V}O_2$ e de intensidade (MEDBØ; MOHN; TABATA; BAHR *et al.*, 1988). Contudo, sua aplicabilidade é questionável, uma vez que esse procedimento requer diversas visitas laboratoriais (BERTUZZI; FRANCHINI; UGRINOWITSCH; KOKUBUN *et al.*, 2010). Ainda, essa metodologia assume diversos pressupostos que podem não ser válidos em exercícios com grandes grupamentos musculares (BANGSBO, 1992; BANGSBO, 1996), uma vez que a quantidade de massa muscular ativa influencia sua determinação (BANGSBO; MICHALSIK; PETERSEN, 1993; WEBER; SCHNEIDER, 2000) e as amostras de tecido muscular do *Quadriceps Femoris* limitam as inferências para exercícios globais (BANGSBO, 1996; BANGSBO; MICHALSIK; PETERSEN, 1993).

Assim, investigações relacionadas às contribuições anaeróbias (e.g., AOD e MAOD) podem ser aperfeiçoadas utilizando um modelo de exercício com um grupamento muscular conhecido (GASTIN, 1994). O ergômetro de Krogh (KE) permite um modelo de exercício (extensão dinâmica de joelhos; EDJ) em que o principal agente motor é o grupamento muscular do *Quadriceps Femoris* (ANDERSEN; ADAMS; SJOGAARD; THORBOE *et al.*, 1985). Dessa forma, as respostas metabólicas obtidas refletem as consecutivas contrações musculares desse grupamento (KALVA-FILHO; BARBIERI; DE ANDRADE; GOBBI *et al.*, 2020), proporcionando estimativas do custo energético mais fidedignas (GASTIN, 1994). Bangsbo *et al.* (1990) utilizaram o modelo de EDJ e verificaram que o OD é associado aos produtos do metabolismo anaeróbio (i.e., lactato, ATP e CP), mas reforçam que essas estimativas não devem ser extrapoladas para outros modelos de exercício (BANGSBO, 1992).

Considerando a necessidade de uma ferramenta robusta para a estimativa das contribuições energéticas anaeróbias, o presente estudo buscou investigar as diferenças entre duas metodologias (i.e., AOD x MAOD) para a determinação do *status* anaeróbio com o modelo de exercício de EDJ, com diferentes quantidades de massa muscular envolvida. Nesse sentido, foram conduzidos dois experimentos. O primeiro foi realizado com o modelo de EDJ unilateral (EXP₁) e o segundo experimento utilizou a EDJ bilateral (EXP₂). Frente ao exposto, foi objetivo do presente estudo investigar o efeito da quantidade de massa muscular ativa nas contribuições anaeróbias. Ainda, buscou-se determinar qual metodologia exibe melhores correlações com o desempenho em esforços exaustivos de alta intensidade em diferentes modelos de exercício.

3.2 Materiais e Métodos

Participantes

Vinte e quatro homens participaram do presente estudo (Média (DP): idade 27 (1) anos; massa corporal 90 (3) kg; estatura 181 (2) cm). Foram realizados dois experimentos independentes, com diferentes participantes e períodos de coletas. As características dos sujeitos incluídos em cada experimento estão demonstradas na **Tabela 1**. Todos os voluntários eram saudáveis e fisicamente ativos, envolvidos em um diversas modalidades esportivas (e.g., triathlon, ciclismo, treinamento de força e esportes coletivos) em nível recreativo. Ainda, os participantes eram familiarizados com o modelo de exercício empregado, com participações em experimentos anteriores. Eles foram instruídos a manterem seus hábitos de treinamento, sono e dieta durante todo o experimento. Todos os participantes foram informados sobre os procedimentos e potenciais riscos do estudo e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE), anteriormente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto.

Tabela 3.1 - Características antropométricas dos participantes em ambos os experimentos.

	Experimento 1	Experimento 2
n	17	7
Idade, anos	25 (3)	28 (4)
Altura, cm	180 (5)	183 (8)
Massa corporal, kg	84 (16)	94 (11)

Delineamento Experimental

Os EXP₁ e EXP₂ seguiram os mesmos procedimentos, com exceção da quantidade de massa muscular envolvida e de alguns ajustes metodológicos. O EXP₁ foi conduzido com o modelo de EDJ unilateral, no qual a perna submetida aos protocolos experimentais foi escolhida de maneira aleatória e a perna contralateral permaneceu passiva durante todos os esforços. O EXP₂ foi baseado no modelo de EDJ bilateral, onde as duas pernas realizaram o movimento de extensão de joelho simultaneamente. Em ambos os estudos, o delineamento experimental foi executado em um período de dez dias, com um intervalo mínimo entre os protocolos de 24 h. As avaliações seguiram a seguinte ordem: (i) teste incremental até a exaustão (GXT) para a determinação da potência pico (PPO); (ii) 2-4 esforços constantes com intensidades de 20-80% da PPO para a determinação da relação $\dot{V}O_2$ -intensidade; (iii) esforço de intensidade constante até a exaustão voluntária (EXT) com duração entre 2-3 minutos, aproximadamente. A exaustão no GXT e no EXT foi caracterizada com a incapacidade do indivíduo em manter a cadência determinada por mais de 10 s, mesmo com forte encorajamento verbal.

Todos os esforços foram conduzidos em um protótipo para a EDJ (i.e., ergômetro de Krogh; KE) (ANDERSEN; ADAMS; SJAGAARD; THORBOE *et al.*, 1985). Esse protótipo foi desenvolvido pelo nosso laboratório e permite um padrão de movimento onde os músculos da região anterior da coxa são os agentes primários (i.e., *Quadriceps Femoris*) (KALVA-FILHO; BARBIERI; DE ANDRADE; GOBBI *et al.*, 2020). Nesse KE, ambos os modelos unilaterais (EXP₁) e bilaterais (EXP₂) são facilmente realizados por meio de pequenos ajustes nas conexões metálicas do ergômetro. Com o objetivo de minimizar os efeitos de aprendizagem a esse modelo, foram conduzidas sessões com esforços com intensidades (máximos e submáximos) e durações variáveis (2-15 min). O protocolo de familiarização foi completado em um período mínimo de 24 h antes do início do experimento principal.

Modelo de exercício - Ergômetro de Krogh (KE)

Para detalhes sobre a construção, caracterização dos sinais eletromiográficos e de força e aplicabilidade do KE, consulte Kalva-Filho *et al.* (2020). Resumidamente, nesse aparato o pedal de um cicloergômetro (Monark 828, Vansbro, Suécia) é substituído por uma haste metálica, conectada ao tornozelo dos participantes por uma bota de aço inoxidável. Células de carga são posicionadas em um semicírculo (EXP₂) ou em uma prolongação da haste (EXP₁), permitindo a aquisição constante da força aplicada. O ajuste do tronco e do quadril dos participantes no KE é realizado a 90° na posição sentada, onde estes são fixados por meio de um cinto de 4 pontas de costas para o cicloergômetro. No KE, o movimento de pedala é

substituído por movimentos cíclicos de extensão de joelhos, onde a perna volta à posição inicial (i.e., flexão de joelhos) de maneira passiva. Desse modo, as repostas metabólicas (e.g., $\dot{V}O_2$, lactato sanguíneo e frequência cardíaca) são atribuídas aos músculos do *Quadriceps*, com pequena ou insignificante contribuição dos isquiotibiais ou músculos estabilizadores (ANDERSEN; ADAMS; SJAGAARD; THORBOE *et al.*, 1985; KALVA-FILHO; BARBIERI; DE ANDRADE; GOBBI *et al.*, 2020).

A determinação da força e da potência gerada no KE podem ser determinadas de maneira semelhante a um cicloergômetro convencional (KALVA-FILHO; BARBIERI; DE ANDRADE; GOBBI *et al.*, 2020), com o ajuste das cargas realizados instantaneamente por meio de uma manivela (i.e., visor com unidade de medida em *kilopounds*). Apesar disso, essas intensidades são apenas valores médios da potência externa aplicada pelo ergômetro, e não refletem a real força produzida no movimento de interesse (FERGUSON; AAGARD; BALL; SARGEANT *et al.*, 2000). Portanto, foram desenvolvidas rotinas específicas em ambiente Matlab® (Matlab® R2018b, MathWorks® Inc., MA, EUA) para a determinação da intensidade aplicada nas células de carga. Essas análises foram realizadas após a finalização do experimento.

Instrumentação

Para a análise da força, foram utilizadas células de carga equipadas com transdutores (extensômetro) (250 kg de capacidade; CSR-1T, MK Controle, São Paulo, Brasil), conectadas à uma placa de aquisição (NI-USB 6009, National Instruments®) e amplificador de sinais (Output 0 to 10 VDC; CSR-1T, MK Controle e Instrumentação, São Paulo, Brasil). As calibrações do sistema foram realizadas periodicamente com a sobreposição de pesos conhecidos (8 pesos; 0 a 10,2 kg), permitindo a conversão do sinal em mV para Newton (N). A frequência de aquisição foi estabelecida em 1000 Hz e os sinais foram posteriormente suavizados com filtro digital *Butterworth* de ordem 5, com uma frequência de corte passa-banda de 0,3 e 5 Hz. Todos os procedimentos para aquisição e tratamento dos sinais foram realizados em ambiente Matlab® (Matlab® R2018b, MathWorks® Inc., MA, EUA).

Os sinais ventilatórios foram obtidos por um analisador metabólico (Quark CPET or K4b2, Cosmed, Itália), conectados aos participantes por uma máscara oronasal (7450 Series Silicone V2™, Hans Rudolph Inc., EUA), permitindo amostras a cada respiração. Para aprimorar as repostas fisiológicas e para padronizar o intervalo entre cada valor obtido, os dados foram interpolados a cada segundo (Origin 8, Microcal, MA, EUA). Antes dos esforços, os participantes permaneceram sentados por aproximadamente cinco minutos para o registro

dos valores correspondentes a linha de base ($\dot{V}O_{2\text{baseline}}$). As calibrações foram realizadas de acordo com as recomendações do fabricante. Para isso, foram utilizados o ar ambiente e uma mistura gasosa contendo 16% de O_2 e 5% de CO_2 (White Martins, Osasco, SP, Brasil) e o ventilômetro foi calibrado com uma seringa de 3 L (Hans Rudolph Inc., EUA).

Teste incremental exaustivo (GXT)

Após cinco (EXP₁) ou sete (EXP₂) minutos de aquecimento a 13 W, um esforço progressivo foi conduzido com incrementos de $13W \cdot \text{min}^{-1}$. A PPO foi atribuída à potência do último estágio completo ou ajustada de acordo com a fórmula de Kuipers (2003) (**Equação 1**) nos casos em que a exaustão ocorreu durante os estágios.

$$\text{PPO (W): } PC + ([T \cdot D^{-1}] \cdot I) \text{ (Equação 1)}$$

Onde: PC é a potência do último estágio completo; T é a permanência no estágio incompleto, D é a duração dos estágios (60 s); I é a intensidade dos incrementos (i.e., 13 W).

A frequência cardíaca (FC) foi monitorada por meio de uma cinta peitoral, integrada com a interface do analisador de gases. As médias dos últimos 30 s de cada estágio foram utilizadas para os dados ventilatórios e de FC. A escala de percepção subjetiva de esforço (10 pontos - RPE) foi monitorada em todos os esforços por meio da escala de 10 pontos (FOSTER, 2001). Os maiores valores de FC, RPE, coeficiente respiratório (RER) e ventilação minuto ($\dot{V}E$) foram considerados. Ainda, as maiores médias no $\dot{V}O_2$ foram denominadas $\dot{V}O_{2\text{GXT}}$.

Esforços submáximos e exaustivos

Os esforços submáximos e exaustivos foram precedidos do mesmo aquecimento realizado no GXT. Em ambos os experimentos, 2-4 esforços submáximos de intensidade constante foram aplicados com durações de 5 (EXP₁) ou 7 (EXP₂) minutos. As intensidades variaram de 20-85% da PPO e foram conduzidos para a construção da relação $\dot{V}O_2$ -intensidade. O $\dot{V}O_2$ para essas análises foi considerado como as maiores médias a cada 30 s. De maneira complementar, os sujeitos foram submetidos a um EXT que resultou em interrupção voluntária do exercício em 2-3 min. A intensidade do EXT foi aproximadamente 100% e 110% da PPO nos EXP₁ e EXP₂, respectivamente. Ainda, esse esforço foi utilizado para a determinação do tempo até a exaustão (T_{lim}) e $A\dot{V}O_2$. Considerando a cinética do $\dot{V}O_2$ no KE em estudos pilotos anteriores (dados não publicados), as maiores médias a cada 5 s foram consideradas para o EXT ($\dot{V}O_{2\text{exh}}$). Para as análises de força, os momentos de extensão completa do joelho ($\sim 170^\circ$) foram considerados como os valores abruptos em seu sinal (KALVA-FILHO; BARBIERI; DE ANDRADE; GOBBI *et al.*, 2020). Assim, foram calculadas suas médias ao longo do teste

(**Figura 3.1**). Ainda, o T_{lim} foi calculado como o tempo entre o primeiro e último chute analisado.

Figura 3.1 - Representação ilustrativa do comportamento do sinal da força durante a extensão dinâmica de joelhos (EDJ).

Linha tracejada: valores médios representativos (10 consecutivos chutes); Círculos: valores abruptos, considerados como o momento da extensão completa de joelho. Fonte: Autoria própria.

Cálculo do MAOD e AOD

Para a construção da relação $\dot{V}O_2$ -intensidade, o intercepto-y foi fixado com os valores do $\dot{V}O_{2baseline}$ para cada participante (DE ANDRADE; KALVA-FILHO; CAMPOS; PAPOTI, 2018; MEDBØ; MOHN; TABATA; BAHR *et al.*, 1988). Essa equação foi posteriormente utilizada para calcular a TED para o esforço exaustivo (TED_{EX}). Apesar da intensidade dos esforços exaustivos permanecerem constantes (i.e., sem alterações no sistema de frenagem mecânica), os sinais de força apresentaram considerável variação ao longo do teste. Dessa forma, a TED_{EX} não pode ser assumida como linear, como ocorre em outras modalidades de exercício (e.g., ciclismo). Para amplificar as características fisiológicas do custo energético nesse modelo, a equação $\dot{V}O_2$ -intensidade foi extrapolada a cada extensão de joelho. Assim, o MAOD foi assumido com a diferença entre a TED_{EX} total (i.e., integral do produto entre a TED_{EX} e o T_{Lim}) e o $A\dot{V}O_2$ (**Figura 3.2**). Essa estratégia já foi utilizada anteriormente em nado atado (KALVA-FILHO; ARAUJO; SILVA; GOBATO *et al.*, 2016)

Figura 3.2 – Ilustração da determinação do máximo déficit acumulado de oxigênio no presente estudo.

Círculos abertos: Demanda energética teórica (TED_{EX}) extrapolada a cada extensão de Joelho completa (170°); Círculos preenchidos: consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$); $A\dot{V}O_2$ (área cinza): integral do $\dot{V}O_2$ ao longo do esforço; MAOD (área tracejada): diferença entre a integral da TED_{EX} e a $A\dot{V}O_2$. Fonte: autoria própria.

Diferentemente, a determinação do AOD não depende da realização de esforços prévios e da extrapolação dos valores de força. Nessa metodologia, a demanda energética é estimada pela cinética do $\dot{V}O_2$, onde o produto entre o $\dot{V}O_{2exh}$ e o T_{Lim} (TED_{AOD}) pode assumir como o custo energético para o esforço (OZYENER; ROSSITER; WARD; WHIPP, 2003). Assim, o AOD foi assumido como a diferença entre o TED_{AOD} e o $A\dot{V}O_2$.

Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas no software JASP (v. 0.12.2, Amsterdã, Holanda). Em ambos os experimentos, a normalidade dos dados foi confirmada por meio do teste de Shapiro-Wilk, permitindo a utilização dos procedimentos paramétricos e a apresentação dos dados em Média (DP). Considerando as limitações dos testes convencionais de hipóteses (i.e., null hypothesis significance testing; NHST) (GREENLAND; SENN; ROTHMAN;

CARLIN *et al.*, 2016), esses foram substituídos pelas inferências Bayesianas (i.e., Bayes factor hypothesis testing; BF_{10}) (WAGENMAKERS; LOVE; MARSMAN; JAMIL *et al.*, 2018; WAGENMAKERS; MARSMAN; JAMIL; LY *et al.*, 2018). O test t pareado bayesiano foi utilizado para comparar as probabilidades entre as variáveis dependentes. As comparações foram realizadas com base em um *default prior* [Escala Cauchy's; $r=1/\text{raiz}(2)$]. As evidências para a hipótese alternativa (H_1) foram delimitadas em um $BF_{10} > 3$ e para a hipótese nula (H_0) em $BF_{10} < 1/3$. Uma abordagem categórica foi utilizada para indicar a força das inferências probabilísticas. As evidências em favor da H_1 foram classificadas em: $1 < BF_{10} < 3 = \text{"anedótico"}; 3 < BF_{10} < 10 = \text{"moderado"}; 10 < BF_{10} < 30 = \text{"forte"}; 30 < BF_{10} < 100 = \text{"muito forte"}; BF_{10} > 100 = \text{"extremo"}$. De maneira complementar, o coeficiente de correlação de Pearson bayesiano (r) foi utilizado para verificar a relação entre os índices anaeróbios (AOD e MAOD) e a performance (T_{Lim}). Os intervalos de credibilidade para o r também foram calculados (CR). As correlações foram classificadas como: *trivial* < 0.1 ; *pequena* 0.1-0.3; *moderada* 0.3-0.5; *grande* 0.5-0.7; *muito grande* 0.7-0.9; and *quase perfeita* > 0.9 (HOPKINS, 2009).

Ainda, a magnitude das diferenças (Cohen's d) foram calculadas como medidas do tamanho do efeito (ES) (DURLAK, 2009). O ajuste para amostras reduzidas foi aplicado para cada valor de ES. Os respectivos intervalos de confiança (CI) foram calculados como dispersões do ES. Esses cálculos foram realizados em planilhas de Excel® (Microsoft 365®, MA, USA) com as equações propostas pela literatura (NAKAGAWA; CUTHILL, 2007). Os ES foram interpretados de acordo com as adaptações para as ciências do esporte (HOPKINS, 2009) e interpretadas como: *trivial* < 0.2 ; *pequeno* 0.2-0.6; *moderado* 0.6-1.2; *grande* 1.2-2.0; *muito grande* 2.0-4.0; and *quase perfeito* > 4.0 (BERNARDS; SATO; HAFF; BAZYLER, 2017).

3.3 Resultados

Como os EXP_1 e EXP_2 foram conduzidos com diferentes participantes e momentos, os seus resultados específicos estão apresentados separadamente.

Extensão dinâmica unilateral de joelhos (EXP_1) ($n = 16$)

As respostas fisiológicas obtidas no momento da exaustão após o GXT estão apresentadas na **Tabela 3.2**. Nesse experimento, a relação $\dot{V}O_2$ -intensidade foi construída com três esforços submáximos. As intensidades desses esforços foram 24 (10), 53 (11) e 70 (15) % da força obtida no esforço exaustivo. A **Figura 3.2** demonstra as médias dos valores utilizados

para a construção dessa equação. Os parâmetros da regressão linear estão especificados na **Tabela 3.3**. Ainda, os resultados obtidos após os esforços exaustivos estão apresentados na **Tabela 3.4**. O AOD foi superior ao MAOD, com uma evidência “*extrema*” em favor de H1 ($BF_{10} = 2925$) e efeito “*muito grande*” ($ES = 2,5$; $CI = 1,6-3,4$) (**Figura 4**). Foram encontradas “*triviais*” a “*grandes*” correlações entre o T_{Lim} e os parâmetros anaeróbios (**Tabela 3.5**).

Tabela 3.2 – Variáveis fisiológicas obtidas após o teste incremental exaustivo (GXT) em extensão dinâmica unilateral de joelhos (EXP_1).

	Média	DP	Range
Duração (s)	289	69	190-495
PPO (W)	53	15	34-100
$\dot{V}O_{2GXT}$ (mL.min ⁻¹)	1500	246	1017-1937
VE (L.min ⁻¹)	83	27	31-157
RER (a.u.)	1,30	0,28	0,97-2,02
RPE (a.u.)	8,8	1,5	5-10
FC (bpm)	135	16	114-168

PPO: potência pico no GXT; $\dot{V}O_{2GXT}$: maiores médias no $\dot{V}O_2$ a cada 30 s; VE: ventilação minuto; RER: coeficiente respiratório; RPE: escala de percepção subjetiva de esforço; FC: frequência cardíaca.

Tabela 3.3 - Parâmetros médios obtidos pela regressão linear entre os valores submáximos de $\dot{V}O_2$ e a intensidade de exercício (N) em extensão dinâmica unilateral de joelhos (EXP_1) .

	Média	DP	Range
Slope (mL.min ⁻¹ .N ⁻¹)	6,32	3,57	2,19-12,87
intercepto-y (mL.min ⁻¹)	467	54	377-550
r^2	0,97	0,04	0,85-1,00

Slope: coeficiente angular (β); intercepto-y: coeficiente linear (α); r^2 : coeficiente de determinação.

Tabela 3.4 – Variáveis fisiológicas e de desempenho obtidas após o esforço exaustivo no EXP_1 .

	Média	DP	Range
T_{Lim} (s)	168	51	102-271
Força Média (N)	227	104	95-406
$\dot{V}O_{2exh}$ (mL.min ⁻¹)	1936	363	1292-2750

Continua.

			Conclusão.
TED_{EX} (mL)	3971	1275	2346-6939
TED_{AOD} (mL)	5392	1787	2809-9175
$A\dot{V}O_2$ (mL)	3537	1238	1929-6579
AOD (mL·O ₂)	1855	741	723-3144
MAOD (mL·O ₂)	434	245	68-937

T_{Lim} : tempo até a exaustão; Força média: média dos picos (extensões completas de joelho) ao longo do esforço; $\dot{V}O_{2exh}$: maiores medias no $\dot{V}O_2$ a cada 5 s; TED_{EX} : integral da demanda energética teórica construída com valores submáximos de $\dot{V}O_2$ e intensidade; TED_{AOD} : integral da demanda energética teórica estimada por meio do produto entre o $\dot{V}O_{2exh}$ e o T_{Lim} ; $A\dot{V}O_2$: integral do $\dot{V}O_2$ e T_{Lim} ; AOD: déficit acumulado de oxigênio; MAOD: máximo déficit acumulado de oxigênio.

Figura 3.3 - Relação linear entre o consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) e a força aplicada durante os três esforços submáximos (5 min) em extensão dinâmica unilateral de joelhos (EXP_1).

Círculos abertos: valores médios e desvios padrões; Linha tracejada: linha de tendência da regressão linear construída. Fonte: autoria própria.

Figura 3.4 - Valores absolutos e individuais nas duas metodologias investigadas (MAOD x AOD) em extensão dinâmica unilateral de joelhos (EXP_1).

Barras: valores médios e desvio padrão; Retas: valores individuais para as duas metodologias estudadas; MAOD: máximo déficit acumulado de oxigênio; AOD: déficit acumulado de oxigênio; **: BF₁₀ “extremo”; Fonte: autoria própria.

Tabela 3.5 - Coeficientes de correlação de Pearson bayesiano (r) entre o desempenho e os índices anaeróbios (EXP₁).

	r	95% CR	Classificação	BF ₁₀	Probabilidade
T _{Lim} x MAOD	0,16	0,57 a -0,33	“trivial”	0,36	“anedótico”
T _{Lim} x AOD	0,59	0,81 a 0,10	“grande”	4,8*	“moderado”

r : Coeficientes de correlação de Pearson bayesiano; 95% CR: intervalo de credibilidade; BF₁₀: Bayes factor; T_{Lim}: tempo até a exaustão; AOD: déficit acumulado de oxigênio; MAOD: máximo déficit acumulado de oxigênio.

Extensão dinâmica bilateral de joelhos (EXP₁) (n = 7)

Os parâmetros obtidos no GXT estão apresentados na **Tabela 6**. Quatro esforços submáximos foram utilizados para a construção da relação $\dot{V}O_2$ -intensidade (Figura 5). O percentual desses esforços em relação ao esforço exaustivo foi de 51 (12), 63 (13) 69 (10) e 86 (24). Os índices de ajuste à equação estão demonstrados na **Tabela 7**. Na **Tabela 8**, estão apresentados os parâmetros fisiológicos após o esforço exaustivo. Diferentemente do EXP₁, o MAOD foi superior ao AOD, com uma evidência “moderada” para H1 (BF₁₀ = 3,33) e “grande” efeito (ES = 1,4; CI = 0,2-2,6) (**Figura 6**). A performance e as metodologias anaeróbias apresentaram “moderada” a “grande” correlações (**Tabela 9**).

Tabela 3.6 – Variáveis fisiológicas obtidas após o teste incremental exaustivo (GXT) em extensão dinâmica bilateral de joelhos (EXP₂).

	Média	DP	Range
Duração (s)	485 (104)	104	360-660
PPO (W)	93 (14)	14	14-93
$\dot{V}O_{2GXT}$ (mL.min ⁻¹)	1853 (514)	514	1508-2852
VE (L.min ⁻¹)	97 (17)	17	71-121
RER (a.u.)	1,22 (0,17)	0,17	0,98-1,41
RPE (a.u.)	9,6 (0,5)	0,5	9-10
FC (bpm)	147 (19)	19	129-172

PPO: potência pico no GXT; $\dot{V}O_{2GXT}$: maiores médias no $\dot{V}O_2$ a cada 30 s; VE: ventilação minuto; RER: coeficiente respiratório; RPE: escala de percepção subjetiva de esforço; FC: frequência cardíaca.

Tabela 3.7 - Parâmetros médios obtidos pela regressão linear entre os valores submáximos de $\dot{V}O_2$ e a intensidade de exercício (N) em extensão dinâmica bilateral de joelhos (EXP₂) .

	Média	DP	Range
Slope (mL.min ⁻¹ .N ⁻¹)	15,57	0,89	14,40-16,76
y-intercept (mL.min ⁻¹)	469	79	378-568
r^2	0,99	0,01	0,97-0,99

Slope: coeficiente angular (β); intercepto-y: coeficiente linear (α); r^2 : coeficiente de determinação.

Tabela 3.8 - Variáveis fisiológicas e de desempenho obtidas após o esforço exaustivo no EXP₂.

	Mean	SD	Range
T _{Lim} (s)	132	28	98-171
Força Média (N)	167	19	139-191
$\dot{V}O_{2exh}$ (mL.min ⁻¹)	2867	569	2164-3600
TED _{EX} (mL)	7505	122	5641-9134
TED _{AOD} (mL)	6256	1611	4508-8535
A $\dot{V}O_2$ (mL)	4619	1152	3051-6182
AOD (mL.O ₂)	1636	549	899-2354
MAOD (mL.O ₂)	2832	959	1726-4345

T_{Lim}: tempo até a exaustão; Força média: média dos picos obtidos nas duas células de carga (extensões completas de joelho) ao longo do esforço; $\dot{V}O_{2exh}$: maiores medias no $\dot{V}O_2$ a cada 5 s; TED_{EX}: integral

da demanda energética teórica construída com valores submáximos de $\dot{V}O_2$ e intensidade; TED_{AOD} : integral da demanda energética teórica estimada por meio do produto entre o $\dot{V}O_{2exh}$ e o T_{Lim} ; $A\dot{V}O_2$: integral do $\dot{V}O_2$ e T_{Lim} ; AOD: déficit acumulado de oxigênio; MAOD: máximo déficit acumulado de oxigênio.

Figura 3.5 - Relação linear entre o consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$) e a força aplicada durante os quatro esforços submáximos (7 min) em extensão dinâmica bilateral de joelhos (EXP₂).

Círculos abertos: valores médios e desvios padrões; Linha tracejada: linha de tendência da regressão linear construída. Fonte: autoria própria.

Figure 3.6 - Valores absolutos e individuais nas duas metodologias investigadas (MAOD x AOD) em extensão dinâmica bilateral de joelhos (EXP₂).

Barras: valores médios e desvio padrão; Retas: valores individuais para as duas metodologias estudadas; MAOD: máximo déficit acumulado de oxigênio; AOD: déficit acumulado de oxigênio; *: BF_{10} “moderada”; Fonte: autoria própria.

Tabela 3.9 - Coeficientes de correlação de Pearson bayesiano (r) entre o desempenho e os índices anaeróbios (EXP_2).

	r	95% CR	Classificação	BF_{10}	Probabilidade
$T_{Lim} \times MAOD$	0,44	0,82 a -0,38	“moderado”	0,70	“anedótico”
$T_{Lim} \times AOD$	0,63	0,89 a -0,21	“grande”	1,24	“anedótico”

r : Coeficientes de correlação de Pearson bayesiano; 95% CR: intervalo de credibilidade; BF_{10} : Bayes factor; T_{Lim} : tempo até a exaustão; AOD: déficit acumulado de oxigênio; MAOD: máximo déficit acumulado de oxigênio.

3.4 Discussão

O presente estudo teve como objetivo comparar duas metodologias utilizadas para a determinação das contribuições energéticas anaeróbias em exercício de EDJ. De maneira complementar, buscou-se investigar o efeito da quantidade de massa muscular ativa (EDJ unilateral ou bilateral) nas metodologias estudadas (i.e., AOD x MAOD). Parcialmente contribuindo com a hipótese inicial, foi demonstrado que a metodologia selecionada é influenciada pela massa muscular e deve ser aplicada de maneira específica. Ainda, foi objetivo

desse trabalho verificar a relação entre os índices anaeróbios estudados e a performance em esforços de alta intensidade. Em acordo com essa segunda hipótese, uma “*grande*” correlação foi encontrada em o AOD e o T_{Lim} no EXP₁ (**Tabela 3.5**). Apesar disso, a metodologia amplamente utilizada do MAOD não apresentou correlações significativas em nenhum dos experimentos.

No primeiro experimento, conduzido em exercício unilateral, o AOD foi significativamente superior ao MAOD. Esse resultado é contrário à hipótese central desse estudo e evidencia a inconsistência da construção do MAOD, pelo menos em nosso delineamento experimental. No melhor de nosso conhecimento, apenas um estudo investigou o MAOD em exercício de EDJ unilateral (BANGSBO; GOLLNICK; GRAHAM; JUEL *et al.*, 1990). Bangsbo *et al.* (1990) obtiveram valores de MAOD próximos a 460 mL·O₂ em uma amostra de oito participantes fisicamente ativos. Esses autores verificaram elevada similaridade com os metabólitos do metabolismo anaeróbio, justificando a validade dessa ferramenta (BANGSBO; GOLLNICK; GRAHAM; JUEL *et al.*, 1990). Apesar dos valores consistentes com o do presente trabalho, o MAOD deveria representar os máximos valores de contribuição do metabolismo não oxidativo (GASTIN, 1994). Assim, os valores superiores encontrados para o AOD são incompatíveis com a definição do MAOD e não representam a capacidade anaeróbia nesse modelo de exercício (BANGSBO, 1996).

Amplamente reportado na literatura, o MAOD foi investigado com diferentes populações de atletas (corredores velocistas e fundistas) (SCOTT; ROBY; LOHMAN; BUNT, 1991), idades (adolescente e adultos) (DE ANDRADE; KALVA-FILHO; CAMPOS; PAPOTI, 2018) e condições ambientais (hipóxia e normóxia) (FRIEDMANN; FRESE; MENOLD; BÄRTSCH, 2007). Diferentemente do modelo de exercício unilateral, o MAOD no EXP₂ apresentou valores superiores aos obtidos com o AOD. Quando comparado a outras modalidades esportivas, esses valores de MAOD (2832 mL·O₂) são compatíveis com os de ciclistas destreinados (2600 mL·O₂) ou de nadadores juvenis (2900 mL·O₂) (KALVA-FILHO; ARAUJO; SILVA; GOBATTO *et al.*, 2016). Durante a EDJ, a atividade dos músculos acessórios é reduzida, o que pode diminuir a remoção de metabólitos e o *turnover* de lactato na musculatura ativa (BILLAT; SIRVENT; PY; KORALSZTEIN *et al.*, 2003). Dessa forma, supostamente há uma maior depleção dos estoques anaeróbios de energia nesse modelo de exercício, o que pode explicar os elevados valores de MAOD. Apesar disso, assim como no EXP₁, não foram verificadas correlações entre o MAOD e o desempenho (**Tabelas 3.5 e 3.9**).

No presente estudo, foi demonstrado que o MAOD e o AOD não correspondem ao mesmo fenômeno fisiológico. Adicionalmente, a metodologia aplicada pode ser influenciada

pelo padrão de movimento (i.e., EDJ unilateral ou bilateral). A inconsistência do MAOD pode ser atribuída aos esforços escolhidos para a construção da relação $\dot{V}O_2$ -intensidade (NOORDHOF; KONING; FOSTER, 2010). Há extensos debates na literatura em relação a determinação da TED_{EX} , incluindo o número, duração e intensidade de esforços submáximos requeridos. Medbø e al. (1988) sugeriram que são necessários 20 esforços com 10 minutos de duração. Apesar disso, não há um consenso na literatura a respeito dessas recomendações e são encontrados estudos com uma ampla variedade de protocolos (e.g., 2-10 esforços; durações de 2-15 min) (NOORDHOF; KONING; FOSTER, 2010).

Nessa investigação, foram utilizados 2-4 esforços submáximos, o que deve ser considerado uma limitação. Para lidar com esse reduzido número, foi recomendado o uso de intensidades polarizadas (i.e., extremidades inferiores e superiores) (BUCK, D.; MCNAUGHTON, L. R., 1999) e a fixação do intercepto-y (MEDBØ; MOHN; TABATA; BAHR *et al.*, 1988). Aqui, foi utilizada essa estratégia para aumentar a viabilidade prática do delineamento experimental, e foram utilizadas intensidades entre 24 e 86% da força obtida nos esforços exaustivos e o intercepto-y foi fixado no $\dot{V}O_{2baseline}$ individual. Esse número de esforços foi anteriormente utilizado com índices satisfatório de reprodutibilidade (DOHERTY; SMITH; SCHRODER, 2000).

A duração dos esforços submáximos também pode influenciar a determinação do MAOD, especialmente em intensidades elevadas (i.e., acima do limiar anaeróbio) (BANGSBO, 1992; BUCK, D.; MCNAUGHTON, L., 1999). Nessas intensidades de exercício, o componente lento do $\dot{V}O_2$ (SC) é responsável por um aumento na demanda energética acima do projetado, podendo influenciar a acurácia da equação $\dot{V}O_2$ -intensidade (GREEN; DAWSON, 1996; RIOJAS; VALENZUELA; MC; VINGREN *et al.*, 2020). A duração dos esforços utilizada está em acordo com a literatura vigente (i.e., 5 minutos no EXP_1 ; 7 minutos no EXP_2) e apesar da possibilidade de ocorrência do SC com essas durações (WHIPP, 1994), foram encontrados elevados níveis de linearidade em ambos os experimentos ($r^2 = 0,97$ and $0,99$, EXP_1 e EXP_2 , respectivamente).

Além da precisão da relação $\dot{V}O_2$ -intensidade e da estimativa da TED_{EX} , a ausência de correlações significativas entre o MAOD e o T_{Lim} em ambos os experimentos ($r < 0,44$; $BF_{10} < 0,70$) pode ser atribuída à característica da fadiga durante os esforços exaustivos aplicados. Com o objetivo de amplificar as respostas fisiológicas nesse padrão de esforço, a TED_{EX} foi extrapolada para cada extensão de joelhos. Entretanto, foi observado que há uma tendência de diminuição da força ao final do exercício, mesmo com o $\dot{V}O_2$ permanecendo elevado (dados não demonstrados). Atribuímos esse comportamento a redução nos valores de MAOD,

especialmente no EXP₁. Logo, o cálculo por meio do AOD deve ser preferido, uma vez que não é dependente dos valores de força e foram encontradas “grandes” correlações com o desempenho.

Apesar de não ser possível a comparação direta entre os experimentos conduzidos, algumas inferências sobre as discrepâncias encontradas podem ser sustentadas com base na literatura vigente. Rossman et al. (2014) investigaram o efeito da quantidade de massa muscular ativa e os mecanismos responsáveis pela fadiga em EDJ unilateral e bilateral, de maneira semelhante ao presente estudo. Esses autores verificaram que a redução na quantidade de massa muscular é associada a uma maior fadiga periférica (i.e., redução da produção de força em resposta a um estímulo neural), possivelmente pela diminuição do sinal das fibras musculares aferentes III e IV e aumento do distúrbio metabólico local (ROSSMAN; GARTEN; VENTURELLI; AMANN *et al.*, 2014; ROSSMAN; VENTURELLI; MCDANIEL; AMANN *et al.*, 2012). Desse modo, mesmo com o menor estresse cardiorrespiratório, a diminuição do “drive neural” pode ter proporcionado uma maior depleção dos estoques anaeróbios, e consequentemente, elevados valores de AOD no EXP₁.

Por meio de uma análise crítica desses resultados, a principal limitação desse estudo pode ser atribuída à utilização de experimentos separados para a comparação dos diferentes modelos de exercício (i.e., extensão unilateral e bilateral de joelhos). Como foram envolvidos diferentes participantes, comparações diretas entre os estudos foi impossibilitada. Ainda, a amostra escolhida foi de indivíduos fisicamente ativos, o que limita a extrapolação para atletas, especialmente aos envolvidos em modalidades de alta intensidade. Esses atletas podem exibir aumentos na tolerância ao esforço em alta intensidade (DO NASCIMENTO SALVADOR; DAL PUPO; DE LUCAS; DE AGUIAR *et al.*, 2016) e aumento dos estoques anaeróbios de energia (SCOTT; ROBY; LOHMAN; BUNT, 1991), modificando as interpretações sobre o MAOD e AOD. Apesar dessas limitações, o presente estudo acrescenta uma importante aplicação prática para a área da fisiologia do exercício. Foi demonstrado que o AOD deve ser utilizado na EDJ aumentando a viabilidade prática dessa abordagem metodológica. Ainda, diferentemente do MAOD, o AOD demonstrou significativas correlações com o desempenho em altas intensidades.

3.5 Conclusão

O MAOD e o AOD são fenômenos fisiológicos distintos e sofrem influência quantidade de massa muscular ativa. Contrariamente ao MAOD, o AOD apresenta fortes correlações com

o desempenho exaustivo de alta intensidade, além de ser facilmente aplicado na rotina de treinamento ou no contexto laboratorial. Nesse sentido, essa metodologia apresenta uma alternativa viável para os futuros estudos conduzidos com a EDJ.

CAPÍTULO 4 – MANUSCRITO 2

4 MANUSCRITO 2

Estimativas para a contribuição anaeróbia em exercício de extensão de joelho: um estudo sobre sua reprodutibilidade em esforços exaustivos.

4.1 Introdução

As determinações das contribuições energéticas têm sido frequentemente utilizadas em laboratórios especializados em fisiologia do exercício, uma vez que esses índices são associados à performance em eventos de diferentes modalidades e durações (SPENCER; GASTIN, 2001). Diferentes testes laboratoriais e de campo são propostos com o objetivo de estimar os sistemas energéticos (i.e., aeróbio, anaeróbio alático e anaeróbio láctico). Para que um protocolo seja aplicado de maneira fidedigna, é necessário que ele seja robusto o suficiente para garantir a avaliação do mesmo fenômeno fisiológico em repetidos momentos (HOPKINS; SCHABORT; HAWLEY, 2001). Isso é especialmente válido nas ciências do esporte, uma vez que as adaptações provenientes das intervenções de interesse muitas vezes são modestas (e.g., treinamento, estresse ambiental, suplementação) (SWINTON; HEMINGWAY; SAUNDERS; GUALANO *et al.*, 2018)

Medidas de reprodutibilidade são usualmente utilizadas para verificar tal consistência. Essas medidas incluem as diferenças médias entre avaliações repetidas (teste-reteste), a variação das diferenças individuais (e.g., erro típico; ET) e a correlação apropriada entre os momentos (e.g. coeficiente de correlação intraclass; ICC) (HOPKINS, 2000). Alternativamente, a análise gráfica de Bland e Altman (2010) também é utilizada para a medida de reprodutibilidade. Essa análise é construída com as diferenças individuais entre as situações teste-reteste (i.e., erro sistemático; Bias) e seus limites de concordância (i.e., intervalo estimado do Bias; LoA) (BLAND; ALTMAN, 2010). Como o objetivo da análise de reprodutibilidade é a identificação de um teste que seja sensível às respostas, o cálculo da diferença mínima necessária para serem observadas alterações significativas (i.e., diferença mínima detectável; SDD) é especialmente válida (BECKERMAN; ROEBROECK; LANKHORST; BECHER *et al.*, 2001; HALEY; FRAGALA-PINKHAM, 2006).

Diferentemente do metabolismo aeróbio, a reprodutibilidade das metodologias que estimam as contribuições energéticas anaeróbias é questionada (DOHERTY; SMITH; SCHRODER, 2000). Para esse componente do metabolismo, suas estimativas são tradicionalmente realizadas por protocolos invasivos (i.e., biópsia muscular) ou indiretos. O

protocolo indireto mais utilizado envolve o conceito de déficit de O_2 (OD) (KARLSSON; SALTIN, 1970; KROGH; LINDHARD, 1920). O OD considera que há um atraso na capacidade do sistema energético aeróbio em promover energia no início do esforço, solicitando o metabolismo anaeróbio para a ressíntese do ATP. Dessa forma, a diferença entre a demanda energética teórica total (TED) e a energia proveniente do fornecimento aeróbio ao longo do esforço (i.e., integral do $\dot{V}O_2$; $A\dot{V}O_2$) é assumido como o OD acumulado (AOD) (KROGH; LINDHARD, 1920).

Diferentes métodos para o cálculo da TED são reportados na literatura. Medbø et al. (1988) propuseram a estimativa da TED por meio da extrapolação de uma regressão linear construída com os valores submáximos de $\dot{V}O_2$ (i.e., relação $\dot{V}O_2$ -intensidade), protocolo denominado máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD). Apesar de achados contraditórios (DOHERTY; SMITH; SCHRODER, 2000; WEBER; SCHNEIDER, 2001), níveis satisfatórios de reprodutibilidade foram reportados em natação (KALVA-FILHO; ARAUJO; SILVA; GOBATO *et al.*, 2016) e ciclismo (WEBER; SCHNEIDER, 2001) com esse protocolo. Ainda que seja amplamente utilizado, o MAOD requer vários dias de avaliação (e.g., recomendação de dez esforços submáximos e um supramáximo) (MEDBØ; MOHN; TABATA; BAHR *et al.*, 1988), limitando sua aplicação na rotina laboratorial e especialmente no contexto esportivo.

O modelo de exercício ou ergômetro escolhido (e.g., ciclismo *vs* corrida) e o tipo de esforço exaustivo (e.g., tempo até a exaustão; T_{Lim}) podem interferir nos valores de reprodutibilidade do MAOD (GASTIN; COSTILL; LAWSON; KRZEMINSKI *et al.*, 1995; NOORDHOF; KONING; FOSTER, 2010). Nesse contexto, nosso laboratório investigou recentemente a determinação de diferentes metodologias de estimativa energética e a utilização do modelo de extensão dinâmica de joelhos (EDJ) realizado no ergômetro de Krogh (KE) (**Capítulo 3**). A EDJ pode oferecer vantagens metodológicas importantes no estudo das contribuições anaeróbias (BANGSBO, 1996; GASTIN, 1994). Nesse modelo, o grupamento muscular do *Quadriceps Femoris* realiza o movimento de extensão de joelhos de maneira cíclica, uma vez que o movimento excêntrico (i.e., flexão de joelhos) é realizado de maneira passiva (ANDERSEN; ADAMS; SJAGAARD; THORBOE *et al.*, 1985). Dessa forma, as alterações nas demandas metabólicas (e.g. frequência cardíaca e $\dot{V}O_2$) são provenientes de um grupo muscular controlado. Ainda, por ser um movimento de baixa complexidade, a reprodutibilidade do T_{Lim} pode ser melhorada, uma vez que tem menor influência das possíveis alterações do gesto motor com a fadiga (EMERY; MAITLAND; MEEUWISSE, 1999; HOPKINS; SCHABORT; HAWLEY, 2001).

Apesar de suas vantagens, a metodologia do MAOD parece não adequada durante a EDJ (**Capítulo 3**) e seu constructo teórico é frequentemente questionado (BANGSBO, 1996; WHIPP, 1994). A construção da relação $\dot{V}O_2$ -intensidade é um fator determinante que pode afetar a acurácia dessa estimativa (GREEN; DAWSON, 1996). Nesse cálculo, assume-se uma relação linear entre a demanda energética e a intensidade de exercício (MEDBØ; MOHN; TABATA; BAHR *et al.*, 1988). Apesar desse pressuposto ser verdadeiro em algumas intensidades de esforço, há uma quebra dessa linearidade em esforços acima do limiar anaeróbio com o surgimento do componente lento do $\dot{V}O_2$ ($\dot{V}O_{2SC}$) (WHIPP, 1994). O $\dot{V}O_{2SC}$ é atribuído, entre outros fatores, à solicitação de fibras musculares menos eficientes (i.e., fibras do tipo II) (BURNLEY; JONES, 2007; WHIPP, 1994), podendo comprometer a estimativa energética e consequentemente, a utilização do MAOD (BANGSBO, 1996).

Alternativamente, a determinação da TED também é possível por meio do estudo da cinética do $\dot{V}O_2$ (OZYENER; ROSSITER; WARD; WHIPP, 2003). Nessa abordagem metodológica, em esforços exaustivos que induzam a ocorrência do $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$, a TED pode ser atribuída aos valores de $\dot{V}O_2$ ao final do exercício (TED_{AOD}) extrapolados pela duração do esforço (WHIPP, 1994). Apesar da possibilidade de estimar o componente energético anaeróbio em apenas uma sessão de avaliação, estudos que investigaram a reprodutibilidade dessa metodologia ainda são limitados.

A determinação do AOD apresenta vantagens metodológicas importantes, uma vez que é possível a determinação da TED sem a necessidade de esforços prévios e a predição da TED não é influenciada pela acurácia da equação de predição. Contudo, a padronização desse índice anaeróbio ainda precisa de investigações mais robustas. Nesse sentido, o objetivo do presente estudo foi testar a reprodutibilidade teste-reteste do AOD e de parâmetros fisiológicos determinados após esforços exaustivos utilizando um modelo de exercício controlado. Nossa hipótese é que o AOD determinado com a EDJ apresenta satisfatórios índices de reprodutibilidade, permitindo sua utilização em diferentes desenhos experimentais.

4.2 Materiais e Métodos

Participantes

Doze homens fisicamente ativos participaram desse estudo (26 ± 3 anos, 180 ± 9 cm e $85,7 \pm 15,2$ kg). A amostra foi composta por estudantes do curso de Educação Física, fisicamente ativos e envolvidos em diferentes tipos de modalidades esportivas. Os voluntários foram informados sobre os potenciais riscos e benefícios envolvidos durante os procedimentos

e assinaram por escrito o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Humanos da Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo (nº 60300316.6.0000.5659).

Delineamento experimental

Os participantes foram submetidos a três dias de avaliação com um intervalo mínimo de 24 h. No primeiro dia, foi realizado um teste incremental exaustivo (GXT) para a determinação da potência pico (PPO). No segundo dia, foi realizado um esforço exaustivo em alta intensidade (EXT_{teste}) a 100% da PPO. No terceiro dia, esse esforço exaustivo foi repetido ($EXT_{reteste}$) para a verificação da reprodutibilidade teste-reteste das variáveis de interesse. Ressaltamos que os participantes tiveram auxílio externo no início do teste até que a cadência mínima fosse atingida. Além disso, os voluntários foram instruídos a deixarem sua perna contralateral (i.e., perna não dominante) sem movimento. Durante todos os esforços, os participantes receberam forte encorajamento verbal. Em todas as avaliações, a exaustão foi assumida como a incapacidade de sustentar a cadência determinada (i.e., 60 rpm) por mais de 10 s. A percepção subjetiva de esforço (RPE) foi determinada em todos os esforços por meio da escala de 10 pontos (FOSTER et al., 2001), a qual todos os participantes eram familiarizados.

Modelo de exercício – Krogh Ergometer (KE)

Todos os participantes realizaram os esforços de maneira unilateral com a perna dominante em um ergômetro para extensão dinâmica de joelhos (*Krogh Ergometer*; KE), construído pelo nosso grupo de pesquisa (KALVA-FILHO; BARBIERI; DE ANDRADE; GOBBI et al., 2020). Nesse modelo de exercício, um cicloergômetro convencional é adaptado e o movimento de pedalada é substituído por consecutivos chutes. Dessa forma, são realizados repetidos movimentos de extensão de joelho, onde o *Quadriceps Femoris* é o principal grupo muscular ativo. A intensidade de exercício no KE é facilmente ajustada por implementos na fita de fricção do ergômetro (i.e. kilopounds), onde posteriormente é convertida em Watts (W) e calculado o trabalho total mecânico (TT) (KALVA-FILHO; BARBIERI; DE ANDRADE; GOBBI et al., 2020). Previamente a realização dos experimentos, foi realizada no mínimo uma sessão de familiarização ao KE. Nessa sessão, foi padronizado o posicionamento dos participantes no ergômetro, garantindo uma amplitude de extensão de joelhos de 90° a 170°, aproximadamente. Além disso, foram realizados esforços de diferentes intensidades e durações (e.g. 1 – 5 min; RPE 5 a 9).

Instrumentação

Durante todos os esforços, os participantes foram acoplados a uma máscara oronasal (7450 Series Silicone V2™, Hans Rudolph Inc., EUA). As variáveis ventilatórias foram monitoradas a cada respiração com o analisador de gases Quark CPET (Cosmed®, Roma, Itália). O equipamento foi calibrado de acordo com as instruções do fabricante, onde foi utilizado o ar ambiente, uma mistura de gases contendo 16% de O₂ e 5% de CO₂ (White Martins, Osasco, SP, Brasil) e uma seringa de 3 L (Hans Rudolph Inc., USA). A frequência cardíaca (FC) foi mensurada com o sensor Polar H7 (Polar Electro, Kempele, Finlândia), tendo as maiores médias a cada 5 s registradas (FC_{MÁX}).

Teste incremental exaustivo (GXT)

O GXT consistiu na realização de um aquecimento de cinco minutos a 13 W (i.e., carga mínima do ergômetro) seguido de um esforço progressivo com intensidade inicial de 13 W e incrementos de 13 W·min⁻¹, aplicados até a exaustão voluntária do participante. O coeficiente respiratório (RER) representou os maiores valores na razão entre o $\dot{V}O_2$ e a produção de gás carbônico ($\dot{V}CO_2$). A média dos valores de $\dot{V}O_2$ observados durante os últimos 30 segundos de esforço foram considerados máximos para esse esforço ($\dot{V}O_{2GXT}$). A PPO foi atribuída à intensidade do último estágio completo ou foi ajustada conforme a equação: $PPO = PC + ([T \cdot D^{-1}] \cdot I)$, onde a PC é a potência do último estágio completo (W); T é o tempo em que o participante permaneceu no estágio incompleto (s); D é a duração dos estágios (i.e. 60 s); I é a intensidade dos incrementos (i.e. 13 W) (KUIPERS; RIETJENS; VERSTAPPEN; SCHOENMAKERS *et al.*, 2003).

Esforço exaustivo (EXT) e Cálculo do Déficit Acumulado de Oxigênio (AOD)

No segundo e no terceiro dia de avaliações, os participantes foram submetidos a um esforço exaustivo com intensidade constante (EXT). A duração do esforço (i.e., tempo até a exaustão; T_{lim}) e o TT foram calculados. Além disso, o $\dot{V}O_2$ acumulado (A $\dot{V}O_2$) foi calculado como a área do $\dot{V}O_2$ ao longo do esforço. A intensidade do EXT foi mantida a 100% da PPO para proporcionar uma exaustão entre 2 e 5 min (MEDBØ; MOHN; TABATA; BAHR *et al.*, 1988), considerando as características específicas da EDJ.

Nesse modelo de exercício, a determinação do custo energético teórico por meio da construção da equação $\dot{V}O_2$ -intensidade parece não ser adequada (**Manuscrito 1**). Logo, o AOD foi calculado da maneira convencional (KARLSSON; SALTIN, 1970). Assim, a demanda energética total teórica para o EXT (TED_{AOD}) foi calculada como o produto entre a

maior média do $\dot{V}O_2$ a cada 5 s ($\dot{V}O_{2exh}$) e o T_{Lim} . O AOD foi assumido como a diferença entre a TED_{AOD} e o $A\dot{V}O_2$.

Análise estatística

Em todas as análises, os dados descritivos estão apresentados em média (desvio padrão). A dispersão dos dados foi investigada por meio de gráficos *box-plot* e histogramas. O teste de Shapiro-Wilk foi conduzido para a verificação da normalidade dos dados. A comparação teste-reteste entre as variáveis dependentes foi feita pelo test t pareado. O tamanho do efeito (ES) (Cohen's *d*) foi calculado como a diferença entre as médias teste-reteste, dividida pelo desvio padrão agrupado (SD_{pooled}) (DURLAK, 2009). O ES foi classificado como: *trivial* $< 0,2$; *pequeno* 0,2-0,6; *moderado* 0,6-1,2; *grande* 1,2-2,0; *muito grande* 2,0-4,0; *quase perfeito* $> 4,0$ (HOPKINS; MARSHALL; BATTERHAM; HANIN, 2009). A concordância entre os momentos foi testada por meio da análise gráfica de Bland e Altman (2010), representada pela médias dos resíduos (i.e. erro sistemático; Bias) e seu limite de concordância (95% LoA). Ainda, foi calculada a heterocedasticidade para essa análise (i.e., tendência entre os resíduos e os valores médios).

O coeficiente de correlação intraclasse (ICC) e seu intervalo de confiança (95% IC) foram calculados com base em um modelo misto de duas vias, medidas únicas e concordância absoluta (ICC 2.1) (KOO; LI, 2016; WEIR, 2005). O ICC foi interpretado como: *pequeno* $< 0,5$; *moderado* 0,5-0,75; *bom* 0,75-0,9; *excelente* $> 0,9$ (KOO; LI, 2016). A reprodutibilidade também foi verificada pelo erro típico (ET) (desvio padrão das diferenças/ $\sqrt{2}$), coeficiente de variação (CV) (HOPKINS, 2000) e pela mínima diferença detectável (*smallest detectable difference*; SDD) (BECKERMAN; ROEBROECK; LANKHORST; BECHER *et al.*, 2001). O SDD foi calculado como: $1,96 \cdot \sqrt{2} \cdot SEM$. Onde SEM (*standard error of measurement*): $SD_{pooled} \cdot \sqrt{(1-ICC)}$ (WEIR, 2005).

Regressões lineares foram construídas com as variações dos índices fisiológicos (Δ 's) e do AOD (e.g., AOD teste – AOD reteste; ΔAOD) para identificar possíveis índices que contribuem para essa dispersão. Em todas as análises estatísticas o nível de significância foi fixado em $p < 0,05$. O pacote estatístico utilizado foi o *Statistical Package for Social Sciences* 20.0 (IBM SPSSInc, Chicago, EUA).

4.3 Resultados

As variáveis fisiológicas obtidas no momento da exaustão após o GXT estão descritas na **Tabela 4.1**. Os resultados obtidos após os esforços exaustivos estão descritos na **Tabela 4.2**. Não foram encontradas diferenças significativas entre as situações teste e reteste a 100% da PPO em nenhuma das variáveis estudadas ($p > 0,355$), acompanhadas de ES pequenos ou triviais (Cohen's d de -0,04 a -0,26). Os valores de AOD estão apresentados separadamente na **Figura 4.1**. Significativos ICC's foram obtidos ($p < 0,044$), classificados entre “bom” e “moderado” na maioria das variáveis, com exceção do T_{Lim} ($p = 0,182$). Os CV's ficaram entre 14 e 35%. A análise gráfica de Bland e Altman com os valores de AOD está apresentada na **Figura 4.2**. Foi verificado que em cinco participantes (~42%) as diferenças no AOD entre a situação teste-reteste foram maiores que o SEM dessa medida (855 mL).

Figura 4.1 - Déficit Acumulado de Oxigênio (AOD) e inferências estatísticas.

Painel A: Gráficos de barras representam média (desvio padrão) nos momentos teste (cinza claro) e reteste (cinza escuro); p : significância no teste t pareado; d : tamanho do efeito; ICC: coeficiente de correlação intraclass (intervalo de confiança 95%). Painel B: Círculos representam os valores individuais conectados aos diferentes momentos por linhas; ET: erro típico; SDD: diferença mínima detectável; SEM: erro padrão de estimativa; CV: coeficiente de variação. Fonte: Autoria própria.

Figura 4.2 - Análise gráfica de Bland e Altman para o Déficit Acumulado de Oxigênio (AOD).

Círculos preenchidos representam os valores individuais. Eixo x: média entre os momentos teste e reteste; Eixo y: diferença entre as situações teste e reteste; Linhas tracejadas finas: limites de concordância (95%); Linha tracejada grossa: médias das diferenças teste-reteste (Bias). Linha de tendência (Heterocedasticidade): $r = 0,18$; $p = 0,567$. Fonte: Autoria própria.

Tabela 4.1 - Variáveis obtidas ao final do teste incremental até a exaustão (GXT). Os dados estão apresentados em média (desvio padrão) (n=12).

Parâmetro	Média	Desvio Padrão
Duração (s)	295	48
PPO (W)	64	11
$\dot{V}O_{2GXT}$ (mL·kg·min ⁻¹)	1025	310
RER	1,2	0,1
FC _{MÁX} (beats·min ⁻¹)	140	14
RPE	9	1

Duração (s): tempo total do GXT; PPO (W): intensidade ao final GXT ou ajustada por Kuipers (2003); $\dot{V}O_{2pico}$ (mL·kg·min⁻¹): $\dot{V}O_2$ nos 30 s finais do GXT; FC_{MÁX} (beats·min⁻¹): frequência cardíaca máxima; RPE: percepção subjetiva de esforço; RER: coeficiente respiratório pico.

Figura 4.3 - Regressões lineares entre as diferenças teste-reteste (Δ 's) entre as variáveis fisiológicas e de desempenho e a variação no Déficit Acumulado de Oxigênio (Δ AOD).

Painel A: Correlações entre ΔT_{Lim} e ΔAOD . Painel B: Correlações entre $\Delta \dot{V}O_{2pico}$ e ΔAOD . Painel C: Correlações entre $\Delta A\dot{V}O_2$ e ΔAOD . Círculos abertos: valores individuais. Linha tracejada grossa: linha de tendência. Linhas tracejadas finas: intervalo de confiança 95%. r^2 : coeficiente de determinação. Fonte: Autoria própria.

Tabela 4.2 - Parâmetros fisiológicos e desempenho observados após o esforço exaustivo (EXT) nas situações teste e reteste ($n = 12$). Os dados estão apresentados em média (desvio padrão).

	Teste	Reteste	p (Teste t)	Cohen's d	Bias (95% LoA)	ICC (95% IC)	SDD	ET	CV%
T_{Lim} (s)	174 (55)	176 (50)	0,915	-0,04 (trivial)	2 (-126; 122)	0,46 (-1,15; 0,85)	107	45	25
TT (kJ)	7,1 (2,1)	8,0 (4,1)	0,355	-0,26 (pequeno)	0,8 (-4,9; 6,5)	0,75 (0,15; 0,93)	5	2,1	27
$\dot{V}O_{2pico}$ (mL·kg·min ⁻¹)	1655 (383)	1727 (366)	0,464	-0,19 (trivial)	73 (-579; 724)	0,76 (0,18; 0,93)*	507	235	14

Continua.

									Conclusão.
A $\dot{V}O_2$ (L·O ₂)	1981 (703)	2242 (1418)	0,440	-0,23 (pequeno)	261 (-1950; 2473)	0,67 (-0,15; 0,90)*	1794	798	38
TED (L·O ₂)	4857 (2020)	5223 (2484)	0,572	-0,16 (trivial)	366 (-3898; 4630)	0,71 (-0,24; 0,92)*	3368	1538	31
AOD (L·O ₂)	2876 (1478)	2981 (1249)	0,810	-0,08 (trivial)	105 (-2788; 2998)	0,61 (-0,47; 0,89)	2369	1044	36

T_{Lim}: tempo até a exaustão EXT. TT: trabalho total mecânico (kJ). $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ (mL·min⁻¹): maiores médias do $\dot{V}O_2$ a cada 5 s no EXT. A $\dot{V}O_2$ (mL): integral do $\dot{V}O_2$ no EXT. TED (mL): produto entre o $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ e o T_{Lim}. AOD (mL): diferença entre a TED e o A $\dot{V}O_2$. *: $p < 0,05$ no ICC (modelo = misto de duas vias; tipo = valores médios entre duas medidas; definição = concordância absoluta). Bias: média dos resíduos. 95% LoA: limites de concordância (95%) do bias. ICC: coeficiente de correlação intraclass (*two-way mixed; single rater; absolut agreement; 2.1*). SDD: diferença mínima detectável. ET: erro típico. CV: coeficiente de variação.

4.4 Discussão

O presente estudo teve como objetivo investigar a reprodutibilidade teste-reteste de variáveis fisiológicas obtidas após esforços exaustivos em intensidades máximas utilizando um modelo de exercício controlado (EDJ). Ênfase foi dada no estudo das contribuições energéticas anaeróbias por meio do AOD. Os resultados demonstraram que a hipótese inicial foi parcialmente confirmada. Não foram observadas diferenças ou efeitos significativos em nenhuma das variáveis estudadas nas situações teste-reteste. Esses valores ainda foram acompanhados de baixos erros sistemáticos (i.e., Bias). Apesar dos valores médios apresentarem uma consistência satisfatória, foi observada grande variabilidade individual nas respostas. A heterogeneidade dos resultados pode ser verificada por elevados CV's e outros parâmetros de dispersão (i.e., LoA, SDD e ET). Além disso, os ICC's foram classificados como “moderado” ou “pequeno”, limitando a reprodutibilidade dessas variáveis.

A aplicação de uma ferramenta de avaliação depende da sua consistência ao longo de repetidas avaliações, evidenciada por pequenas diferenças médias (Bias), pouca variação entre os sujeitos (e.g., ET) e com elevadas correlações teste-reteste (ICC) (HOPKINS, 2000; LAURSEN; FRANCIS; ABBISS; NEWTON *et al.*, 2007). No melhor de nosso conhecimento, não há evidências disponíveis sobre a reprodutibilidade das contribuições anaeróbias com a medida do AOD durante a EDJ, o que limitou a comparação dos presentes achados. Apesar disso, foram conduzidos estudos em outras modalidades de exercício ou com metodologias complementares (KALVA-FILHO; ARAUJO; SILVA; GOBATTO *et al.*, 2016; MIYAGI; DE POLI; PAPOTI; BERTUZZI *et al.*, 2017; ZAGATTO; BERTUZZI; MIYAGI; PADULO *et al.*, 2016) nos quais as estimativas anaeróbias apresentaram valores consistentes (ZAGATTO; BERTUZZI; MIYAGI; PADULO *et al.*, 2016).

Tradicionalmente, as contribuições anaeróbias são determinadas por meio do máximo AOD (MAOD), que envolve a estimativa da TED com a extrapolação dos valores submáximos do $\dot{V}O_2$ (i.e., relação $\dot{V}O_2$ -intensidade). Apesar de resultados conflitantes (DOHERTY; SMITH; SCHRODER, 2000), foi demonstrada que essa metodologia tem valores satisfatórios de reprodutibilidade tanto a 110% quanto a 120% da $i\dot{V}O_{2pico}$ quando determinada no ciclismo (ICC > 0,95) (WEBER; SCHNEIDER, 2001). De forma semelhante, Kalva-Filho et al. (2016) reportaram um CV de 9,5% e ICC de 0,93 no MAOD determinado em nado atado. Apesar da consistência do MAOD, essa metodologia é pouco viável na rotina laboratorial e frequentemente são levantadas críticas a seu respeito (NOORDHOF; KONING; FOSTER, 2010).

Diferentemente, nesse estudo foi investigada a reprodutibilidade das contribuições anaeróbias por meio do AOD, que demonstrou ser apropriado para a EDJ (**Manuscrito 1**). Apesar das vantagens metodológicas, os valores de reprodutibilidade apresentados aqui são inferiores aos do MAOD (**Figuras 1 e 2**). Os valores médios desse índice permaneceram estáveis nos dois momentos de avaliação (**Figura 1A**). Apesar disso, assim como na maioria das variáveis estudadas (**Tabela 2**), pode-se observar a acentuada dispersão individual (**Figura 1B**). Especificamente, ~42% dos participantes apresentaram diferenças teste-reteste maiores que o SEM, resultando em um elevado CV (36%). Ainda, apesar de um erro sistemático médio baixo (Bias = 105 mL) e dos resíduos terem sido distribuídos de forma aleatória (i.e., heterocedasticidade; $r = 0,18$; $p = 0,567$), a amplitude dos limites de concordância foi elevada (95% LoA = ± 2893 mL) (**Figura 2**). Para a aplicação do AOD em estudos longitudinais, onde um possível efeito de treinamento é esperado, deve-se levar em consideração a elevada variabilidade desse índice.

Em conformidade com os estudos iniciais que determinaram o AOD, calculamos a TED com a projeção do comportamento do $\dot{V}O_2$ (KARLSSON; SALTIN, 1970). O AOD foi então calculado como a diferença entre o produto do T_{Lim} e do $\dot{V}O_{2pico}$ e o $A\dot{V}O_2$. Desse modo, regressões lineares foram construídas com esses parâmetros em um objetivo de identificar as variáveis responsáveis pelo ΔAOD (**Figura 3**). Foi identificado que apenas o ΔT_{Lim} contribuiu de forma significativa para o ΔAOD , explicando 70% dessas variações ($r^2 = 0,70$; $p < 0,001$). O T_{Lim} é de fato um índice importante para o estudo da reprodutibilidade também em outras modalidades de exercício (LAURSEN; FRANCIS; ABBISS; NEWTON *et al.*, 2007). Apesar de Miyagi *et al.* (2017) terem reportado um CV satisfatório (4,1%; 115% da $i\dot{V}O_{2max}$) em ciclistas recreacionalmente treinados, Billat *et al.* (1994), verificaram um CV de 25% no T_{Lim} a 100% da $i\dot{V}O_{2max}$ em corredores. De modo semelhante, Kalva-Filho *et al.* (2016) reportaram um CV de 18,8% nessa intensidade em nado atado. Portanto, além dos fatores motivacionais (LAURSEN; FRANCIS; ABBISS; NEWTON *et al.*, 2007), a reprodutibilidade do T_{Lim} é dependente da modalidade e da intensidade de exercício.

É importante ressaltar que as comparações com os estudos citados devem ser extrapoladas com cautela, uma vez que o modelo de EDJ tem respostas fisiológicas específicas (KALVA-FILHO; BARBIERI; DE ANDRADE; GOBBI *et al.*, 2020). Os resultados do presente estudo são suportados com uma parcela da literatura vigente, mas apresentam limitações que devem ser mencionadas. Aqui, foram utilizados esforços exaustivos com intensidade constante, protocolo onde fatores motivacionais podem confundir as respostas e aumentar sua variação (HOPKINS; SCHABORT; HAWLEY, 2001). Além disso, em esforços

constantes não há a possibilidade de estratégias de ritmo (i.e., *pacing*), fator que parece ser inerente à performance humana (LAURSEN; FRANCIS; ABBISS; NEWTON *et al.*, 2007).

Esse modelo de teste é utilizado com base no conceito de capacidade anaeróbia e a depleção desses estoques ao término do esforço (MEDBØ; MOHN; TABATA; BAHR *et al.*, 1988). Assim, em esforços com intensidade variável (e.g., performance em 800-1500 m), a capacidade anaeróbia pode, supostamente, ser recuperada em períodos específicos da prova. Como foi observado que a maior contribuição para a variação do AOD é proveniente do ΔT_{Lim} , futuras investigações podem enfatizar protocolos exaustivos que possuam melhores índices de reprodutibilidade (e.g., *time trial*) (HOPKINS; SCHABORT; HAWLEY, 2001; LAURSEN; FRANCIS; ABBISS; NEWTON *et al.*, 2007). Essa abordagem pode ser utilizada para verificar as contribuições energética, mas parece ser limitada na estimativa da capacidade anaeróbia (NOORDHOF; KONING; FOSTER, 2010).

Um possível efeito de aprendizagem ao KE também não deve ser descartado, mesmo com a baixa complexidade desse gesto motor. Outros estudos relacionados a reprodutibilidade da capacidade anaeróbia utilizaram ergômetros ou modalidades que os participantes estavam amplamente familiarizados. Assim, sugerimos um protocolo robusto de familiarização envolvendo um maior número de sessões e variedades de esforços no KE. Ainda que o CV apresentado aqui (25%) tenha sido identificado em outros estudos, acreditamos que adoção dessas estratégias possam aumentar a reprodutibilidade desse protocolo e garantir valores de AOD mais robustos.

4.5 Conclusão

Parcialmente contribuindo com nossa hipótese inicial, foi verificada que a reprodutibilidade teste-reteste do AOD e de índices fisiológicos é limitada em esforços exaustivos com o modelo de EDJ. Nenhum dos parâmetros estudados apresentou diferenças ou efeitos significativos nas repetidas avaliações, mas os valores individuais apresentaram uma elevada dispersão. Nesse contexto, apesar do EDJ e do AOD apresentarem uma abordagem metodológica importante, a reprodutibilidade teste-reteste dos parâmetros investigados deve ser extrapolada para futuras investigações de forma cautelosa. Sugerimos um protocolo de familiarização envolvendo diferentes sessões antes da aplicação dessa metodologia em diferentes desenhos experimentais.

CAPÍTULO 5 – MANUSCRITO 3

5 MANUSCRITO 3

Efeitos do modelo “*Live High – Train Low*” associado a um programa de treinamento anaeróbio sobre as contribuições energéticas anaeróbias.

5.1 Introdução

No contexto esportivo, diferentes estratégias são utilizadas com o objetivo de melhorar o desempenho atlético (MILLET; CHAPMAN; GIRARD; BROCHERIE, 2017). Uma abordagem frequentemente utilizada é a exposição a altitudes elevadas (LUNDBY; MILLET; CALBET; BÄRTSCH *et al.*, 2012; LUNDBY; ROBACH, 2016). Apesar de diferentes formas de exposição encontradas na literatura, um dos modelos mais investigado é o *Live High-Train Low* (LH-TL). Nesse modelo, os participantes são expostos à hipóxia durante os períodos de recuperação ou sono, mas realizam suas sessões de treinamento próximos ao nível do mar (LEVINE; STRAY-GUNDERSEN, 1997). Assim, a qualidade das sessões de treinamento é mantida, diminuindo os efeitos deletérios usualmente relatados pela exposição contínua (i.e. *Live High-Train High*) (MILLET; ROELS; SCHMITT; WOORONS *et al.*, 2010).

As principais adaptações promovidas pelo modelo LH-TL envolvem a melhora na capacidade de transporte de oxigênio (O_2) (MONTERO; LUNDBY, 2018). Em ambientes com baixas frações inspiradas de oxigênio (FiO_2), a saturação arterial de O_2 (SaO_2) é reduzida, estimulando a produção renal de eritropoietina (EPO) e consequentemente, a formação de novas células vermelhas (JELKMANN, 2011; MONTERO; LUNDBY, 2018). Além desses mecanismos centrais, foi verificado que a exposição à hipóxia promove adaptações não-hematológicas (i.e. periféricas). Nesse contexto, têm sido relatadas melhoras na capacidade de tamponamento (GORE; HAHN; AUGHEY; MARTIN *et al.*, 2001), regulação do pH (NUMMELA; RUSKO, 2000), economia de movimento (GORE; CLARK; SAUNDERS, 2007; SCHMITT; MILLET; ROBACH; NICOLET *et al.*, 2006) e melhora no desempenho em provas de curta duração (HAHN; GORE; MARTIN; ASHENDEN *et al.*, 2001; ROBERTS; CLARK; TOWNSEND; ANDERSON *et al.*, 2003). Apesar do potencial do modelo LH-TL em induzir adaptações não oxidativas, poucos estudos têm sido conduzidos com essa abordagem (GORE; CLARK; SAUNDERS, 2007), possivelmente pelas dificuldades encontradas na mensuração do metabolismo anaeróbio (GASTIN, 1994).

Estimativas das contribuições anaeróbias têm sido reportadas por meio do déficit acumulado de oxigênio (AOD), proposto inicialmente por Krogh e Lindhard (KROGH;

LINDHARD, 1920). O AOD é calculado pela diferença entre o custo energético estimado para uma intensidade de exercício (i.e., demanda energética teórica; TED) e a energia proveniente do metabolismo aeróbio ao longo do esforço ($\dot{V}O_2$) (GASTIN, 1994). No melhor do nosso conhecimento, somente dois estudos investigaram o efeito do LH-TL sobre capacidade anaeróbia, representada pelo máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD) (LEVINE; STRAY-GUNDERSEN, 1997; ROBERTS; CLARK; TOWNSEND; ANDERSON *et al.*, 2003). Apesar disso, esses estudos apresentam resultados contraditórios e a comparação entre eles é dificultada pelas diferentes cargas de exposição utilizadas.

Apesar do MAOD ser o protocolo mais utilizado atualmente para a determinação da capacidade anaeróbia (NOORDHOF; KONING; FOSTER, 2010), essa metodologia pode apresentar diversas limitações (BANGSBO, 1992; BANGSBO, 1996; NOORDHOF; KONING; FOSTER, 2010). Além das críticas relacionadas a construção TED (i.e., equação $\dot{V}O_2$ -intensidade), a extrapolação do MAOD para modelos de exercício globais, envolvendo grandes grupamentos musculares (e.g. corrida ou natação), pode ser limitada (BANGSBO, 1996; GASTIN, 1994).

A utilização do modelo de extensão dinâmica de joelhos (EDJ) pode melhorar o entendimento sobre índices anaeróbios (BANGSBO, 1996; GASTIN, 1994). Nesse modelo experimental, é utilizado um ergômetro onde sucessivas extensões de joelho são realizadas de maneira cíclica (ANDERSEN; ADAMS; SJAGAARD; THORBOE *et al.*, 1985). Ainda, a fase excêntrica do exercício (i.e., flexão de joelhos) é realizada passivamente. Dessa forma, as respostas fisiológicas observadas refletem a atividade muscular do *Quadriceps Femoris* (KALVA-FILHO; BARBIERI; DE ANDRADE; GOBBI *et al.*, 2020). Com a utilização de um grupamento muscular controlado, as estimativas da TED podem ser mais fidedignas, com poucas influências de músculos não envolvidos diretamente no esforço (KALVA-FILHO; BARBIERI; DE ANDRADE; GOBBI *et al.*, 2020).

Recentemente nosso laboratório investigou diferentes metodologias para a estimativa das contribuições anaeróbias durante a EDJ. Foi verificado que a metodologia convencional do AOD (i.e., TED estimada pela extrapolação dos valores de $\dot{V}O_2$; sem construção da reta $\dot{V}O_2$ -intensidade) deve ser utilizada nesse modelo de exercício (**Capítulo 3**). Além disso, esse ergômetro permite a realização do treinamento unilateral (*Saltin's Paradigm*) (BOOTH, 2015). Com essa metodologia, apenas um membro é submetido a uma condição experimental, enquanto sua perna contralateral é utilizada como controle. Além de aumentar o tamanho amostral, essa estratégia permite a diminuição da variabilidade individual nas medidas de interesse (BOOTH, 2015).

Um modelo de treinamento que evidencia adaptações anaeróbias foi proposto por Gibala e colaboradores (2006), denominado *Sprint Interval Training* (SIT). O protocolo consiste em consecutivos sprints (4-6 esforços *all out*) com durações de 30 segundos e pausas prolongadas (~4 minutos). Após adaptações iniciais a esse protocolo, foram evidenciadas melhoras no conteúdo de glicogênio (BURGOMASTER; HEIGENHAUSER; GIBALA, 2006) e capacidade de *buffer* muscular (GIBALA; LITTLE; VAN ESSEN; WILKIN *et al.*, 2006), aumento no conteúdo e atividade enzimática (GIBALA; MCGEE, 2008), além de melhoras na performance de alta intensidade (i.e. ~120 s; 50 kJ *time trial*) (GIBALA; LITTLE; VAN ESSEN; WILKIN *et al.*, 2006).

A combinação do modelo LH-TL com a realização de um período de SIT pode apresentar efeitos aditivos às adaptações nos sistemas anaeróbios. Apesar disso, a adição desses dois protocolos pode aumentar de maneira excessiva a sobrecarga no organismo (BELLINGER, 2020). Com o objetivo de atenuar a fadiga residual promovida por esse protocolo, a utilização de um período de polimento pode ser uma estratégia interessante (MUJICA; GOYA; PADILLA; GRIJALBA *et al.*, 2000). Apesar dessas possíveis adaptações, poucos estudos investigaram o efeito da manipulação das cargas de treinamento sobre as adaptações do LH-TL.

Considerando a aplicabilidade do AOD como um índice anaeróbio, bem como a lacuna relacionada aos efeitos da exposição à hipóxia e de diferentes modelos de treinamento sobre as adaptações não oxidativas, o presente estudo teve três objetivos. O primeiro objetivo foi investigar a sensibilidade do AOD a um período de treinamento (18 sessões) com ênfase nas adaptações anaeróbias, seguido de um período de polimento (6 sessões). Ainda, esse estudo procurou investigar se o modelo de exposição à hipóxia intermitente (LH-TL) é superior ao modelo tradicional de treinamento (normóxia) nas adaptações anaeróbias. Por fim, foi objetivo desse estudo investigar se essas adaptações são correlacionadas ao desempenho em esforços de alta intensidade ao longo do período de intervenção. Nesse sentido, nossa hipótese é que o modelo LH-TL promove adaptações superiores ao mesmo treinamento em normóxia ou somente a exposição passiva. Além disso, temos como hipótese que as contribuições anaeróbias se correlacionam ao desempenho em esforços exaustivos utilizando um grupamento muscular conhecido.

5.2 Materiais e Métodos

As coletas de dados desse estudo são provenientes do projeto “[Adaptações metabólicas, hematológicas e neuromusculares provenientes do treinamento "dormir alto e treinar baixo", seguido de um período de polimento: um estudo duplo-cego e randomizado](#)”. Entretanto, a metodologia e os resultados apresentados aqui são originais.

Participantes

Catorze homens participaram voluntariamente do presente estudo [Média (DP): idade: 28 (7) anos; massa corporal: 82 (16) kg; estatura: 179 (5) cm]. Todos os participantes eram saudáveis sem histórico de doenças metabólicas e não realizaram viagens à altitude superiores a 1200 metros no ano anterior ao experimento. Além disso, apesar de participarem de diferentes tipos de modalidades esportivas recreacionais, os sujeitos podem ser classificados entre fisicamente ativos e muito ativos (MATSUDO; MATSUDO; ARAÚJO; ANDRADE *et al.*, 2002). Todos os voluntários foram instruídos a manterem seus hábitos usuais de alimentação e exercício durante todo o estudo. Os participantes foram informados sobre os procedimentos realizados durante o estudo, bem como seus objetivos e potenciais riscos e assinaram o Termo de Compromisso Livre e Esclarecido (TCLE), aprovado anteriormente pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Escola de Educação Física e Esporte de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo (nº 60300316.6.0000.5659).

Delineamento experimental

Inicialmente, utilizaríamos um delineamento experimental duplo-cego e controlado por placebo. Entretanto, considerando as características do estudo (e.g. longa duração, estadia na universidade e caráter invasivo), o recrutamento de voluntários foi limitado. Para avaliar os efeitos da condição ambiental, bem como do período de treinamento e polimento nas adaptações anaeróbias, os participantes incluídos no estudo foram distribuídos em grupo normóxia (GN; n = 5) e grupo exposição à hipóxia (GH; n = 9). Os participantes foram avaliados em três momentos: M1 (baseline; após protocolo de familiarização), M2 (pós-treinamento; 18 sessões) e M3 (pós-polimento; 6 sessões). O experimento teve uma duração total de 10 semanas. Após as avaliações iniciais, o GH foi alocado em três tendas com três participantes em cada. Uma tenda foi disponibilizada para os participantes do GN, entretanto, apenas três sujeitos permaneceram na tenda por conta de suas dimensões (i.e., normóxia - placebo; n = 3). Ressaltamos que apenas o pesquisador principal do projeto (não envolvido nas coletas) sabia das disposições dessas tendas (i.e. duplo-cego, controlado por placebo). Apesar desse cuidado metodológico, dois participantes do GN realizaram todas as avaliações e sessões de

treinamento, mas foram impossibilitados de permanecer em nossas instalações (i.e., normóxia - não placebo; $n = 2$). Assim, o GN compreendeu todos os participantes que não foram expostos à hipóxia ($n = 5$; normóxia-placebo + normóxia-não placebo).

Por meio do uso do paradigma de “Bengt Saltin” (BOOTH, 2015) os participantes pertencentes a ambos os grupos (GN e GH) treinaram somente uma perna em um ergômetro de extensão dinâmica de joelhos (EDJ) seguindo o mesmo protocolo. Desse modo, os participantes foram representados por vinte e oito unidades experimentais. Assim, foram obtidos quatro grupos de acordo com as condições experimentais: i) perna treinada em hipóxia (modelo *Live High-Train Low* [LH-TL]; $n=9$); ii) perna treinada em normóxia (modelo *Live Low-Train Low* [LL-TL]; $n=5$); iii) perna controle em hipóxia (modelo *Live High-Control* [LH-C]; $n=9$); iv) perna controle em normóxia (modelo *Live Low-Control* [LL-C]; $n=5$). As pernas que foram submetidas ao protocolo de treinamento foram escolhidas de maneira randômica. Não foram observadas diferenças significativas entre os quatro grupos para a massa corporal ($p = 0.50$), idade ($p = 0.25$) e estatura ($p = 0.34$) antes do início do experimento.

Exposição à hipóxia

A hipóxia foi gerada (CAT-430TM, Altitude Control Technologies, Lafaiete, EUA) e transferida para tendas normobáricas (Colorado Altitude Training Tent TM, Lafaiete, EUA), onde os participantes permaneceram aproximadamente 10 horas·dia⁻¹ durante o período de sono ou recuperação. Os participantes foram orientados a permanecer o maior número de horas dentro das suas respectivas tendas. Apesar disso, eles foram autorizados a deixarem as instalações da Universidade para manterem sua rotina habitual (e.g. trabalho, estudos, visitas à família) caso houvesse necessidade. As tendas do GH foram programadas para simular uma altitude de 3000m (FiO₂ de 14,5%). A concentração de oxigênio das tendas foi frequentemente monitorada com um sensor de oxigênio (Oxygen Sensor R-17MED, Teledyne Analytical Instruments, Califórnia, EUA). A tenda do GN permaneceu em normóxia (546 m de altitude), e o gerador desse grupo estava ligado em uma potência mínima, garantindo a situação placebo para esses participantes.

Antes da entrada e saída das tendas e esporadicamente durante a noite, a FC e a saturação periférica de oxigênio (SpO₂) foram determinadas por meio de um oxímetro (Premium, Dellamed, Brasil) para garantir a segurança dos voluntários. A dose de exposição à hipóxia (DH) foi calculada com o objetivo de representar as variações individuais à altitude (MILLET; BROCHERIE; GIRARD; WEHRLIN *et al.*, 2016). A DH foi assumida para cada participante como o produto entre o tempo de exposição (h) e a redução na SpO₂, assumindo valores basais

de 98%, segundo a fórmula adaptada de Millet et al. (MILLET; BROCHERIE; GIRARD; WEHRLIN *et al.*, 2016): $DH (\% \cdot h) = (98 - SpO_2 \text{ média}) * \text{tempo de exposição (h)}$. Ainda, a dose externa de hipóxia (DE; km·h) foi calculada como o produto entre a altitude de exposição (km) e o tempo de exposição (h) (GARVICAN-LEWIS; SHARPE; GORE, 2016).

Modelo de exercício – Ergômetro de extensão dinâmica de joelhos (EDJ)

O EDJ foi utilizado em todas as avaliações e sessões de treinamento ao longo do experimento. Esse ergômetro é um protótipo construído pelo nosso laboratório com base em um modelo previamente documentado (ANDERSEN; ADAMS; SJAGAARD; THORBOE *et al.*, 1985; KALVA-FILHO; BARBIERI; DE ANDRADE; GOBBI *et al.*, 2020). Esse modelo de exercício permite um padrão de movimento onde o grupamento muscular do quadríceps (i.e. *Quadriceps Femoris*) é o principal agente motor. Para mais informações sobre suas características, consulte Kalva-Filho et al. (2020). Resumidamente, nesse aparato o participante senta-se firmemente em um banco automotivo com seu tornozelo preso por uma bota metálica. Essa bota é conectada a um ciclo ergômetro convencional (Monark 828, Vansbro, Suécia) por meio de uma haste metálica, permitindo a realização do movimento de extensão de joelhos de maneira dinâmica (i.e. cíclica). A fase excêntrica nesse modelo (i.e., flexão de joelhos) acontece passivamente, uma vez que a inércia gerada pelo aparato traciona a perna de volta à sua posição inicial. Dessa forma, conseguimos inferir que as alterações na demanda metabólica são provenientes do grupamento muscular de interesse (i.e., *Quadriceps Femoris*).

O sistema de frenagem mecânica possui uma manivela que permite o ajuste de tensão de uma fita sobre a roda da bicicleta. Essa tensão é monitorada por uma escala, onde um pêndulo move-se para demarcar a intensidade (quilograma-força; Kgf). Apesar desse ergômetro não possuir uma interface com o monitoramento instantâneo da intensidade aplicada, a determinação da potência (W) e do trabalho total (TT; kJ) foram obtidas conforme descrito por Kalva-Filho et al. (2020).

Análises ventilatórias

Os parâmetros ventilatórios foram monitorados continuamente durante as avaliações. Para isso, os participantes foram acoplados a uma máscara oronasal (7450 Series Silicone V2™, Hans Rudolph Inc., EUA) conectada a um analisador de gases (Quark CPET ou K4b2, Cosmed, Itália), onde as amostras foram registradas *breath-by-breath*. A FC foi obtida por meio de uma cinta peitoral com transmissor (H7, Polar Electro, Kempele, Finlândia), conectado à interface do analisador de gases. O equipamento foi calibrado de acordo com as instruções do fabricante,

onde foi utilizado o ar ambiente, uma mistura de gases contendo 16% de O₂ e 5% de CO₂ (White Martins, Osasco, SP, Brasil) e uma seringa de 3 L (Hans Rudolph Inc., USA). Para padronizar o tempo entre cada respiração, os dados de $\dot{V}O_2$ foram interpolados a cada segundo. Valores de repouso foram registrados com os participantes sentados previamente aos esforços.

Protocolos de avaliações

Em cada período (i.e., M1, M2 e M3) os participantes foram submetidos a dois dias de avaliações. Todos os testes foram realizados de maneira unilateral com um intervalo mínimo de 30 minutos entre cada pernas (HANSEN; FISCHER; PLOMGAARD; ANDERSEN *et al.*, 2005) e de 24 h entre cada teste. As avaliações seguiram essa ordem: i) teste incremental exaustivo (GXT) para a determinação da potência pico (PPO); ii) esforço de intensidade constante até a exaustão voluntária (EXT). Em ambos os protocolos, a exaustão foi assumida como a incapacidade de sustentar a cadência determinada (i.e., 50 rpm) por mais de 10 s, mesmo com forte encorajamento verbal. A RPE também foi monitorada ao final de cada avaliação.

Teste incremental até a exaustão (GXT)

A manipulação das variáveis do GXT (e.g., duração dos estágios, intensidade dos incrementos) pode interferir na determinação das âncoras fisiológicas (BENTLEY; NEWELL; BISHOP, 2007; JAMNICK; BOTELLA; PYNE; BISHOP, 2018). Assim, utilizamos um protocolo que demonstrou-se válido para esse modelo de exercício (KALVA-FILHO; BARBIERI; DE ANDRADE; GOBBI *et al.*, 2020). Após cinco minutos de aquecimento com intensidade de 11 W, foi conduzido um esforço progressivo escalonado com incrementos de 11 W·min⁻¹ até a exaustão voluntária. A PPO foi atribuída como a intensidade ao final do teste. Nos casos onde a exaustão ocorreu durante os estágios (i.e. estágios incompletos), a PPO foi ajustada conforme a equação (KUIPERS; RIETJENS; VERSTAPPEN; SCHOENMAKERS *et al.*, 2003): $PPO = PC + ([T \cdot D^{-1}] \cdot I)$, onde a PC é a potência do último estágio completo (W); T é o tempo em que o participante permaneceu no estágio incompleto (s); D é a duração dos estágios (i.e. 60 s); I é a intensidade dos incrementos (i.e. 11 W).

No GXT, a média dos 30 s finais do $\dot{V}O_2$ de cada estágios foram analisados e os maiores valores considerados ($\dot{V}O_{2GXT}$). O primeiro limiar ventilatório (VT₁) e o segundo limiar ventilatório (VT₂) foram determinados para a prescrição do treinamento (POOLE; ROSSITER; BROOKS; GLADDEN, 2020; SEILER; KJERLAND, 2006). O VT₁ foi assumido como o aumento do equivalente de O₂ ($\dot{V}E/\dot{V}O_2$) concomitante à quebra da linearidade da ventilação

minuto ($\dot{V}E$). O VT_2 foi atribuído à intensidade onde o equivalente de CO_2 ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$) também aumentou (POOLE; ROSSITER; BROOKS; GLADDEN, 2020; SEILER; KJERLAND, 2006).

Esforço exaustivo (EXT) e cálculo do Déficit Acumulado de Oxigênio (AOD)

No segundo dia de avaliações, os participantes foram submetidos a um esforço de intensidade constante até a exaustão voluntária (EXT). A duração do EXT (tempo até a exaustão; T_{Lim}) e o TT foram utilizados como parâmetros de performance. A integral do $\dot{V}O_2$ durante o esforço foi atribuída à contribuição aeróbia ($\dot{V}O_2$ acumulado; $A\dot{V}O_2$). Tradicionalmente os esforços são supramáximos (i.e., 110-120% da PPO ou $i\dot{V}O_{2pico}$) para a determinação dos maiores valores nas contribuições anaeróbias (ZAGATTO; BERTUZZI; MIYAGI; PADULO *et al.*, 2016). Apesar disso, verificamos em estudos pilotos anteriores que no EDJ os participantes não conseguem sustentar essas elevadas intensidades pelo tempo mínimo necessário (MEDBØ; MOHN; TABATA; BAHR *et al.*, 1988). Por esse motivo, a intensidade do esforço exaustivo (PWR_{ext}) foi ajustada para ter uma duração aproximada entre 2 e 5 minutos (~100% PPO). Também foi verificado que essa intensidade apresenta valores mais robustos nas variáveis anaeróbias, com melhores índices de reprodutibilidade (dados não-publicados).

Ainda, a determinação do custo energético teórico por meio da extrapolação dos valores submáximos (i.e., MAOD) parece não ser adequada para esse modelo de exercício (**Capítulo 3**). Em exercícios no domínio severo, onde a exaustão ocorre antes do aparecimento do componente lento do $\dot{V}O_2$ (WHIPP, 1994), o custo energético pode ser estimado pelos valores de $\dot{V}O_{2pico}$ (i.e. $\dot{V}O_2$ estável projetado porém não atingível) (OZYENER; ROSSITER; WARD; WHIPP, 2003). Dessa forma, o produto entre a maior média do $\dot{V}O_2$ a cada 5 s ($\dot{V}O_{2exh}$) e o T_{Lim} foi considerada a demanda energética total teórica para o EXT (TED_{AOD}). Assim, o AOD foi assumido como a diferença entre a TED_{AOD} e o $A\dot{V}O_2$.

Sessões de treinamento

Foi elaborado um programa de treinamento experimental com ênfase nas adaptações anaeróbias ao longo de 18 sessões (~ 4 semanas) seguido por um período de polimento de 6 sessões (~ 1 semana) (MUJICA; GOYA; PADILLA; GRIJALBA *et al.*, 2000). As zonas de intensidade de treino foram aplicadas com bases nas âncoras fisiológicas de acordo com o modelo de 3-Zonas (SEILER; KJERLAND, 2006). Para o treinamento no domínio pesado (i.e., Zona 2; Z2), foram aplicados esforços na intensidade correspondente ao VT_2 (iVT_2) com períodos curtos de recuperação (i.e. 4-6 x 5 min ou 2-3 x 10 min; 1 min de intervalo). Os

estímulos no domínio severo (i.e. Zona 3; Z3) foram caracterizados como *High Intensity Interval Training* (HIIT) (BUCHHEIT; LAURSEN, 2013). As sessões de HIIT foram prescritas a partir da PPO com durações de 2 min e intervalos curtos (i.e. 8 x 2 min; 1 min de intervalo). Além disso, sessões no formato *Sprint Interval Training* (SIT) foram aplicadas (GIBALA; LITTLE; VAN ESSEN; WILKIN *et al.*, 2006). Essas sessões foram compostas de estímulos com intensidade a 200% da PPO com duração de 30 s e maiores períodos de recuperação (i.e. 1-7 x 30 s (*all out*); 3 min e 30 de intervalo).

As cargas de treinamento aumentaram ao longo da periodização principalmente pelo aumento do volume dos estímulos em elevadas intensidades. O período de polimento foi caracterizado pela redução progressiva e não linear do volume e manutenção dos estímulos de intensidade (MUJICA; GOYA; PADILLA; GRIJALBA *et al.*, 2000; MUJICA; PADILLA, 2003). O modelo de distribuição das cargas de treinamento foram caracterizados de duas formas (SYLTA; TØNNESSEN; SEILER, 2014): i) Objetivo da sessão (OS): número de sessões realizadas em cada zona de acordo com o objetivo da série principal (i.e. Z1, Z2 e Z3). ii) Tempo em Zona (TZ): tempo total acumulado em cada Zona, incluindo aquecimentos.

Ao final de cada esforço, a percepção subjetiva de esforço (RPE) foi determinada por meio da escala de 10 pontos (FOSTER, 2001), a qual todos os participantes eram familiarizados. A carga interna de treinamento (RPE-sessão; u.a.) foi determinada pelo produto entre a RPE e o volume da sessão (FOSTER, 2001). É importante ressaltar que todos os participantes deixaram as instalações da Universidade no período de polimento. Assim, esse período foi realizado exclusivamente em normóxia, mantendo a situação placebo.

Análise estatística

Os dados foram submetidos aos protocolos usuais para inspeção da normalidade (*Shapiro-Wilk test*), homogeneidade de variância (*Levene's test*) e esfericidade (*Mauchly's test*). Além disso, a dispersão dos dados e a presença de outliers foi verificada por meio de gráficos *box-plot* e histogramas. Apesar disso, considerando o pequeno número de participantes em cada grupo experimental, bem como a elevada variabilidade individual, alguns pressupostos foram violados. Assim, os procedimentos não paramétricos foram utilizados e os dados estão apresentados como mediana e intervalo interquartil (IQR). A variação percentual do AOD (M2-M1; M3-M1 e M3-M2) em cada grupo também foi calculada (Δ AOD [%]). Ainda, as pernas treinadas de ambos os grupos foram normalizadas pelos seus controles individuais (LH-TL/LH-C e LL-TL/LL-C) e as adaptações exibidas em proporção de melhora/piora (*fold change*). Para atribuir um índice de estabilidade na medida do AOD, foi calculado o erro típico do

experimento em porcentagem (coeficiente de variação; CV%) com os dados agrupados do M1 (desvio padrão das diferenças/ $\sqrt{2}$).

Para verificar o efeito dos diferentes momentos em cada grupo (i.e. medidas repetidas; *within subject*), foi utilizada a análise de variância de Friedman (χ^2). Para cada momento específico, as diferenças entre os grupos (i.e., grupos independentes; *between subject*) foi verificada pela análise de variância de Kruskal-Wallis (H). Quando verificada a significância dos efeitos principais, as comparações múltiplas por pares foram realizadas *post-hoc* pelo teste de Dunn's, com os valores de significância ajustados (correção de Bonferroni; p_{adj}). Quando necessário, os testes de Mann-Whitney (U) e Wilcoxon *signed-rank* (WSR) foram utilizados e especificados.

Em todas as análises, os valores de p foram acompanhados pela estimativa do tamanho do efeito (ES) (FRITZ; MORRIS; RICHLER, 2012; LAKENS, 2013; TOMCZAK; TOMCZAK 2014). Para a estatística χ^2 , o ES foi calculado por meio do coeficiente de concordância de Kendall's (ES_K). Nas inferências por WSR, o ES foi estimado pela razão entre a estatística Z e a raiz do número total de observações (ES_Z). Nas duas análises (i.e. ES_K e ES_Z), o ES foi interpretado como: *pequeno* $< 0,3$; *médio* $0,3-0,5$; *grande* $> 0,5$ (COHEN, 1992). Para os ES entre grupos independentes, o *eta-squared* foi calculado (i.e. Kruskal-Wallis: η_H^2 ; Mann-Whitney: η_U^2) (TOMCZAK; TOMCZAK 2014) e interpretado como: *pequeno* $< 0,06$; *médio* $0,06-0,14$; *grande* $> 0,14$ (LAKENS, 2013).

Para verificar a força da relação entre as variáveis dependentes e os índices de desempenho, os valores dos diferentes tratamentos (i.e., LH-TL, LL-TL, LH-C e LL-C) foram agrupados ($n = 28$) e foi utilizada a estatística paramétrica. Logo, o coeficiente de correlação de Pearson (r) e seu intervalo de confiança (IC95%) foram utilizados. As correlações foram classificadas como: *trivial* $< 0,1$; *pequena* $0,1-0,3$; *moderada* $0,3-0,5$; *grande* $0,5-0,7$; *muito grande* $0,7-0,9$; e *extremamente grande* $> 0,9$ (HOPKINS; MARSHALL; BATTERHAM; HANIN, 2009). As análises foram realizadas pelo software Statistical Package for Social Sciences v.20 (IBM SPSS, IL, EUA) e GraphPad Prism v.7 (GraphPad Software, CA, EUA), com o nível de significância fixado em $p < 0,05$.

5.3 Resultados

Exposição à hipóxia

A efetividade do modelo LHTL foi apresentada previamente em outro trabalho (BERTUCCI et al., 2020). O período total de exposição às tendas (GH= 201 [13] vs GN= 201

[39] horas) não diferiu entre os grupos (U ; $p = 0,580$, $\eta^2 = 0,04$ [*pequeno*]). Entretanto, foi verificada uma redução significativa da SpO₂ apenas no GH (U ; 97 [0,4] vs 87 [3,6] %) ($p = 0,001$, $\eta^2 = 0,68$ [*grande*]). Além disso, a média da variação percentual da SpO₂ (i.e., diferença entre o momento de entrada e saída na tenda), também foi maior no GH (GH = -11 % vs GN = -1 %; U ; $p = 0,009$, $\eta^2 = 0,66$ [*grande*]). As doses de exposição internas e externas do GH foram 2217 (735) %·h e a 605 (33) km·h, respectivamente.

Sessões de Treinamento

Ao longo do período de treinamento (18 sessões), a dinâmica das distribuições das cargas foi (OS): 20% sessões Z2; 80% sessões Z3 (20% HIIT + 60% SIT). Apesar disso, de acordo com o modelo TZ, os participantes acumularam aproximadamente 235 min em Z2 (~70%) e 90 min em Z3 (~30%) (TZ). No período de polimento (6 sessões) a distribuição OS foi: 33% sessões Z2; 67% sessões Z3 (17% HIIT + 50% SIT) com 90 min em Z2 (~90%) e ~10 min em Z3 (~10%). O comportamento da RPE-sessão LH-TL e a LL-TL ao longo do período experimental, bem como os resultados das variáveis aeróbias obtidas no GXT foram descritas anteriormente (BERTUCCI et al., 2020). Dessa forma, aqui utilizamos essas variáveis apenas para prescrição dos esforços e os resultados não serão apresentados.

Esforços exaustivos: efeitos do período de avaliação (intragrupo)

Os resultados obtidos após os esforços exaustivos estão descritos na **Tabela 1**. O LL-TL apresentou diferenças entre os momentos em todas as variáveis estudadas ($p < 0,036$), com $ES_K > 0,66$ (*grande*). Com exceção da intensidade do EXT (PWR_{ext}) ($p = 0,01$, $ES_K = 0,82$ [*grande*]), o LH-TL não demonstrou melhoras significativas ($p > 0,293$, $ES_K < 0,16$ [*pequeno*]). Os grupos controle (LH-C e LL-C) mantiveram seus parâmetros estáveis ($p > 0,074$, $ES_K < 0,52$ [*grande*]).

Esforços exaustivos: efeitos da condição experimental (intergrupo)

Em M1, apenas o $\dot{V}O_{2pico}$ foi diferente entre os grupos ($p = 0,023$, $\eta^2 = 0,19$ [*grande*]), mas sem diferenças significativas nas análises *post-hoc* (Dunn's). No M2, efeitos principais para grupos foram observados para a PWR_{ext} ($p = 0,049$; $\eta^2 = 0,12$ [*médio*]), T_{Lim} ($p = 0,029$; $\eta^2 = 0,17$ [*grande*]), TT ($p = 0,045$; $\eta^2 = 0,13$ [*médio*]), TED ($p = 0,042$; $\eta^2 = 0,13$ [*médio*]) e por fim, AOD ($p = 0,036$; $\eta^2 = 0,15$ [*médio*]). Especificamente para as pernas treinadas, o modelo LH-TL foi superior ao LL-TL apenas para a PWR_{ext} (U ; $p = 0,022$; $\eta^2 = 0,60$ [*grande*]). O grupo LL-TL apresentou ranks superiores para as variáveis T_{Lim} (U ; $p < 0,033$; $\eta^2 = 0,33$

[*grande*]) e AOD (U ; $p < 0,014$; $\eta_H^2 = 0,43$ [*médio*]). Em M3, os resultados da ANOVA de Kruskal-Wallis demonstram efeito para grupos apenas na PWR_{ext} ($p = 0,043$; $\eta_H^2 = 0,13$ [*médio*]), sem diferenças para os grupos treinados (U ; $p = 0,894$; $\eta_U^2 < 0,01$ [*pequeno*]).

Déficit acumulado de oxigênio (AOD): variação percentual

Além dos valores absolutos, a variação do AOD (ΔAOD) em cada grupo está apresentada nas **Figura 5.1**, **Figura 5.2** e **Figura 5.3**. Foi verificado um efeito significativo entre grupos em M2-M1 ($p = 0,013$, $\eta_H^2 = 0,24$ [*grande*]). A variação do LL-TL (377 [321%]) foi superior a do LH-TL (-32 [100]) ($p_{adj} = 0,008$, $\eta_U^2 = 0,51$ [*grande*]). Não houve diferenças entre os grupos nos demais períodos de análise ($p > 0,263$, $\eta_H^2 = 0,08$ [*médio*]). O LL-TL ainda apresentou diferenças significativas entre os momentos ($p = 0,019$; $ES_K = 0,79$ [*forte*]), com o M2-M1 > M3-M2 (WSR; $p = 0,043$, $ES_Z = 0,52$ [*médio*]). O CV% do experimento foi de 35%.

Figura 5.1 - Variação percentual do Déficit Acumulado de Oxigênio (AOD) após o período de treinamento comparado com o baseline.

Os dados estão apresentados como valores individuais (círculos preenchidos) e mediana e intervalo interquartil (traços); $\Delta M2-M1$: diferença entre o momento pós-treinamento (18 sessões) e o baseline; LH-TL: perna treinada em hipóxia; LL-TL: perna treinada em normóxia; LH-C: perna controle em hipóxia; LL-C: perna controle em normóxia. Linhas tracejadas: coeficiente de variação do AOD (CV = 35%). *: $p = 0,013$ na ANOVA de Kruskal-Wallis. #: LL-TL > LH-TL ($p_{adj} = 0,008$; *post-hoc* de

Dunn's); &: LL-TL (M2-M1) > LL-TL (M3-M2) ($p = 0,043$; Wilcoxon *signed-rank*). Fonte: Autoria própria.

Figura 5.2 - Variação percentual do Déficit Acumulado de Oxigênio (AOD) após o período de polimento comparado com o baseline.

Os dados estão apresentados como valores individuais (círculos preenchidos) e mediana e intervalo interquartil (traços); $\Delta M2-M1$: diferença entre o momento pós-treinamento (18 sessões) e o baseline; LH-TL: perna treinada em hipóxia; LL-TL: perna treinada em normóxia; LH-C: perna controle em hipóxia; LL-C: perna controle em normóxia. Linhas tracejadas: coeficiente de variação do AOD (CV = 35%). Fonte: Autoria própria.

Figura 5.3 - Variação percentual do Déficit Acumulado de Oxigênio (AOD) após o período de polimento comparado com o período pós treinamento.

Os dados estão apresentados como valores individuais (círculos preenchidos) e mediana e intervalo interquartil (traços); $\Delta M2-M1$: diferença entre o momento pós-treinamento (18 sessões) e o baseline; LH-TL: perna treinada em hipóxia; LL-TL: perna treinada em normóxia; LH-C: perna controle em hipóxia; LL-C: perna controle em normóxia. Linhas tracejadas: coeficiente de variação do AOD (CV = 35%). Fonte: Autoria própria.

Déficit acumulado de oxigênio (AOD): controle individual

Os valores de AOD nas pernas treinadas também foram relativizadas pelos seus controles individuais (**Figura 5.4**). A LH-TL relativizada não apresentou diferença ao longo dos períodos de análise ($p = 0,236$; $ES_K = 0,16$ [*pequeno*]). A LL-TL apresentou grande variação individual e não demonstrou diferenças nos momentos (i.e., períodos agrupados) ($p = 0,549$; $ES_K = 0,12$ [*pequeno*]). Em M1 e M3 não houve diferença entre os grupos ($p > 0,298$, $\eta^2 < 0,09$ [*médio*]). Em M2, o teste de Mann Whitney U não atingiu o critério de significância ($p = 0,059$), apesar de 27% da variação ser explicada pelos grupos ($\eta^2 = 0,27$ [*grande*]).

Figura 5.4 - Déficit Acumulado de Oxigênio (AOD) relativizado (i.e., perna treinada/perna controle) nos diferentes momentos.

Os gráficos box-plot representam mediana, intervalo interquartil, mínimo e máximo. Preenchimento cinza escuro: grupo hipóxia; Preenchimento cinza claro: grupo normóxia. M1: baseline; M2: após o período de treinamento (18 sessões); M3: após o período de polimento (6 sessões). Fonte: Autoria própria.

Correlações: AOD vs parâmetros de desempenho

Os dados dos diferentes grupos foram agrupados ($n = 28$) para identificar as correlações entre os parâmetros de desempenho e o AOD (**Figura 5.5**). O AOD foi correlacionado ao T_{Lim} em todos os momentos de análise ($r > 0,82$ [0,64-0,91]; *muito forte*; $p < 0,001$) (**Figura 5.5, A-C**). O AOD apresentou significativas correlações ao TT em M1 e M2 ($r > 0,69$ [0,43-0,85]; *forte*; $p < 0,001$) (**Figura 5.5, D e E**). Apesar disso, as correlações com o TT foram atenuadas em M3 ($r = 0,28$ [-0,09-0,60]; *pequena*; $p = 0,145$) (**Figura 5.5, F**).

Figura 5.5 - Coeficiente de correlação de Pearson (r) (intervalo de confiança; IC95%) entre as variáveis de desempenho e o Déficit Acumulado de Oxigênio (AOD).

A-C: T_{Lim} (min) x AOD (mL.O₂); D-F: TT (Trabalho Total) (kJ) x AOD (mL.O₂). M1: baseline; M2: após o período de treinamento (18 sessões); M3: após o período de polimento (6 sessões). Círculos preenchidos: valores individuais; Linha de tendência: regressão linear e IC95%. Fonte: Autoria própria.

Tabela 5.2 - Parâmetros fisiológicos e desempenho observados após o esforço exaustivo (EXT) obtidos ao longo da intervenção no grupo hipóxia (GH) e grupo normóxia (GN).

		Grupo Hipóxia (n = 9)					Grupo Normóxia (n = 5)				
		M1	M2	M3	<i>p</i>	ES _K	M1	M2	M3	<i>p</i>	ES _K
PWR _{ext} (W)# <i>α</i>											
	Treinada	47 (18)	76 (31)* <i>£</i>	75 (34)*	< 0,01	0,82	52 (10)	63 (13)	68 (7)*	0,029	0,71
	Controle	54 (24)	58 (39)	65 (36)	0,814	0,02	49 (22)	55 (23)	60 (14)	0,115	0,36
T _{Lim} (min)#											
	Treinada	3,7 (2,6)	3,6 (2,8)	2,7 (1,2)	0,293	0,14	2,4 (1,2)	5,4 (4,15)\$ <i>β</i>	3,8 (3,8)	0,036	0,66
	Controle	2,4 (2,3)	2,8 (1,7)	2,9 (1,4)	0,819	0,02	2,4 (0,6)	3,2 (1,1)	3,0 (1,4)	0,247	0,28
TT (kJ) #											
	Treinada	11 (14)	14 (18)	12 (9)	0,236	0,16	7 (2)	21 (11)*	15 (16)	0,015	0,84
	Controle	10 (10)	11 (4)	12 (12)	0,717	0,03	7 (4)	11 (7)	8 (5)	0,074	0,52
V̇O _{2pico} (mL·min ⁻¹) <i>μ</i>											
	Treinada	2398 (926)	2130 (861)	2275 (869)	0,641	0,05	1637 (298)	2380 (809)\$	2124 (869)*	0,016	0,83
	Controle	2032 (499)	2008 (533)	2211 (813)	0,895	0,01	1511 (438)	1486 (906)	1570 (511)	0,819	0,04
A $\dot{V}$ O ₂ (mL)											
	Treinada	5905 (3758)	5806 (5456)	4141 (1558)	0,459	0,09	2516 (1133)	7623 (8186)*	5336 (6367)	0,021	0,77
	Controle	3314 (3297)	3617 (2836)	4238 (3868)	0,895	0,01	2736 (832)	4219 (1517)	3696 (1613)	0,247	0,28

Continua.

											Conclusão.
TED _{AOD} (mL) #											
	Treinada	8304 (7053)	7953 (7357)	5932 (4598)	0,717	0,04	3874 (1806)	12733 (13024)\$	7807 (9077)*	< 0,01	0,96
	Controle	5354 (5046)	5622 (4073)	6539 (5045)	0,895	0,01	3803 (1951)	6026 (3268)	4895 (2857)	0,247	0,28
AOD (mL·O ₂) #											
	Treinada	2399 (3434)	2147 (1650)	2130 (1814)	0,459	0,09	1371 (680)	5110 (4837)\$ β	2825 (3226)\$	0,019	0,79
	Controle	1320 (2261)	1920 (1318)	2301 (1317)	0,641	0,05	1017 (1333)	1714 (1798)	1390 (1249)	0,247	0,28

PWR_{ext}: Intensidade realizada no esforço exaustivo (EXT). T_{Lim}: tempo até a exaustão EXT. TT: trabalho total (kJ). $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ (mL·min⁻¹): maiores médias do $\dot{V}O_2$ a cada 5 s no EXT. A $\dot{V}O_2$ (mL): integral do $\dot{V}O_2$ no EXT. TED_{AOD} (mL): produto entre o $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ e o T_{Lim}. AOD (mL·O₂): diferença entre a TED_{AOD} e o A $\dot{V}O_2$. *p*: valores obtidos na ANOVA de Friedman. ES_K: tamanho do efeito calculado pelo coeficiente de concordância de Kendall's *W*.

*: *p*_{adj} < 0,05 com M1 no mesmo grupo (*post-hoc* de Dunn's).

\$: *p* < 0,05 com M1 no mesmo grupo (Wilcoxon Signed-Rank).

μ: *p* < 0,05 entre grupos no M1 (Kruskal-Wallis *H*).

#: *p* < 0,05 entre grupos no M2 (Kruskal-Wallis *H*).

α: *p* < 0,05 entre grupos no M3 (Kruskal-Wallis *H*).

£: *p* < 0,05 com LL-TL no mesmo momento (Mann-Whitney *U*).

β: *p* < 0,05 com LH-TL no mesmo momento (Mann-Whitney *U*)

.

5.4 Discussão

Os principais achados do presente estudo mostram que o modelo LH-TL atenuou as adaptações promovidas pelo treinamento anaeróbio, contrariamente à nossa primeira hipótese. Apesar disso, o modelo de treinamento proposto foi efetivo em induzir adaptações positivas na maioria das variáveis estudadas. Essas melhoras evidenciam a efetividade desse modelo de treinamento e a sensibilidade do AOD em discriminar adaptações não oxidativas, apesar de grande variabilidade individual. Ainda, foi verificado que a exposição passiva à altitude (~3000 m) (LH-C) não promoveu adaptações significativas superiores à condição placebo (LL-C). Suportando nossa segunda hipótese, verificamos que o AOD é um importante índice para o desempenho em esforços de alta intensidade, com significativas correlações com o T_{Lim} e o TT, independente da condição experimental. As adaptações específicas ao modelo de treinamento e à exposição serão expostas abaixo.

Adaptações ao modelo Live High – Train Low

Tradicionalmente, os estudos com o modelo LH-TL propõem-se a investigar adaptações relacionadas ao metabolismo aeróbio. Apesar de resultados conflitantes (BEJDER; NORDSBORG, 2018; MILLET; CHAPMAN; GIRARD; BROCHERIE, 2017), frequentemente são observados aumentos na capacidade de transporte e/ou utilização do O_2 (HAUSER; TROESCH; STEINER; BROCHERIE *et al.*, 2018; ROBACH; HANSEN; PICHON; MEINILD LUNDBY *et al.*, 2018) quando a dose e o modo de exposição são adequados (GARVICAN-LEWIS; SHARPE; GORE, 2016). Em outro estudo com resultados desse mesmo projeto, foram observadas adaptações positivas no LV_2 , na EM e no $\dot{V}O_{2pico}$ superiores no grupo LH-TL (BERTUCCI *et al.*, 2020). No presente estudo, foram verificados aumentos significativos na PWR_{ext} , onde o LH-TL foi superior ao LL-TL após o período de treinamento (**Tabela 5.1**). Uma vez que a PWR_{ext} reflete de forma integrativa o $\dot{V}O_{2pico}$ e a economia de movimento (EM) (BILLAT; KORALSZTEIN, 1996; BUCHHEIT; LAURSEN, 2013), os resultados expostos acima explicam, pelo menos em parte, as adaptações superiores do modelo LH-TL sobre a PWR_{ext} , ressaltando o efeito benéfico desse modelo sobre índices aeróbios.

Diferentemente das modalidades de endurance (e.g. maratona ou ciclismo de estrada), a exposição aguda à altitude afeta de forma discreta a performance em provas de curta duração (GIRARD; BROCHERIE; MILLET, 2017). Apesar disso, a exposição crônica (i.e., aclimação) pode promover adaptações positivas no desempenho durante esses eventos

(MILLET; ROELS; SCHMITT; WOORONS *et al.*, 2010; NUMMELA; RUSKO, 2000). Os principais mecanismos sugeridos envolvem o aumento na capacidade de tamponamento e manutenção do pH (GORE; CLARK; SAUNDERS, 2007; GORE; HAHN; AUGHEY; MARTIN *et al.*, 2001; MIZUNO; JUEL; BRO-RASMUSSEN; MYGIND *et al.*, 1990; NUMMELA; RUSKO, 2000), bem como a regulação de enzimas do metabolismo glicolítico (VOGT; PUNTSCHART; GEISER; ZULEGER *et al.*, 2001; ZOLL; PONSOT; DUFOUR; DOUTRELEAU *et al.*, 2006).

As adaptações celulares após a altitude parecem ser desencadeadas pela família dos *hypoxia-inducible factor* (HIF), fatores transcricionais envolvidos na resposta às baixas concentrações de O₂ (SEMENZA, 2006). Os HIF's regulam a transcrição de genes codificadores de diversas proteínas, incluindo aquelas ligadas a eritropoiese, angiogênese e na via glicolítica (MASON; JOHNSON, 2007; SEMENZA; ROTH; FANG; WANG, 1994). Ainda que tenham um papel fundamental na regulação de diversos processos metabólicos, investigações envolvendo seu papel durante o exercício e a exposição à hipóxia intermitente ainda carecem de investigações (DE SMET; D'HULST; POFFÉ; VAN THIENEN *et al.*, 2018), especialmente relacionadas as adaptações anaeróbias e a hipóxia.

Apesar do avanço no entendimento a respeito dos mecanismos não-hematológicos na resposta à altitude (MILLET; ROELS; SCHMITT; WOORONS *et al.*, 2010), a maioria da literatura disponível utilizou outros modelos de exposição para investigar essas adaptações moleculares (MIZUNO; JUEL; BRO-RASMUSSEN; MYGIND *et al.*, 1990; VOGT; PUNTSCHART; GEISER; ZULEGER *et al.*, 2001; ZOLL; PONSOT; DUFOUR; DOUTRELEAU *et al.*, 2006). Especificamente com a estratégia LH-TL, foram relatados aumentos na capacidade de *buffer* muscular *in vitro* (GORE; HAHN; AUGHEY; MARTIN *et al.*, 2001), na regulação do equilíbrio ácido-base (NUMMELA; RUSKO, 2000) e no metabolismo do lactato (CLARK; AUGHEY; GORE; HAHN *et al.*, 2004). Esses mecanismos são associados ao aumento no desempenho em provas de curta (e.g., 400 m ou ~50 s) (NUMMELA; RUSKO, 2000), média (1500 m ou ~4 min) (HAHN; GORE; MARTIN; ASHENDEN *et al.*, 2001; ROBERTS; CLARK; TOWNSEND; ANDERSON *et al.*, 2003) e média/longa duração (3 km ou ~9 min) (STRAY-GUNDERSEN; CHAPMAN; LEVINE, 2001). Diferentemente desses estudos e da nossa hipótese inicial, o grupo LH-TL manteve estável seus parâmetros relacionados com a performance (i.e., TT e T_{Lim}), sem efeitos significativos para os diferentes períodos de avaliação (**Tabela 5.1**).

O desempenho em elevadas intensidades de exercício (i.e. próximas à $\dot{V}O_{2\text{máx}}$) pode ser explicada por diversos fatores (BILLAT; KORALSZTEIN, 1996) e modelos teóricos foram

propostos com o objetivo de entender o T_{Lim} (BILLAT; RENOUX; PINOTEAU; PETIT *et al.*, 1994; BILLAT; MORTON; BLONDEL; BERTHOIN *et al.*, 2000; MONOD; SCHERRER, 1965). A partir desses modelos, o T_{Lim} em uma determinada intensidade de exercício pode ser explicado pela equação: $T_{Lim} = A/P-B$. Onde A reflete os estoques de energia anaeróbios, P é a $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ e B é fração em percentual da potência crítica em relação à $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ (BILLAT; RENOUX; PINOTEAU; PETIT *et al.*, 1994; BILLAT; MORTON; BLONDEL; BERTHOIN *et al.*, 2000; MONOD; SCHERRER, 1965).

O grupo LH-TL executou seus esforços exaustivos em uma intensidade significativamente maior após o treinamento, e após o polimento ($M1 = 47$ W; $M2 = 76$ W; $M3 = 75$ W [$p < 0,01$]). Como o T_{Lim} é inversamente proporcional a $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ ($r = -0,362$) (BILLAT ET AL 1994), isso pode explicar, ao menos em parte, a ausência de melhoras no desempenho desse grupo. Diferentemente, o TT reflete a quantidade de trabalho mecânico produzida durante todo o esforço (i.e., produto entre PWR_{ext} e o T_{Lim}). Pode-se sugerir, então, que a adaptação na PWR_{ext} não foi acompanhada de um aumento na tolerância aos esforços de alta intensidade no LH-TL (BILLAT; KORALSZTEIN, 1996; HAWLEY; MYBURGH; NOAKES; DENNIS, 1997).

O AOD foi outro parâmetro importante para o desempenho investigado nesse estudo. De forma aguda, a hipóxia pode alterar as contribuições anaeróbias para o exercício (MCLELLAN; KAVANAGH; JACOBS, 1990; SHARMA; SAUNDERS; GARVICAN-LEWIS; CLARK *et al.*, 2019; WEYAND; LEE; MARTINEZ-RUIZ; BUNDLE *et al.*, 1999). Com a diminuição da disponibilidade de O_2 , o metabolismo anaeróbio é solicitado em uma maior proporção em uma tentativa de suprir a demanda energética do esforço (SHARMA; SAUNDERS; GARVICAN-LEWIS; CLARK *et al.*, 2019). Entretanto, a magnitude dessa interferência é dependente da intensidade e a duração do exercício (OGURA; KATAMOTO; UCHIMARU; TAKAHASHI *et al.*, 2006; SHARMA; SAUNDERS; GARVICAN-LEWIS; CLARK *et al.*, 2019; WEYAND; LEE; MARTINEZ-RUIZ; BUNDLE *et al.*, 1999). Posto isto, Weyand et al. (1999) verificaram que a exposição à hipóxia (~3800 m) aumentou as contribuições anaeróbias (AOD) em esforços exaustivos com durações de 30 a 120 s, mas que esses valores são estabilizados em *sprints* com durações acima de 180 s (i.e., MAOD). Esses achados são suportados pelos estudos de Friedman et al. (2007) e Medbø et al. (1988), que demonstraram valores similares de MAOD em hipóxia e normóxia em atletas de endurance e indivíduos recreacionalmente ativos, respectivamente.

Apesar da estabilidade da capacidade anaeróbia durante a exposição aguda, a literatura carece de investigações sobre as possíveis adaptações após a aclimação à altitude (i.e., efeitos

crônicos) (MIZUNO; JUEL; BRO-RASMUSSEN; MYGIND *et al.*, 1990; SVEDENHAG; SALTIN; JOHANSSON; KAIJSER *et al.*, 1991). Em um dos únicos estudos com o modelo LH-TL, Roberts *et al.* (ROBERTS; CLARK; TOWNSEND; ANDERSON *et al.*, 2003) verificaram que 5 dias de exposição (8-10 hrs·dia⁻¹ a uma altitude de ~2650 m) são suficientes para promover adaptações no metabolismo anaeróbio (i.e. + 9,6% no MAOD) em ciclistas treinados ($\dot{V}O_{2\text{máx}} = 62,3 \text{ mL}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$). Diferentemente desses resultados, no presente estudo não foram verificadas alterações significativas no AOD no grupo LH-TL (**Tabela 1**). Além disso, a variação percentual do AOD também não sofreu alterações significativas com o treinamento ou polimento (**Figura 5.1**).

Apesar dessas divergências, a comparação entre os estudos é limitada. Além dos diferentes sujeitos avaliados (treinados *vs* fisicamente ativos) e da modalidade de exercício (ciclismo *vs* EDJ), foram utilizadas diferentes metodologias para o cálculo das contribuições anaeróbias (AOD *vs* MAOD). Além das diferenças metodológicas, o tempo de exposição pode ter influenciado nossos resultados. Sendo assim, não podemos excluir a possibilidade de as adaptações anaeróbias terem se manifestado anteriormente aos nossos períodos de avaliação (i.e., 4 semanas). Suportando os achados encontrados no presente estudo, Levine e Stray-Gundersen (1997) também investigaram o efeito do LH-TL no MAOD e não observaram alterações após 4 semanas de exposição (2500 m) em corredores treinados. Em um modelo de exposição semelhante, Gore *et al.* (2001) não observaram diferenças em produtos do metabolismo anaeróbio (e.g., glicogênio, fosfocreatina, ATP). Frente ao exposto, podemos sugerir que as adaptações não oxidativas promovidas pela aclimação passiva à altitude (LH-TL) são atenuadas após períodos prolongados de exposição (i.e. > 15 dias), caso ocorram.

Adaptações ao modelo Live Low – Train Low

Ambos os grupos experimentais treinados (LH-TL e LL-TL) realizaram suas sessões de treinamento em normóxia (i.e., 546 m) e a aclimação à altitude nos momentos de recuperação foi a única intervenção que diferenciou esses grupos. Dessa forma, as adaptações do grupo LL-TL correspondem às adaptações do treinamento *per se*. Ao longo das 4 semanas de treinos, os participantes de ambos os grupos realizaram 14 sessões em alta intensidade (i.e., Z3). Especificamente com o modelo SIT, foram realizadas 10 sessões com uma frequência de 2-3 sessões·semana⁻¹. Esse protocolo foi escolhido por ser capaz promover adaptações musculares oxidativas e de performance semelhantes ao modelo tradicional contínuo de moderada intensidade (MICT), mesmo em curtos períodos de treinamento (e.g. < 2 semanas) (GIBALA; MCGEE, 2008; MACINNIS; GIBALA, 2017)

Ainda, apesar de terem sido realizadas sessões em outros domínios fisiológicos (i.e., 4 sessões na iLV_2 e 4 sessões HIIT), elas constituíram a menor parte do período de treinamento e foram utilizadas apenas com o propósito de variar os estímulos e diminuir a monotonia das sessões (FOSTER, 2001). Ainda, utilizamos um período de polimento (i.e., 6 sessões) com o objetivo de diminuir a fadiga residual do período de treinamento antecedente (MUJICA; PADILLA, 2003; MUJICA; SHARMA; STELLINGWERFF, 2019). Apesar desse constructo teórico, nenhuma das variáveis estudadas no período M3 foram superiores ao M2 no LL-TL. Possivelmente, o modelo de redução de cargas empregado não foi o mais eficiente para esse modelo de exercício e novos estudos devem investigar os efeitos de diferentes modelos de redução de carga. Dessa forma, atribuímos as principais adaptações promovidas no LL-TL aos efeitos das 10 sessões de SIT.

Além da otimização do fenótipo oxidativo, foi demonstrado que apenas 6 sessões de SIT (i.e. 4-6 Wingate's repetidos; intervalo passivo de ~4 min) são suficientes para promover adaptações no metabolismo glicolítico (BURGOMASTER; HEIGENHAUSER; GIBALA, 2006; GIBALA; LITTLE; VAN ESSEN; WILKIN *et al.*, 2006; GIBALA; MCGEE, 2008). Foram evidenciados ainda: i) aumentos nas concentrações de glicogênio em repouso (GIBALA; LITTLE; VAN ESSEN; WILKIN *et al.*, 2006) e após o exercício (BURGOMASTER; HEIGENHAUSER; GIBALA, 2006); ii) maior eficiência na capacidade de tamponamento (GIBALA; LITTLE; VAN ESSEN; WILKIN *et al.*, 2006); iii) menor depleção dos estoques de glicogênio e produção de lactato (BURGOMASTER; HEIGENHAUSER; GIBALA, 2006); iv) aumento no transportadores de glicose (GLUT4) e lactato (MCT4) (BURGOMASTER; CERMAK; PHILLIPS; BENTON *et al.*, 2007); v) melhora da performance em esforços de alta intensidade (i.e. exaustão ~120 s; 50 kJ) ou prolongada duração (i.e. exaustão ~60 min; 750 kJ) repouso (GIBALA; LITTLE; VAN ESSEN; WILKIN *et al.*, 2006).

Nesse sentido, a robusta literatura com o modelo SIT suporta os achados do presente estudo, onde foi verificado que o grupo LL-TL melhorou de forma significativa todas as variáveis fisiológicas e de desempenho estudadas (**Tabela 5.1**). Em uma recente revisão sistemática, Rosenblat *et al* (2020) demonstraram que o SIT é capaz de promover aumentos na $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ (representada pelos autores como potência/velocidade aeróbia máxima; MAP/MAV). De maneira semelhante, o LL-TL aumentou de maneira significativa a PWR_{ext} em 21% e 31% após o período de treinamento e polimento, respectivamente em comparação aos valores obtidos ao início do experimento. As melhoras no T_{Lim} (M2 = 125%; M3 = 58%) e no TT (M2 = 300%; M3 = 114%) verificadas no presente estudo também são suportadas pela literatura recente (KORAL; ORANCHUK; HERRERA; MILLET, 2018; ROSENBLAT; PERROTTA;

THOMAS, 2020), apesar de terem demonstrado uma magnitude superior. Esses resultados demonstram que os participantes desse grupo também melhoraram sua tolerância aos esforços em elevadas intensidades e, supostamente, a resistência à fadiga (BILLAT; KORALSZTEIN, 1996; BUCHHEIT; LAURSEN, 2013; HAWLEY; MYBURGH; NOAKES; DENNIS, 1997). Burgomaster et al. (2008) verificaram que a adição de mais sessões de treinamento (i.e., 6 semanas), também promove adaptações centrais (i.e. cardiorrespiratórias), de acordo com os ganhos no $\dot{V}O_{2pico}$ no presente estudo (**Tabela 5.1**).

Foi verificado que o protocolo com 3 semanas de SIT também promove aumentos nas contribuições do metabolismo anaeróbio, mensurado por meio do AOD (KON; NAKAGAKI; EBI, 2019). Apesar disso, quando os esforços são suplementados com uma fração maior de oxigênio (i.e., hiperóxia; $FiO_2 = 60\%$), essas adaptações são atenuadas e a performance é comprometida (i.e., potência média no teste *all-out* de 90 s) (KON; NAKAGAKI; EBI, 2019). Dessa forma, o aumento na dependência das vias oxidativas atenua as adaptações anaeróbias e de desempenho promovidas pelo SIT (KON; NAKAGAKI; EBI, 2019), possivelmente pela menor eficiência dessa via energética (ATP *turnover*) (GASTIN, 1994; GASTIN, 2001). Considerando as adaptações aeróbias promovidas com o a exposição à altitude (BERTUCCI et al., 2020) e os resultados acima expostos, podemos atribuir a atenuação das adaptações anaeróbias no grupo LH-TL, pelo menos em parte, a esse mecanismo.

Apesar dos ganhos acima dos usualmente esperados para o AOD (MEDBØ; BURGERS, 1990), essas adaptações ocorreram apenas no grupo LL-TL e as variações dos outros grupos ficaram dentro do CV% para essa medida (35%). Um dos fatores associados a essa elevada variação é a dependência do AOD ao T_{Lim} . A reprodutibilidade do T_{Lim} é diretamente ligada a fatores motivacionais, e apesar de tentativas de padronização, seu CV% nesse modelo de exercício é próximo a 25% (**Capítulo 4**). Em uma tentativa de diminuir essa variação individual, os valores de AOD dos grupos treinados foram apresentados de forma relativa a suas pernas controle (i.e., LH-C e LL-C) (**Figura 5.4**). Apesar de ter exposto os ganhos do treinamento *per se*, essa estratégia atenuou as adaptações em ambos os grupos ($p > 0,059$). Apesar de não significativa, um discreto aumento no grupo LL-C pode ter reduzido essas diferenças. Como não houve nenhum tratamento adicional para esse grupo, essa possível melhora poderia ser atribuída ao efeito de aprendizagem cruzada (CIRER-SASTRE; BELTRÁN-GARRIDO; CORBI, 2017). O mecanismo de adaptação contralateral é observado frequentemente após o treinamento resistido (BEN OTHMAN; BEHM; CHAOUACHI, 2018), mas dificilmente influencia as modalidades cíclicas (SHIELDS; LEO; MESSAROS; SOMERS, 1999), como nesse estudo. Desse modo, apesar de grande variabilidade na medida, atribuímos

especificamente ao modelo de treinamento proposto os valores encontrados. Vale ressaltar que valores similares de AOD foram encontrados anteriormente nesse modelo de exercício, com valores basais de próximos a 3 L·O₂ (KARLSSON; SALTIN, 1971).

AOD e performance

Em condições de normóxia, a contribuição anaeróbia aumenta progressivamente em provas de 200 a 800 m (i.e. ~22 a 112 s), com estabilização de seus valores nas distâncias de 800 e 1500 (~234 s) (SPENCER; GASTIN, 2001). Esses achados são congruentes com a definição do máximo AOD (MAOD), onde esforços exaustivos com durações acima de 2 min são necessários para depleção dos estoques anaeróbios (MEDBØ; MOHN; TABATA; BAHR *et al.*, 1988). Ainda, foram encontradas correlações significativas entre o AOD e o desempenho nas distâncias de 100 m, 400 m e 800 m ($r = -0,88$, $r = -0,82$ e $r = -0,61$, respectivamente) (RAMSBOTTOM; NEVILL; NEVILL; NEWPORT *et al.*, 1994). De modo semelhante, verificamos que o AOD determinado em exercício isolado também é um importante fator para a performance em esforços exaustivos de alta intensidade, de acordo com resultados previamente reportados pelo nosso grupo de pesquisa (**Capítulo 3**). Além das significativas correlações com o T_{Lim} nos três momentos de análise ($r > 0,82$ [0,64-0,91]; $p < 0,001$), foi verificado que essa variável contribuiu fortemente para a produção de energia mecânica durante o esforço (i.e., TT) (**Figura 5.5**). Apesar disso, as correlações com o TT foram atenuadas em M2, possivelmente pelo fato de o período de polimento afetar de forma diferente os ganhos individuais. Ao invés de mostrar as correlações entre cada grupo separadamente, os participantes foram agrupados para refletir a importância dessa medida, independente da condição experimental.

Limitações do estudo

Considerações metodológicas devem ser elucidadas para a futura extrapolação dos resultados aqui apresentados. Primeiramente, devemos ressaltar que utilizamos a estimativa das contribuições anaeróbias por meio do AOD e não o MAOD, conforme proposto por Medbø *et al.* (1988). Apesar de limitar a comparação direta com os resultados que utilizaram o MAOD, foi verificado anteriormente que o AOD é um índice robusto, ao menos quanto utilizado a EDJ como modelo de exercício (**Capítulo 3**). Além disso, a construção da reta $\dot{V}O_2$ -intensidade pode inviabilizar a aplicação desse modelo mesmo no contexto laboratorial. Ressaltamos ainda que os esforços exaustivos empregados aqui não foram supramáximos. Nesse sentido, a estimativa do custo energético (i.e., TED_{AOD}) por meio dos valores de $\dot{V}O_{2pico}$ parece ser

adequada (OZYENER; ROSSITER; WARD; WHIPP, 2003; WHIPP, 1994). Independente da metodologia utilizada, atribuímos ao AOD uma medida de contribuição anaeróbia para o esforço, mesmo que não seja garantida a avaliação de capacidade total anaeróbia.

Também deve-se ressaltar a escolha do modelo de exercício proposto. A EDJ é um modelo experimental importante para o estudo das contribuições anaeróbias (BANGSBO; GOLLNICK; GRAHAM; JUEL *et al.*, 1990). Entretanto, a familiarização a esse modelo deve ser conduzida de maneira cautelosa. No presente estudo, foram conduzidos esforços com diferentes intensidades e durações na semana anterior ao início das avaliações. Apesar disso, os próximos estudos envolvendo esse modelo devem considerar um período de treinamento prévio (i.e. *lead-in*), para atenuar as diferenças individuais e a possível interferência de efeitos de aprendizagem. Protocolos semelhantes foram conduzidos antes da exposição à altitude (LEVINE; STRAY-GUNDERSEN, 1997; SIEBENMANN; ROBACH; JACOBS; RASMUSSEN *et al.*, 2012), garantindo que os participantes estejam em condições próximas de adaptação e recuperação a ciclos de treinamento anteriores.

O tamanho amostral desse estudo também pode ser considerado uma limitação. Além da dificuldade no recrutamento de participantes inerente a estudos longitudinais, tivemos outras restrições que podem ter influenciado a adesão. Como mencionado anteriormente, esses resultados fazem parte de um projeto maior, com procedimentos experimentais envolvendo a técnica de biópsia muscular e *Twitch Interpolation*. Além do caráter invasivo da biópsia muscular, as eletroestimulações podem gerar um desconforto local, de acordo com o relato dos participantes, diminuindo a atratividade à adesão ao estudo. Por fim, os voluntários foram submetidos a 200 horas de exposição nas tendas nas instalações da Universidade. Por conta disso, apesar de ampla divulgação do estudo, nosso delineamento experimental pode ter desencorajado o recrutamento de um maior número de participantes.

5.5 Conclusão

Contrariamente à nossa hipótese inicial, foi verificado que o modelo LH-TL atenuou as adaptações anaeróbias (assumida nesse estudo como AOD) provenientes do treinamento baseado em esforços repetidos de alta intensidade (i.e. modelo, SIT). Diferentemente, o grupo que treinou em condições de normóxia (LL-TL) demonstrou melhoras em todos os parâmetros fisiológicos e de desempenho estudados. Ainda, verificamos que aclimatação à altitude sem as sessões de treinamento (LH-C), não promovem adaptações superiores ao modelo placebo (LL-C). Esses achados evidenciam que o treinamento em si, e não a aclimatação à altitude, é capaz

de promover adaptações anaeróbias. Além da sensibilidade ao treinamento anaeróbio, o AOD é um índice importante para o desempenho em esforços exaustivos (~3 min), com significativas correlações com o T_{Lim} e o TT.

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A determinação das contribuições energéticas é de grande importância e interesse para a área de ciências do esporte. Apesar disso, barreiras metodológicas são frequentemente levantadas e limitam um olhar amplo para esse fenômeno fisiológico. Para contribuir com o conhecimento acerca desses processos, a presente dissertação teve como objetivo retomar as investigações sobre as contribuições anaeróbias com um novo olhar metodológico. Nesse trabalho, utilizamos a EDJ como modelo de exercício e acreditamos ter contribuído com uma “elegante” abordagem experimental.

No primeiro estudo ([Manuscrito 1](#)), foi verificado que a determinação do AOD deve ser utilizada nesse modelo de exercício, especialmente com a utilização do exercício unilateral. Ainda, foram encontradas correlações importantes com o desempenho anaeróbio, enfatizando a importância desse índice. O segundo estudo ([Manuscrito 2](#)) teve como objetivo testar a reprodutibilidade dessa ferramenta e dos índices obtidos em esforços exaustivos. Não foram encontradas diferenças significativas entre as repetidas avaliações, em nenhuma variável estudada. Apesar disso, uma grande variabilidade individual foi observada. Assim, ressaltamos que essa metodologia deve ser utilizada com cautela e recomendamos a aplicação de um protocolo robusto de familiarização ou treinamento prévio nesse ergômetro.

No terceiro estudo ([Manuscrito 3](#)), investigamos a sensibilidade do AOD após um período de treinamento predominante anaeróbio (18 sessões), com sessões baseadas no modelo SIT. Os principais resultados demonstraram que o treinamento proposto foi eficaz em promover adaptações significativas na maioria das variáveis relacionadas ao metabolismo não oxidativo. Apesar disso, não foram verificados efeitos adicionais do período de polimento (6 sessões). Ainda, a aclimação à altitude com o modelo LH-TL (~3500 m) não demonstrou ser uma estratégia eficiente, uma vez que atenuou a maioria das respostas obtidas pelo treinamento.

6.1 Conclusões da dissertação

Frente aos resultados obtidos nos diferentes experimentos, conclui-se que a determinação das contribuições energéticas provenientes do metabolismo anaeróbio pode ser estimada de maneira satisfatória em exercício de EDJ por meio do cálculo do AOD. Ainda, esse índice apresenta-se como uma ferramenta de grande aplicabilidade prática para monitorar as adaptações não oxidativas provenientes do treinamento anaeróbio. Apesar disso, foi observada uma elevada variabilidade individual nas respostas. Para atenuar essas variações, deve-se adotar

um protocolo robusto de familiarização antes da aplicação de diferentes contextos experimentais. De maneira complementar, foi verificado que a aclimação à hipóxia atenuou as adaptações relacionadas ao metabolismo anaeróbio. Desse modo, o modelo LH-TL não deve ser utilizado para esse propósito. Diferentes estratégias de exposição devem ser investigadas para aprimorar o entendimento sobre seu papel adaptativo em esforços de alta intensidade.

REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, P.; ADAMS, R.; SJAGAARD, G.; THORBOE, A. *et al.* Dynamic knee extension as model for study of isolated exercising muscle in humans. **Journal of Applied Physiology**, 59, n. 5, p. 1647-1653, 1985.
- ANDERSEN, P.; ADAMS, R. P.; SJOGAARD, G.; THORBOE, A. *et al.* Dynamic knee extension as model for study of isolated exercising muscle in humans. **Journal of Applied Physiology** 59, n. 5, p. 1647-1653, 1985.
- ANDERSSON, E. P.; MCGAWLEY, K. A Comparison between Different Methods of Estimating Anaerobic Energy Production. **Frontiers in Physiology**, 9, p. 82, 2018.
- BANGSBO, J. Is the O₂ deficit an accurate quantitative measure of the anaerobic energy production during intense exercise? **Journal of Applied Physiology**, 73, n. 3, p. 1207-1209, 1992.
- BANGSBO, J. Oxygen Deficit: A Measure of the Anaerobic Energy Production During Intense Exercise? **Canadian Journal of Applied Physiology**, 21, n. 5, p. 350-363, 1996.
- BANGSBO, J.; GOLLNICK, P. D.; GRAHAM, T. E.; JUEL, C. *et al.* Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. **Journal of Applied Physiology**, 422, p. 539-559, 1990.
- BANGSBO, J.; MICHALSIK, L.; PETERSEN, A. Accumulated O₂ deficit during intense exercise and muscle characteristics of elite athletes. **International Journal of Sports Medicine**, 14, n. 4, p. 207-213, May 1993.
- BEARDEN, S. E.; MOFFATT, R. J. VO₂ kinetics and the O₂ deficit in heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**, 88, n. 4, p. 1407-1412, 2000.
- BECKERMAN, H.; ROEBROECK, M. E.; LANKHORST, G. J.; BECHER, J. G. *et al.* Smallest real difference, a link between reproducibility and responsiveness. **Quality of Life Research**, 10, n. 7, p. 571-578, 2001.
- BEJDER, J.; NORDSBORG, N. B. Specificity of "Live High-Train Low" Altitude Training on Exercise Performance. **Exercise and Sports Science Reviews**, 46, n. 2, p. 129-136, Apr 2018.
- BELLINGER, P. Functional Overreaching in Endurance Athletes: A Necessity or Cause for Concern? **Sports Medicine**, 50, n. 6, p. 1059-1073, 2020.
- BEN OTHMAN, A.; BEHM, D. G.; CHAOUACHI, A. Evidence of homologous and heterologous effects after unilateral leg training in youth. **Applied Physiology, Nutrition and Metabolism**, 43, n. 3, p. 282-291, 2018.

BENTLEY, D. J.; NEWELL, J.; BISHOP, D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. **Sports Medicine**, 37, n. 7, p. 575-586, 2007.

BERNARDS, J. R.; SATO, K.; HAFF, G. G.; BAZYLER, C. D. Current Research and Statistical Practices in Sport Science and a Need for Change. **Sports (Basel)**, 5, n. 4, 2017.

BERTUZZI, R. C.; FRANCHINI, E.; UGRINOWITSCH, C.; KOKUBUN, E. *et al.* Predicting MAOD using only a supramaximal exhaustive test. **International Journal of Sports Medicine**, 31, n. 7, p. 477-481, 2010.

BILLAT, L. V.; KORALSZTEIN, J. P. Significance of the velocity at VO₂max and time to exhaustion at this velocity. **Sports Medicine**, 22, n. 2, p. 90-108, 1996.

BILLAT, V.; RENOUX, J. C.; PINOTEAU, J.; PETIT, B. *et al.* Reproducibility of running time to exhaustion at VO₂max in subelite runners. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, 26, n. 2, p. 254-257, 1994.

BILLAT, V. L.; MORTON, R. H.; BLONDEL, N.; BERTHOIN, S. *et al.* Oxygen kinetics and modelling of time to exhaustion whilst running at various velocities at maximal oxygen uptake. **European Journal of Applied Physiology**, 82, n. 3, p. 178-187, 2000.

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

BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. J. I. j. o. n. s. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **European Journal of Clinical Studies**, 47, n. 8, p. 931-936, 2010.

BOOTH, F. W. Muscle adaptation to exercise: New Saltin's paradigms. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, 25 Suppl 4, p. 49-52, 2015.

BUCHHEIT, M.; LAURSEN, P. B. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. **Sports Medicine** 43, n. 5, p. 313-338, 2013.

BUCK, D.; MCNAUGHTON, L. Maximal accumulated oxygen deficit must be calculated using 10-min time periods. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, 31, n. 9, p. 1346-1349, 1999.

BUCK, D.; MCNAUGHTON, L. R. Changing the Number of Submaximal Exercise Bouts Effects Calculation of MAOD. **International Journal of Sports Medicine**, 20, p. 28-33, 1999.

BURGOMASTER, K. A.; CERMAK, N. M.; PHILLIPS, S. M.; BENTON, C. R. *et al.* Divergent response of metabolite transport proteins in human skeletal muscle after sprint interval training and detraining. **American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, 292, n. 5, p. R1970-1976, 2007.

BURGOMASTER, K. A.; HEIGENHAUSER, G. J.; 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**, 100, n. 6, p. 2041-2047, 2006.

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

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

CAMPOS, E. Z.; KALVA-FILHO, C. A.; GOBBI, R. B.; BARBIERI, R. A. *et al.* Anaerobic Contribution Determined in Swimming Distances: Relation with Performance. **Frontiers in Physiology**, 8, p. 755, 2017.

CIRER-SASTRE, R.; BELTRÁN-GARRIDO, J. V.; CORBI, F. Contralateral Effects After Unilateral Strength Training: A Meta-Analysis Comparing Training Loads. **Journal of Sports Science & Medicine**, 16, n. 2, p. 180-186, 2017.

CLARK, S. A.; AUGHEY, R. J.; GORE, C. J.; HAHN, A. G. *et al.* Effects of live high, train low hypoxic exposure on lactate metabolism in trained humans. **Journal of Applied Physiology**, 96, n. 2, p. 517-525, 2004.

COHEN, J. A power primer. **Psychological Bulletin**, 112, n. 1, p. 155-159, 1992.

CURRELL, K.; JEUKENDRUP, A. E. Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. **Sports Medicine**, 38, n. 4, p. 297-316, 2008.

DE ANDRADE, V. L.; KALVA-FILHO, C. A.; CAMPOS, E. Z.; PAPOTI, M. Maximal accumulated oxygen deficit is influenced by chronological age and is related to intensity of VO₂PEAK. **Sport Sciences for Health**, 15, n. 1, p. 109-114, 2018.

DE SMET, S.; D'HULST, G.; POFFÉ, C.; VAN THIENEN, R. *et al.* High-intensity interval training in hypoxia does not affect muscle HIF responses to acute hypoxia in humans. **European Journal of Applied Physiology**, 118, n. 4, p. 847-862, 2018.

DO NASCIMENTO SALVADOR, P. C.; DAL PUPO, J.; DE LUCAS, R. D.; DE AGUIAR, R. A. *et al.* The VO₂ Kinetics of Maximal and Supramaximal Running Exercises in Sprinters

and Middle-Distance Runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, 30, n. 10, p. 2857-2863, 2016.

DOHERTY, M.; SMITH, P. M.; SCHRODER, K. Reproducibility of the maximum accumulated oxygen deficit and run time to exhaustion during short-distance running. **Journal of Sports Science**, 18, n. 5, p. 331-338, 2000.

DUFFIELD, R.; DAWSON, B.; GOODMAN, C. Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running. **Journal of Sports Science**, 23, n. 3, p. 299-307, 2005.

DURLAK, J. A. How to select, calculate, and interpret effect sizes. **Journal of Pediatric Psychology**, 34, n. 9, p. 917-928, 2009.

EMERY, C. A.; MAITLAND, M. E.; MEEUWISSE, W. H. Test-retest reliability of isokinetic hip adductor and flexor muscle strength. **Clinical Journal of Sports Medicine**, 9, n. 2, p. 79-85, 1999.

FERGUSON, R.; AAGARD, P.; BALL, D.; SARGEANT, A. *et al.* Total power output generated during dynamic knee extensor exercise at different contraction frequencies. **Journal of Applied Physiology**, 89, 2000.

FOSTER, C. A new approach to monitoring exercise training. **Journal of Strength and Conditioning Research**, 15, p. 109-115, 2001.

FRIEDMANN, B.; FRESE, F.; MENOLD, E.; BÄRTSCH, P. Effects of acute moderate hypoxia on anaerobic capacity in endurance-trained runners. **European Journal of Applied Physiology**, 101, n. 1, p. 67-73, 2007.

FRITZ, C. O.; MORRIS, P. E.; RICHLER, J. J. Effect size estimates: current use, calculations, and interpretation. **Journal of Experimental Psychology: General**, 141, n. 1, p. 2-18, 2012.

GARVICAN-LEWIS, L. A.; SHARPE, K.; GORE, C. J. Time for a new metric for hypoxic dose? **Journal of Applied Physiology**, 121, n. 1, p. 352-355, 2016.

GASTIN, P. Quantification of anaerobic capacity. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, 4, n. 2, p. 91-112, 1994.

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

GASTIN, P. B.; COSTILL, D. L.; LAWSON, D. L.; KRZEMINSKI, K. *et al.* Accumulated oxygen deficit during supramaximal all-out and constant intensity exercise. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, 27, n. 2, p. 255-263, 1995.

GIBALA, M. J.; LITTLE, J. P.; VAN ESSEN, M.; WILKIN, G. P. *et al.* Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. **Journal of Physiology**, 575, n. Pt 3, p. 901-911, 2006.

GIBALA, M. J.; MCGEE, S. L. Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? **Exercise and Sport Sciences Reviews**, 36, n. 2, p. 58-63, 2008.

GIRARD, O.; BROCHERIE, F.; MILLET, G. P. Effects of Altitude/Hypoxia on Single- and Multiple-Sprint Performance: A Comprehensive Review. **Sports Medicine**, 47, n. 10, p. 1931-1949, 2017.

GORE, C. J.; CLARK, S. A.; SAUNDERS, P. U. Nonhematological mechanisms of improved sea-level performance after hypoxic exposure. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, 39, n. 9, p. 1600-1609, 2007.

GORE, C. J.; HAHN, A. G.; AUGHEY, R. J.; MARTIN, D. T. *et al.* Live high:train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. **Acta Physiologica Scandinavica**, 173, n. 3, p. 275-286, 2001.

GREEN, S.; DAWSON, B. T. Methodological effects on the VO₂-power regression and the accumulated O₂ deficit. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, 28, n. 3, p. 392-397, 1996.

GREENLAND, S.; SENN, S. J.; ROTHMAN, K. J.; CARLIN, J. B. *et al.* Statistical tests, P values, confidence intervals, and power: a guide to misinterpretations. **European Journal of Epidemiology**, 31, n. 4, p. 337-350, 2016.

HAHN, A. G.; GORE, C. J.; MARTIN, D. T.; ASHENDEN, M. J. *et al.* An evaluation of the concept of living at moderate altitude and training at sea level. **Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology**, 128, n. 4, p. 777-789, 2001.

HALEY, S. M.; FRAGALA-PINKHAM, M. A. Interpreting change scores of tests and measures used in physical therapy. **Physical Therapy**, 86, n. 5, p. 735-743, 2006.

HANSEN, A. K.; FISCHER, C. P.; PLOMGAARD, P.; ANDERSEN, J. L. *et al.* Skeletal muscle adaptation: training twice every second day vs. training once daily. **Journal of Applied Physiology**, 98, n. 1, p. 93-99, 2005.

HAUSER, A.; TROESCH, S.; STEINER, T.; BROCHERIE, F. *et al.* Do male athletes with already high initial haemoglobin mass benefit from 'live high-train low' altitude training? **Experimental Physiology**, 103, n. 1, p. 68-76, 2018.

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 Science**, 15, n. 3, p. 325-333, 1997.

HOPKINS, W. Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, 41, p. 3-12, 2009.

HOPKINS, W. G. Measures of reliability in sports medicine and science. **Sports Medicine**, 30, n. 1, p. 1-15, 2000.

HOPKINS, W. G.; MARSHALL, S. W.; BATTERHAM, A. M.; HANIN, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, 41, n. 1, p. 3-13, 2009.

HOPKINS, W. G.; SCHABORT, E. J.; HAWLEY, J. A. Reliability of power in physical performance tests. **Sports Medicine**, 31, n. 3, p. 211-234, 2001.

JAMNICK, N. A.; BOTELLA, J.; PYNE, D. B.; BISHOP, D. J. Manipulating graded exercise test variables affects the validity of the lactate threshold and VO₂max. **PLoS One**, 13, n. 7, p. e0199794, 2018.

JELKMANN, W. Regulation of erythropoietin production. **Journal of Physiology**, 589, n. Pt 6, p. 1251-1258, 2011.

KALVA-FILHO, C. A.; ARAUJO, M. Y.; SILVA, A.; GOBETTO, C. A. *et al.* Determination of VO₂-Intensity Relationship and MAOD in Tethered Swimming. **International Journal of Sports Medicine**, 37, n. 9, p. 687-693, 2016.

KALVA-FILHO, C. A.; ARAÚJO, M. Y.; SILVA, A.; GOBETTO, C. A. *et al.* Determination of VO₂-Intensity Relationship and MAOD in Tethered Swimming. **International Journal of Sports Medicine**, 37, n. 9, p. 687-693, 2016.

KALVA-FILHO, C. A.; BARBIERI, R. A.; DE ANDRADE, V. L.; GOBBI, R. B. *et al.* A prototype for dynamic knee extension: construction, force characterization and electromyographic responses. **Brazilian Journal of Motor Behavior**, 14, n. 3, p. 97-109, 2020.

KARLSSON, J.; SALTIN, B. Lactate, ATP, and CP in working muscles during exhaustive exercise in man. **Journal of Applied Physiology**, 29, n. 5, p. 596-602, 1970.

KARLSSON, J.; SALTIN, B. Oxygen deficit and muscle metabolites in intermittent exercise. **Acta Physiologica Scandinava**, 82, n. 1, p. 115-122, 1971.

KON, M.; NAKAGAKI, K.; EBI, Y. Effects of all-out sprint interval training under hyperoxia on exercise performance. **Physiological Reports**, 7, n. 14, p. e14194, 2019.

KOO, T. K.; LI, M. Y. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. **Journal of Chiropractic Medicine**, 15, n. 2, p. 155-163, 2016.

KORAL, J.; ORANCHUK, D. J.; HERRERA, R.; MILLET, G. Y. Six Sessions of Sprint Interval Training Improves Running Performance in Trained Athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**, 32, n. 3, p. 617-623, 2018.

KROGH, A.; LINDHARD, J. The changes in respiration at the transition from work to rest. **Journal of Physiology**, 53, n. 6, p. 431-439, 1920.

KUIPERS, H.; RIETJENS, G.; VERSTAPPEN, F.; SCHOENMAKERS, H. *et al.* Effects of stage duration in incremental running tests on physiological variables. **International Journal of Sports Medicine**, 24, n. 7, p. 486-491, 2003.

LAKENS, D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. **Frontiers in Psychology**, 4, p. 863, 2013.

LAURSEN, P. B. Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, 20 Suppl 2, p. 1-10, 2010.

LAURSEN, P. B.; FRANCIS, G. T.; ABBISS, C. R.; NEWTON, M. J. *et al.* Reliability of time-to-exhaustion versus time-trial running tests in runners. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, 39, n. 8, p. 1374-1379, 2007.

LEVINE, B. D. .VO₂max: what do we know, and what do we still need to know? **Journal of Physiology**, 586, n. 1, p. 25-34, 2008.

LEVINE, B. D.; STRAY-GUNDERSEN, J. "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. **Journal of Applied Physiology**, 83, n. 1, p. 102-112, 1997.

LUNDBY, C.; MILLET, G. P.; CALBET, J. A.; BÄRTSCH, P. *et al.* Does 'altitude training' increase exercise performance in elite athletes? **British Journal of Sports Medicine**, 46, n. 11, p. 792-795, 2012.

LUNDBY, C.; ROBACH, P. Does 'altitude training' increase exercise performance in elite athletes? **Experimental Physiology**, 101, n. 7, p. 783-788, 2016.

MACINNIS, M. J.; GIBALA, M. J. Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. **Journal of Physiology**, 595, n. 9, p. 2915-2930, 2017.

MASON, S.; JOHNSON, R. S. The role of HIF-1 in hypoxic response in the skeletal muscle. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, 618, p. 229-244, 2007.

MATSUDO, S.; MATSUDO, V.; ARAÚJO, T.; ANDRADE, D. *et al.* Physical activity level of São Paulo State population: an analysis based on gender, age, socio-economic status, demographics and knowledge. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, 4, 10, p. 41-50, 2002.

MCLELLAN, T. M.; KAVANAGH, M. F.; JACOBS, I. The effect of hypoxia on performance during 30 s or 45 s of supramaximal exercise. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, 60, n. 2, p. 155-161, 1990.

MEDBØ, J.; MOHN, A.; TABATA, I.; BAHR, R. *et al.* Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. **Journal of Applied Physiology**, 64, n. 1, p. 50-60, 1988.

MEDBØ, J. I.; BURGERS, S. Effect of training on the anaerobic capacity. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, 22, n. 4, p. 501-507, 1990.

MILLET, G. P.; BROCHERIE, F.; GIRARD, O.; WEHRLIN, J. P. *et al.* Commentaries on Viewpoint: Time for a new metric for hypoxic dose? **Journal of Applied Physiology**, 121, n. 1, p. 356-358, 2016.

MILLET, G. P.; CHAPMAN, R. F.; GIRARD, O.; BROCHERIE, F. Is live high-train low altitude training relevant for elite athletes? Flawed analysis from inaccurate data. **British Journal of Sports Medicine**, 53, n. 15, p. 923-925, 2017.

MILLET, G. P.; ROELS, B.; SCHMITT, L.; WOORONS, X. *et al.* Combining hypoxic methods for peak performance. **Sports Medicine**, 40, n. 1, p. 1-25, 2010.

MIYAGI, W. E.; DE POLI, R. A.; PAPOTI, M.; BERTUZZI, R. *et al.* Anaerobic Capacity estimated in A Single Supramaximal Test in Cycling: Validity and Reliability Analysis. **Scientific Reports**, 7, p. 42485, 2017.

MIZUNO, M.; JUEL, C.; BRO-RASMUSSEN, T.; MYGIND, E. *et al.* Limb skeletal muscle adaptation in athletes after training at altitude. **Journal of Applied Physiology**, 68, n. 2, p. 496-502, 1990.

MONOD, H.; SCHERRER, J. J. E. The work capacity of a synergic muscular group. **Ergonomics**, 8, n. 3, p. 329-338, 1965.

MONTERO, D.; LUNDBY, C. Regulation of Red Blood Cell Volume with Exercise Training. **Comprehensive Physiology**, 9, n. 1, p. 149-164, 2018.

MUJIKA, I.; GOYA, A.; PADILLA, S.; GRIJALBA, A. *et al.* Physiological responses to a 6-d taper in middle-distance runners: influence of training intensity and volume. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, 32, n. 2, p. 511-517, 2000.

MUJIKA, I.; PADILLA, S. Scientific bases for precompetition tapering strategies. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, 35, n. 7, p. 1182-1187, 2003.

MUJIKA, I.; SHARMA, A. P.; STELLINGWERFF, T. Contemporary Periodization of Altitude Training for Elite Endurance Athletes: A Narrative Review. **Sports Medicine**, 49, n. 11, p. 1651-1669, 2019.

NAKAGAWA, S.; CUTHILL, I. C. Effect size, confidence interval and statistical significance: a practical guide for biologists. **Biological Reviews**, 82, n. 4, p. 591-605, 2007.

NOORDHOF, D.; KONING, J.; FOSTER, C. The Maximal Accumulated Oxygen Deficit Method: A Valid and Reliable Measure of Anaerobic Capacity? **Sports Medicine**, 40, n. 4, p. 285-302, 2010.

NUMMELA, A.; RUSKO, H. Acclimatization to altitude and normoxic training improve 400-m running performance at sea level. **Journal of Sports Science**, 18, n. 6, p. 411-419, 2000.

OGURA, Y.; KATAMOTO, S.; UCHIMARU, J.; TAKAHASHI, K. *et al.* Effects of low and high levels of moderate hypoxia on anaerobic energy release during supramaximal cycle exercise. **European Journal of Applied Physiology**, 98, n. 1, p. 41-47, 2006.

OZYENER, F.; ROSSITER, H. B.; WARD, S. A.; WHIPP, B. J. Negative accumulated oxygen deficit during heavy and very heavy intensity cycle ergometry in humans. **European Journal of Applied Physiology**, 90, n. 1-2, p. 185-190, 2003.

POOLE, D. C.; JONES, A. M. Measurement of the maximum oxygen uptake $\dot{V}O_{2max}$: $\dot{V}O_{2peak}$ is no longer acceptable. **Journal of Applied Physiology**, 122, n. 4, p. 997-1002, 2017.

POOLE, D. C.; ROSSITER, H. B.; BROOKS, G. A.; GLADDEN, L. B. The anaerobic threshold: 50+ years of controversy. **Journal of Physiology**, published ahead of print, 2020.

RAMSBOTTOM, R.; NEVILL, A. M.; NEVILL, M. E.; NEWPORT, S. *et al.* Accumulated oxygen deficit and short-distance running performance. **Journal of Sports Science**, 12, n. 5, p. 447-453, 1994.

RIOJAS, A. E.; VALENZUELA, J. R.; MC, F. B.; VINGREN, J. L. *et al.* The Increase in Oxygen Demand During Severe Intensity Exercise Must be Included in Calculation of Oxygen Deficit. **International Journal of Exercise Sciences**, 13, n. 4, p. 645-655, 2020.

ROBACH, P.; HANSEN, J.; PICHON, A.; MEINILD LUNDBY, A. K. *et al.* Hypobaric live high-train low does not improve aerobic performance more than live low-train low in cross-country skiers. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, 28, n. 6, p. 1636-1652, 2018.

ROBERTS, A. D.; CLARK, S. A.; TOWNSEND, N. E.; ANDERSON, M. E. *et al.* Changes in performance, maximal oxygen uptake and maximal accumulated oxygen deficit after 5, 10 and 15 days of live high:train low altitude exposure. **European Journal of Applied Physiology**, 88, n. 4-5, p. 390-395, 2003.

ROSENBLAT, M. A.; PERROTTA, A. S.; THOMAS, S. G. Effect of High-Intensity Interval Training Versus Sprint Interval Training on Time-Trial Performance: A Systematic Review and Meta-analysis. **Sports Medicine**, 50, n. 6, p. 1145-1161, 2020.

ROSSMAN, M. J.; GARTEN, R. S.; VENTURELLI, M.; AMANN, M. *et al.* The role of active muscle mass in determining the magnitude of peripheral fatigue during dynamic exercise. **American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, 306, n. 12, p. R934-940, 2014.

ROSSMAN, M. J.; VENTURELLI, M.; MCDANIEL, J.; AMANN, M. *et al.* Muscle mass and peripheral fatigue: a potential role for afferent feedback? **Acta Physiol (Oxf)**, 206, n. 4, p. 242-250, 2012.

SCHMITT, L.; MILLET, G.; ROBACH, P.; NICOLET, G. *et al.* Influence of "living high-training low" on aerobic performance and economy of work in elite athletes. **Journal of Physiology**, 97, n. 5, p. 627-636, 2006.

SCHMITT, L.; WILLIS, S. J.; COULMY, N.; MILLET, G. P. Effects of Different Training Intensity Distributions Between Elite Cross-Country Skiers and Nordic-Combined Athletes During Live High-Train Low. **Frontiers in Physiology**, 9, p. 932, 2018.

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

SEILER, K. S.; KJERLAND, G. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution? **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, 16, n. 1, p. 49-56, 2006.

SEMENZA, G. L. Regulation of physiological responses to continuous and intermittent hypoxia by hypoxia-inducible factor 1. **Experimental physiology**, 91, n. 5, p. 803-806, 2006.

SEMENZA, G. L.; ROTH, P. H.; FANG, H. M.; WANG, G. L. Transcriptional regulation of genes encoding glycolytic enzymes by hypoxia-inducible factor 1. **Journal of Biological Chemistry**, 269, n. 38, p. 23757-23763, 1994.

SHARMA, A. P.; SAUNDERS, P. U.; GARVICAN-LEWIS, L. A.; CLARK, B. *et al.* Normobaric Hypoxia Reduces V'O₂ at Different Intensities in Highly Trained Runners. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, 51, n. 1, p. 174-182, 2019.

SHIELDS, R. K.; LEO, K. C.; MESSAROS, A. J.; SOMERS, V. K. Effects of repetitive handgrip training on endurance, specificity, and cross-education. **Physical Therapy**, 79, n. 5, p. 467-475, 1999.

SIEBENMANN, C.; ROBACH, P.; JACOBS, R. A.; RASMUSSEN, P. *et al.* "Live high-train low" using normobaric hypoxia: a double-blinded, placebo-controlled study. **Journal of Applied Physiology**, 112, n. 1, p. 106-117, 2012.

SPENCER, M. R.; GASTIN, P. B. Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, 33, n. 1, p. 157-162, 2001.

STRAY-GUNDERSEN, J.; CHAPMAN, R. F.; LEVINE, B. D. "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. **Journal of Applied Physiology**, 91, n. 3, p. 1113-1120, 2001.

SVEDENHAG, J.; SALTIN, B.; JOHANSSON, C.; KAIJSER, L. J. S. J. o. M. *et al.* Aerobic and anaerobic exercise capacities of elite middle-distance runners after two weeks of training at moderate altitude. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, 1, n. 4, p. 205-214, 1991.

SWINTON, P. A.; HEMINGWAY, B. S.; SAUNDERS, B.; GUALANO, B. *et al.* A Statistical Framework to Interpret Individual Response to Intervention: Paving the Way for Personalized Nutrition and Exercise Prescription. **Frontiers in Nutrition**, 5, p. 41, 2018.

SYLTA, O.; TØNNESSEN, E.; SEILER, S. From heart-rate data to training quantification: a comparison of 3 methods of training-intensity analysis. **Int J Sports Physiol Perform**, 9, n. 1, p. 100-107, 2014.

TOMCZAK, M.; TOMCZAK, E. The need to report effect size estimates revisited. An overview of some recommended measures of effect size **Trends in Sports Science**, 1, 21, p. 19-25, 2014.

VALENZUELA, J. R.; RIOJAS, A. E.; MC, F. B.; VINGREN, J. L. *et al.* Determining MAOD Using a Single Exhaustive Severe Intensity Test. **International Journal of Exercise Sciences**, 13, n. 4, p. 702-713, 2020.

VOGT, M.; PUNTSCHART, A.; GEISER, J.; ZULEGER, C. *et al.* Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions. **Journal of Applied Physiology**, 91, n. 1, p. 173-182, 2001.

WAGENMAKERS, E. J.; LOVE, J.; MARSMAN, M.; JAMIL, T. *et al.* Bayesian inference for psychology. Part II: Example applications with JASP. **Psychonomic Bulletin and Review**, 25, n. 1, p. 58-76, 2018.

WAGENMAKERS, E. J.; MARSMAN, M.; JAMIL, T.; LY, A. *et al.* Bayesian inference for psychology. Part I: Theoretical advantages and practical ramifications. **Psychonomic Bulletin and Review**, 25, n. 1, p. 35-57, 2018.

WEBER, C. L.; SCHNEIDER, D. A. Maximal accumulated oxygen deficit expressed relative to the active muscle mass for cycling in untrained male and female subjects. **European Journal of Applied Physiology** 82, n. 4, p. 255-261, 2000.

WEBER, C. L.; SCHNEIDER, D. A. Reliability of MAOD measured at 110% and 120% of peak oxygen uptake for cycling. **Medicine & Science in Sports and Exercise**, 33, n. 6, p. 1056-1059, 2001.

WEIR, J. P. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. **Journal of Strength and Conditioning Research**, 19, n. 1, p. 231-240, 2005.

WEYAND, P. G.; LEE, C. S.; MARTINEZ-RUIZ, R.; BUNDLE, M. W. *et al.* High-speed running performance is largely unaffected by hypoxic reductions in aerobic power. **Journal of Applied Physiology**, 86, n. 6, p. 2059-2064, 1999.

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

ZAGATTO, A. M.; BERTUZZI, R.; MIYAGI, W. E.; PADULO, J. *et al.* MAOD Determined in a Single Supramaximal Test: a Study on the Reliability and Effects of Supramaximal Intensities. **International Journal of Sports Medicine**, 37, n. 9, p. 700-707, 2016.

ZOLL, J.; PONSOT, E.; DUFOUR, S.; DOUTRELEAU, S. *et al.* Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. III. Muscular adjustments of selected gene transcripts. **Journal of Applied Physiology**, 100, n. 4, p. 1258-1266, 2006.