



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE DESPORTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA

Leonardo Trevisol Possamai

**Comparação e Concordância dos Métodos de Determinação de Índices Aeróbios no
Remo**

Florianópolis
2020

Leonardo Trevisol Possamai

Comparação e Concordância dos Métodos de Determinação de Índices Aeróbios no Remo

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Educação Física.

Orientador: Prof. Tiago Turnes, Dr.

Florianópolis

2020

Ficha de identificação da obra

Possamai, Leonardo Trevisol

Comparação e Concordância dos Métodos de Determinação de Índices Aeróbios no Remo / Leonardo Trevisol Possamai ; orientador, Tiago Turnes, 2020.

78 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Desportos, Programa de Pós-Graduação em Educação Física, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Educação Física. 2. Marcadores fisiológicos. 3. Domínios de intensidade. 4. Desempenho Esportivo. I. Turnes, Tiago. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Educação Física. III. Título.

Leonardo Trevisol Possamai

Comparação e Concordância dos Métodos de Determinação de Índices Aeróbios no Remo

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Tiago Turnes, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Ricardo Dantas de Lucas, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Rafael Alves de Aguiar, Dr.

Universidade do Estado de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Educação Física.

Prof. Kelly Samara da Silva, Dra.

Coordenadora do Programa

Prof. Tiago Turnes, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2020.

Este trabalho é dedicado à minha família, em especial aos meus avós maternos Benjamin (*in memoriam*) e Lourdes Trevisol.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de iniciar agradecendo a Deus pela vida e por me conceder a graça de uma família e amigos tão especiais, que me deram apoio incondicional e compreenderam a minha ausência nesse período. Agradeço aos meus pais Luiz Carlos Schneider e Lurdenes Trevisol pelo amor, carinho, incentivo e profundo apoio na minha constante busca dos meus ideais. Agradeço aos meus avós paternos Otilio Schneider e Alzira Schneider (*in memoriam*) pelo carinhoso acolhimento na família Schneider. Deixo um agradecimento especial ao meu irmão Lucas Schneider por todo o apoio, mesmo distante. Agradeço à minha namorada Paloma, por toda a paciência, companheirismo e apoio em todas as etapas da minha vida pessoal e profissional ao longo de tantos anos de especial convivência.

Também, gostaria de expressar a minha gratidão e admiração ao meu orientador professor Tiago Turnes, pela recepção e parceria nesse período. Agradeço a paciência para ensinar e por todo o aprendizado, exercendo influência direta na minha formação como um exemplo de profissional e pessoa.

Deixo um agradecimento especial à professora Débora Goulart Bourscheid por todos os ensinamentos que foram fundamentais na minha formação, os conselhos e o apoio incondicional que fizeram toda diferença na minha formação profissional e pessoal.

Agradeço aos professores e membros do LAEF, por todos os momentos de descontração e por todo o aprendizado que retiro de cada um, sendo fundamentais para a realização desse trabalho. Igualmente, agradeço aos clubes Clube Náutico Francisco Martinelli, Clube de Regatas Aldo Luz e Clube Náutico Riachuelo e aos treinadores. Em especial, a todos os atletas que fizeram essa pesquisa possível, com toda a dedicação e comprometimento na realização dos testes.

Dedico esse trabalho aos meus avós maternos Benjamin (*in memoriam*) e Lourdes Trevisol que foram pessoas importantes e especiais na minha vida, contribuindo com a formação do meu caráter tendo muito deles na minha personalidade. Eles foram e sempre serão exemplos de honestidade, humildade e dignidade.

RESUMO

Além da importante relação com o desempenho aeróbio, a máxima fase estável de lactato (MFEL) e a potência crítica (PC) representam a transição do domínio pesado para o severo. Devido à dificuldade na determinação dessas intensidades, índices fisiológicos mensurados em testes incrementais têm sido utilizados na estimativa. A deoxihemoglobina muscular ([HHb]) derivada da espectroscopia de infravermelho próximo (NIRs) reporta a extração de oxigênio muscular, apresentando um platô na resposta durante teste incremental, identificando-se um ponto de quebra ([HHb]BP), que tem sido associado a MFEL. Esta associação, entretanto, ainda não foi determinada no remo, esporte no qual índices da segunda transição fisiológica têm superestimado a MFEL. A presente pesquisa teve como objetivo geral verificar a concordância entre a intensidade da MFEL e da PC com o [HHb]BP no músculo vasto lateral determinado em testes incrementais com diferentes tempos de estágio no remoergômetro. Ainda, verificar a correlação da MFEL, PC e [HHb]BP de ambos os incrementais com diferentes testes de desempenho. Quatorze remadores (idade: 26 ± 13 anos; massa corporal: $81,0 \pm 7,6$ kg; estatura: $1,82 \pm 0,05$ m; tempo 2000m: 415 ± 18 s) realizaram: I) avaliação antropométrica; II) INC_{3min}, com carga inicial de 130 W, incrementos de 30 W, estágios de 3-min de exercício e 30-s de recuperação passiva; III) determinação da MFEL por meio de testes de 30 min de carga constante; IV) INC_{1min}, com carga inicial de 130 W, incrementos de 15 W e estágios de 1-min sem pausa e V) determinação da PC por meio de testes de 500, 1000, 2000 e 6000m. A oxigenação muscular do vasto lateral dos remadores foi analisada pelo NIRs para determinação do [HHb]BP no INC_{3min} ([HHb]BP_{3min}) e INC_{1min} ([HHb]BP_{1min}), que foram comparadas com a potência da MFEL, PC e testes de desempenho. Os dados foram expressos em média \pm DP. As comparações das médias foram realizadas a partir da diferença média (Δ) e da ANOVA *one-way*. Para analisar a concordância dos 30 índices de transição fisiológica determinados utilizou-se o erro típico da estimativa (ETE). Ainda, as diferenças da MFEL e PC com o [HHb]BP_{1min} e [HHb]BP_{3min} a partir do Bland Altman. Utilizou-se correlação de *Pearson* para associação de todos os índices com a MFEL e na comparação da MFEL, [HHb]BP_{1min} e [HHb]BP_{3min} com o desempenho. Reportou-se o intervalo de confiança de 95% nas associações e na concordância dos índices fisiológicos com a MFEL. O nível de significância foi de $p < 0,05$. Apesar de não apresentar diferença média significativa, o [HHb]BP_{1min} (204 ± 29 W) e [HHb]BP_{3min} (207 ± 29 W) apresentaram baixa concordância com a MFEL (Δ : 8,4% e 13,1%; ETE: 15,3% e 15,6%) e entre si (ETE: 13,2%; LoA: -28,0 a 31,3%; $r = 0,51$). Ambos subestimaram a PC além da baixa concordância (Δ : -20,4% e -17,4%; ETE: 12,3% e 10,5%). A PC foi maior que a MFEL (Δ : 37,6%; ETE: 10,8%; Bias: -31,1%; $p < 0,01$). Os 18 índices da segunda transição fisiológica baseados na resposta do lactato sanguíneo, ventilação e frequência cardíaca superestimaram a MFEL (Δ : 12,5 a 44,9%; ETE: 5,6 a 14,3%), enquanto o LL_{2,0} (186 ± 27 W) e LV1 (193 ± 18 W) apresentaram as melhores concordâncias (ETE: 11,0% e 9,5%; Δ : -2,3% e 4,0%). O tempo ($r = -0,87$) e potência média ($r = 0,86$) do teste de 1000m apresentou correlação muito grande com a MFEL. O [HHb]BP_{3min} e [HHb]BP_{1min} apresentou baixas correlações com os testes de desempenho. Conclui-se que apesar do [HHb]BP_{3min} e [HHb]BP_{1min} não apresentarem diferença significativa da MFEL, foi observado alta variabilidade sugerindo uma baixa correspondência entre esses índices. Ainda, a PC foi superior a [HHb]BP e MFEL. Levando em conta a melhor associação dos índices da primeira transição fisiológica com a MFEL, é possível que este marcador corresponda ao limite inferior do domínio pesado no remoergômetro.

Palavras-chave: Marcadores fisiológicos. Domínios de intensidade. Oxigenação tecidual. Desempenho esportivo. Esportes aquáticos.

ABSTRACT

The maximal lactate steady state (MLSS) and critical power (CP) represent the transition from heavy to severe domain and present important relationship with aerobic performance. Due the difficulties on determination of these intensities, physiological index derived from incremental tests has been used in estimation. The muscle deoxyhemoglobin ([HHb]BP) derived of near infrared spectroscopy (NIRs) report the muscle oxygen extraction, which present a plateau in response during incremental test, identifying a break point ([HHb]BP), that has been associated with some index of second physiological transition and MLSS. This association, however, has not yet been determined in rowing, sport in which index of second physiological transition overestimated the MLSS. The aim of the present study was to compare the MLSS and CP intensities with the [HHb]BP in vastus lateralis muscle in incremental test with (INC_{3min}) and without (INC_{1min}) recovery in rowing ergometer. In addition, to verify their correlation with performance. Fourteen rowers (age: 26 ± 13 years; body mass: 81.0 ± 7.6 kg; height: 1.82 ± 0.05 m; 2000m time: 415 ± 18 s) performed: I) anthropometric assessment; II) INC_{3min}, with initial load of 130 W and 30 W exercise steps of 3-min and 30 s of passive recovery; III) MLSS determination, through 30-min constant load tests; IV) INC_{1min}, with initial load of 130 W and 30 W exercise steps of 1-min without recovery and V) CP determination through 500, 1000, 2000 and 6000m tests. The vastus lateralis muscle oxygenation was measured by NIRs for determination of [HHb]BP in INC_{3min} ([HHb]BP_{3min}) and INC_{1min} ([HHb]BP_{1min}), that was compared with power of MLSS, CP and first and second physiological transition indexes derivate of blood lactate, heart rate, ventilation and performance tests. The data were expressed as mean and \pm SD. The comparison were performed using ANOVA one-way. Pearson correlation with confidence intervals of 95%, mean difference (Δ) and typical error of estimate (TEE) for such indexes with significance level of $p < 0.05$. The [HHb]BP_{1min} (204 ± 29 W) and [HHb]BP_{3min} (207 ± 29 W) showed low correspondence from each other (Δ : -3.4%; TEE: 13.2%; $r = 0.51$), overestimated the MLSS (Δ : 8.4 and 13.1%; TEE: 15.3 and 15.6%) and underestimated the CP (Δ : -20.4% and -17.4%; TEE: 12.3% and 10.5%). The CP was higher than MLSS (Δ : 37.6%; TEE: 10.8%; $p < 0.01$). The 18 second transition indexes overestimated MLSS (Δ : 12.5 to 44.9%; TEE: 5.6 to 14.3%), while LL_{2,0} (186 ± 27 W) and VT1 (193 ± 18 W) presented the smallest TEE (11.0 and 9.5%) and Δ (-2.3 and 4.0%), respectively, with magnitudes from trivial to medium. The time ($r = -0.87$) and mean power ($r = 0.86$) of 1000m test showed a very large correlation with MLSS. The [HHb]_{3min} and [HHb]_{1min} presented low correlations with performance tests. In conclusion, despite the [HHb]_{3min} and [HHb]_{1min} did not show significant differences from MLSS, it was observed high variability with high TEE and mean difference that suggest a small correspondence between these indexes. In addition, the CP was higher than [HHb]BP and MLSS. Taking into account the better association of first physiological transition index with the MLSS, which clearly underestimated CP, it is possible that these markers correspond to the lower and the upper boundaries of the heavy domain on rowing exercise.

Keywords: Physiological markers. Exercise intensity domains. Tissue oxygenation. Sports performance. Water sports.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comportamento da oxihemoglobina e da deoxihemoglobina muscular em teste incremental com estágios de 3 minutos e recuperação de 30 segundos.	31
Figura 2. Esquema ilustrativo do delineamento experimental	40
Figura 3. Resposta da deoxihemoglobina durante o protocolo de calibração fisiológica.	45
Figura 4. Bias e limite de concordância da máxima fase estável de lactato e da potência crítica com o [HHb]BP1min e [HHb]3min e entre ambos [HHb]BP... Erro! Indicador não definido.	
Figura 5. Diferença média da máxima fase estável de lactato com os índices da primeira e segunda transição fisiológica.....	56
Figura 6. Erro típico da estimativa da máxima fase estável de lactato com os índices da primeira e segunda transição fisiológica.....	58
Figura 7. Correlação da máxima fase estável de lactato com os índices da primeira e segunda transição fisiológica.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Índices fisiológicos e desempenho no remoergômetro.....	20
Tabela 2. Resultados relativos à máxima fase estável de lactato em remadores juniores.....	27
Tabela 3. Índices fisiológicos relacionados à máxima fase estável de lactato em remadores..	28
Tabela 4. Comparação do ponto de quebra nas diferentes variáveis do NIRs com os índices de transição fisiológica.....	33
Tabela 5. Índices da primeira e segunda transição fisiológica relacionados à resposta do lactato sanguíneo.....	42
Tabela 6. Índices da primeira e segunda transição fisiológica relacionados a resposta da ventilação e da frequência cardíaca.....	43
Tabela 7. Comparação dos valores máximos e do [HHb]BP entre os testes incrementais.....	48
Tabela 8. Intensidade da máxima fase estável de lactato e respostas fisiológicas associadas.....	49
Tabela 9. Tempo e potência média dos testes de desempenho.....	50
Tabela 10. Determinação da potência crítica e da capacidade de trabalho acima da potência crítica.....	50
Tabela 11. Correlação entre a máxima fase estável de lactato e os testes de desempenho.....	51
Tabela 12. Correlação entre os testes de desempenho e o [HHb]BP dos testes incrementais..	52
Tabela 13. Comparação da máxima fase estável de lactato, [HHb]BP dos testes incrementais e potência crítica.....	53
Tabela 14. Comparação da máxima fase estável de lactato com o [HHb]BP dos testes incrementais.....	54
Tabela 15. Comparação entre a potência crítica e o [HHb]BP dos testes incrementais.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

[La]	–	Concentrações de lactato sanguíneo
[La]final	–	Concentração de lactato no final do teste
[HHb]	–	Deoxihemoglobina
[O ₂ Hb]	–	Oxihemoglobina
[HHb]BP	–	Ponto de quebra da deoxihemoglobina muscular
%G	–	Percentual de gordura
DmaxFC	–	Ponto na curva que está mais distante da linha reta que junta o ponto da carga inicial e final
ETE	–	Erro típico da estimativa
FC	–	Frequência cardíaca
FCmax	–	Frequência cardíaca máxima
IAT _{SIMON}	–	Tangente na curva de lactato de 45°
IAT _{KEUL}	–	Tangente na curva de lactato de 51°
IAT _{DICKHUTH}	–	Valor fixo de 1,0/1,5 mmol/L somado ao lactato mínimo equivalente.
IVO ₂ max	–	Intensidade do $\dot{V}O_2$ max
LAn	–	Limiar anaeróbio
LAn _{3,0}	–	Intensidade correspondente à concentração de 3,0 mmol/L
LAn _{3,5}	–	Intensidade correspondente à concentração de 3,5 mmol/L
LAn _{4,0}	–	Intensidade correspondente à concentração de 4,0 mmol/L
LAn>	–	Valor fixo de 1,5/2,0/2,5/3,0 mmol/L somado ao <i>baseline</i>
LAn _{DMAX}	–	Ponto na curva que está mais distante da linha reta que junta o ponto da carga inicial e final.
LAn _{DMOD}	–	Ponto na curva que está mais distante da linha reta que junta o ponto do primeiro aumento na concentração de lactato e o ponto final.
LL	–	Limiar de lactato
LL _{2,0}	–	Intensidade correspondente à concentração de 2,0 mmol/L
LL _{2,5}	–	Intensidade correspondente à concentração de 2,5 mmol/L
LL>	–	Valor fixo de 0,5/1,0 mmol/L somado ao <i>baseline</i>
LL _{#0,4}	–	Estágio anterior a primeira diferença $\geq 0,4$ mmol/L entre dois estágios.
LL _{VISUAL}	–	Aumento na concentração de lactato sanguíneo em relação ao repouso.

LL_{LOGLOG}	– Logaritmos da concentração de lactato e consumo de oxigênio são confrontados.
LV1	– Primeiro limiar ventilatório
LV2	– Segundo limiar ventilatório
MC	– Massa corporal
MFEL	– Máxima fase estável de lactato
$MFEL_{INT}$	– Máxima fase estável de lactato intermitente
MM	– Massa magra
NIRs	– Espectroscopia de infravermelho próximo
PC	– Potência crítica
PDFC	– Ponto de deflexão da frequência cardíaca
PM	– Potência média do teste
PP	– Potência pico do teste incremental
PSE	– Percepção subjetiva de esforço
PSEfinal	– Percepção subjetiva de esforço no final do teste
StO_2	– Índice de saturação tecidual
VC	– Velocidade crítica
VE/VO_2	– Equivalente ventilatório de oxigênio
VE/VCO_2	– Equivalente ventilatório de dióxido de carbono
$\dot{V}O_{2max}$	– Consumo máximo de oxigênio
$\dot{V}O_2$	– Consumo de oxigênio
W'	– Trabalho realizado acima da potência crítica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	PROBLEMA E JUSTIFICATIVA	15
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo Geral.....	18
1.2.2	Objetivos Específicos	18
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	ÍNDICES DE TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA	19
2.1.1	Índices de Transição Fisiológica e Desempenho no Remo	19
2.1.2	Influência do Protocolo Incremental nos Índices Fisiológicos.....	25
2.2	MÁXIMA FASE ESTÁVEL DE LACTATO NO REMO	26
2.3	POTÊNCIA CRÍTICA NO REMO	28
2.4	ÍNDICES DE OXIGENAÇÃO MUSCULAR	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1	SUJEITOS DA PESQUISA	38
3.2	INSTRUMENTOS	38
3.3	PROTOCOLO EXPERIMENTAL	39
3.3.1	Delineamento Experimental	39
3.3.2	Avaliação Antropométrica	40
3.3.3	Testes Incrementais	40
3.3.4	Determinação da Máxima Fase Estável de Lactato	43
3.3.5	Análise da Oxigenação Muscular	44
3.3.6	Determinação da Potência Crítica	46
3.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	47
4	RESULTADOS	48
4.1	TESTES INCREMENTAIS	48
4.2	DETERMINAÇÃO DA MÁXIMA FASE ESTÁVEL DE LACTATO	49

4.3	TESTES DE DESEMPENHO, DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA CRÍTICA E A RELAÇÃO COM A MÁXIMA FASE ESTÁVEL DE LACTATO.....	49
4.4	COMPARAÇÃO DA MÁXIMA FASE ESTÁVEL DE LACTATO, POTÊNCIA CRÍTICA E [HHb]BP	53
4.5	COMPARAÇÃO DA MÁXIMA FASE ESTÁVEL DE LACTATO COM OS ÍNDICES DA PRIMEIRA E SEGUNDA TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA.....	56
5	DISCUSSÃO	60
6	CONCLUSÃO.....	67
	REFERÊNCIAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

A avaliação de índices fisiológicos proporciona importantes aplicações para a área do treinamento desportivo (LAURSEN E JENKINS, 2002). Dentre elas, permite a identificação dos diferentes domínios de intensidade do exercício a partir da determinação de marcadores como a máxima fase estável de lactato (MFEL) (FAUDE, KINDERMANN *et al.*, 2009) e potência crítica (PC) (BURNLEY E JONES, 2007). Ainda, a partir de testes incrementais determinam-se diferentes índices fisiológicos utilizados na estimativa da MFEL e PC (BENTLEY, NEWELL *et al.*, 2007). O exercício pode ser dividido entre os domínios moderado, pesado, severo e extremo (BURNLEY E JONES, 2007) apresentando respostas fisiológicas específicas. Em relação à cinética do $\dot{V}O_2$ pulmonar, o aparecimento do componente lento no domínio pesado e severo (BURNLEY E JONES, 2007), alcance de estado estável nas concentrações de lactato sanguíneo ([La]) no domínio moderado e pesado (BILLAT, SIRVENT *et al.*, 2003) e o atingimento da extração máxima de O_2 no domínio severo (GRASSI E QUARESIMA, 2016).

A MFEL representa a maior intensidade de exercício com estado estável na [La] (BENEKE, 2003), enquanto a PC reflete a menor intensidade que o $\dot{V}O_{2max}$ não é alcançado (POOLE, WARD *et al.*, 1988; DE LUCAS, DE SOUZA *et al.*, 2013), uma vez que isso ocorre em intensidades levemente superiores a PC (*i.e.*, 5-10%; POOLE, WARD *et al.*, 1988; DE LUCAS, DE SOUZA *et al.*, 2013). Apesar das recentes discussões sobre a intensidade que represente o máximo estado de estabilidade fisiológica (JONES, BURNLEY *et al.*, 2019), ambos os índices representam a transição do domínio pesado para o severo (POOLE, WARD *et al.*, 1988; FAUDE, KINDERMANN *et al.*, 2009). No entanto, alguns estudos têm indicado diferenças consideráveis (16%) entre estes índices (DEKERLE, BARON *et al.*, 2003), com a MFEL representando ~75% da potência pico de um teste incremental (PP) e cerca de 5-10% abaixo da PC no ciclismo (JENKINS E QUIGLEY, 1990; SMITH E JONES, 2001; PRINGLE E JONES, 2002) e natação (DEKERLE, PELAYO *et al.*, 2005).

Porém, em modalidades como o remo, esta relação ainda carece de investigações. A MFEL no remo tem sido encontrada em intensidades correspondendo a 65-70% da PP (BENEKE, 1995; BENEKE, LEITHAUSER *et al.*, 2001; BOURDON, WOOLFORD *et al.*, 2018), inferior ao comumente reportado em outras modalidades. Esse resultado pode ser

relacionado à grande massa muscular envolvida no remo, diminuindo a potência por unidade de massa muscular e a [La] em uma determinada carga conforme incrementa-se a massa muscular ativa (BENEKE, LEITHAUSER *et al.*, 2001). Além disso, tem-se observado que diferentes índices da segunda transição fisiológica (BENEKE, 1995; KLUSIEWICZ, 2005) superestimam a MFEL, mesmo quando obtidos em diferentes testes incrementais (BOURDON, WOOLFORD *et al.*, 2018). Portanto, embora a literatura demonstre que a MFEL ocorra em intensidades 5-10% abaixo da PC, especula-se que no remo esta diferença possa ser ainda maior, com a MFEL representando intensidades inferiores as preditas pelos limiares da segunda transição fisiológica, algo que permanece sem uma comparação direta.

Devido ao tempo dispendido na determinação da MFEL e PC, os índices de transição fisiológica associados à resposta do lactato sanguíneo, da ventilação pulmonar e da frequência cardíaca (FC) durante teste incremental têm sido utilizados na estimativa indireta (BENTLEY, NEWELL *et al.*, 2007). No entanto, as análises de concordância desses índices com a MFEL têm sido pouco explorados na literatura, em especial no remo. Ainda, os índices de transição determinados a partir de medidas não invasivas tem ganhado espaço na literatura. Nesse sentido, a espectroscopia de infravermelho próximo (NIRs) tem sido utilizada na avaliação da oxigenação muscular no exercício (MUTHALIB, MILLET *et al.*, 2010), com a deoxihemoglobina muscular ([HHb]) sendo a principal variável analisada, reportando informações referentes a extração de O₂ (BOONE, BARSTOW *et al.*, 2016). Refletindo a demanda progressiva no consumo de oxigênio muscular, verifica-se durante um teste incremental um ponto de quebra ([HHb]BP) causado por um platô na resposta da [HHb], indicando que o músculo atingiu o limite na capacidade de extração do O₂ causado por uma limitação na difusão do O₂ em intensidades próximas da máxima (GRASSI E QUARESIMA, 2016). Dessa forma, o [HHb]BP tem sido investigado como uma nova alternativa dos marcadores dos domínios fisiológicos durante o exercício.

Alguns estudos têm observado uma proximidade do [HHb]BP com a MFEL (BELLOTTI, CALABRIA *et al.*, 2013; KEIR, FONTANA *et al.*, 2015) e PC (KEIR, FONTANA *et al.*, 2015) em sujeitos ativos no ciclismo, no entanto, não sendo explorado as análises de concordância. Nesse sentido, no remo, identificou-se forte associação e baixa diferença média do [HHb]BP com o limiar anaeróbico determinado por concentração fixa de 3,5 mmol/L (LAN_{3,5}) (TURNES, PENTEADO DOS SANTOS *et al.*, 2019). Assumindo que o LAN_{3,5} possivelmente superestime a MFEL no remo conforme previamente observado (BENEKE 1995; BENEKE, LEITHAUSER *et al.*, 2001; KLUSIEWICZ 2005; BOURDON,

WOOLFORD *et al.*, 2018), poder-se-ia especular que o [HHb]BP, assim como outros limiares da segunda transição fisiológica, representariam intensidades superiores a MFEL indicando baixa correspondência. Ainda, embora verificou-se associação do $\dot{V}O_2$ da MFEL, PC e do [HHb]BP no ciclismo, a potência do [HHb]BP (273 ± 41) foi cerca de 20% superior a MFEL (223 ± 39) e PC (226 ± 45) (KEIR, FONTANA *et al.*, 2015). Tendo em vista que a determinação da PC pelo modelo hiperbólico de 3 parâmetros parece subestimar em 9,3% a PC em relação aos modelos com 2 parâmetros (GAESSER, CARNEVALE *et al.*, 1995), e a MFEL representa intensidades relativas a PP mais baixa no remo do que em outras modalidades (BENEKE 1995; BENEKE, LEITHAUSER *et al.*, 2001; BOURDON, WOOLFORD *et al.*, 2018), hipotetiza-se uma diferença entre a MFEL e a PC no remo ainda maior do que os 5-10% observados em modalidades como ciclismo e natação (PRINGLE E JONES, 2002; DEKERLE, PELAYO *et al.*, 2005; DENADAI, GOMIDE *et al.*, 2005). Além disso, tendo em vista que índices da segunda transição fisiológica superestimam a MFEL no remo (BENEKE, 1995; BENEKE, LEITHAUSER *et al.*, 2001; BOURDON, WOOLFORD *et al.*, 2018), índices estes que se aproximam do [HHb]BP no remo (TURNES, PENTEADO DOS SANTOS *et al.*, 2019), também é possível esperar que o [HHb]BP também superestime a MFEL no remo, aproximando-se da intensidade da PC. Nesse sentido, apresenta-se a necessidade das análises de concordância entre os diferentes índices fisiológicos e a MFEL. Portanto, a comparação destas variáveis poderia fornecer importantes informações sobre a proposição do [HHb]BP como uma nova ferramenta na modalidade do remo.

Um aspecto importante a ser considerado nesta comparação refere-se à identificação dos índices fisiológicos, que podem ser dependentes do protocolo baseado no tempo dos estágios e as pausas. Beneke, Hutler *et al.*, (2003) observaram que a interrupção dos testes para coleta de sangue pode diminuir a [La] na MFEL. Além disso, levando em consideração que o tipo de incremental utilizado altera as respostas fisiológicas, testes incrementais de estágios curtos (<1 min) têm sido indicados para mensuração dos índices relacionados à resposta ventilatória, com os protocolos longos (≥ 3 min) utilizados na identificação de índices baseados na resposta da [La] (BENTLEY, NEWELL *et al.*, 2007). Jamnick, Botella *et al.*, (2018) confirmaram esses achados com os protocolos longos (≥ 4 min) demonstrando as melhores estimativas da MFEL quando analisado os limiares derivados da concentração de lactato venoso no ciclismo. Nesse sentido, a pausa nos testes incrementais pode afetar a oxigenação muscular, superestimando o [HHb]BP em relação a um teste sem pausas, uma vez que, permitem a recuperação (*i.e.*, diminuição da extração de O_2) podendo apresentar uma queda menos

acentuada e mais constante na resposta da [HHb]. No entanto, os estudos que relacionaram o [HHb]BP com a MFEL utilizaram testes incrementais sem pausa (BELLOTTI, CALABRIA *et al.*, 2013; KEIR, FONTANA *et al.*, 2015), permanecendo incerto se o [HHb]BP pode ser dependente do incremental com estágios curtos (*i.e.*, 1 min) ou longos (*i.e.*, 3 min) e se tal aspecto pode alterar a intensidade do [HHb]BP.

Portanto, a presente pesquisa visa compreender as diferenças entre a MFEL e PC, como também, identificar a concordância entre os índices de transição fisiológica e a MFEL no remo. Sendo assim, o presente estudo tem como objetivo geral verificar a concordância entre as intensidades da MFEL e PC com o [HHb]BP determinado em dois testes incrementais com estágios curtos sem pausa (*i.e.*, 1-min; [HHb]BP_{1min}) e estágios longos com pausa (*i.e.*, 3-min; [HHb]BP_{3min}) em remadores bem treinados. Nesse sentido, a hipótese é que os índices da segunda transição fisiológica não apresentem concordância com a MFEL, como também, uma diferença maior entre a MFEL e PC comparado com a diferença reportada em diferentes esportes.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Verificar a concordância entre as intensidades da MFEL e PC com o [HHb]BP determinado a partir de teste incremental com estágios de um minuto (INC_{1min}) e estágios com 3 minutos (INC_{3min}) em remadores bem treinados.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Comparar as variáveis fisiológicas máximas (PP, $\dot{V}O_{2max}$, FC_{max}, [La]_{final} e PSE_{final}) determinadas no INC_{1min} e INC_{3min}.
- Identificar a concordância da MFEL com os 30 índices de transição fisiológica determinados nos testes incrementais.
- Analisar a FC e $\dot{V}O_2$ do [HHb]BP determinados no INC_{1min} e INC_{3min} com a MFEL.
- Relacionar o [HHb]BP determinado no INC_{1min} e INC_{3min}, a MFEL e a PC com os testes de desempenho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ÍNDICES DE TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA

2.1.1 Índices de Transição Fisiológica e Desempenho no Remo

Diversos fatores fisiológicos, biomecânicos, nutricionais, psicológicos e ambientais influenciam o desempenho aeróbio (KAY E MARINO, 2000). Nesse sentido, a intensidade média durante um evento de *endurance* pode ser influenciada pela PP, eficiência de movimento, assim como, o $\dot{V}O_2\text{max}$ (COYLE, 1995). Diante disso, é de grande importância para os pesquisadores do esporte e treinadores a quantificação das relações entre os índices fisiológicos máximos e submáximos com o desempenho aeróbio (HOPKINS E MCKENZIE, 1994) que podem ser utilizados na prescrição do treinamento e no monitoramento dos efeitos de programas de treinamento (LUCIA, HOYOS *et al.*, 2000a).

O remo envolve regatas de 2000m de distância e duração de 6 a 8 minutos, com o desempenho sendo influenciado por variáveis fisiológicas, mecânicas e pelas condições ambientais (SMITH E HOPKINS, 2011). Diante disso, o remoergômetro tem sido utilizado tanto no treinamento quanto nas avaliações, com o tempo do 2000m sendo a principal variável para mensuração do desempenho (SMITH E HOPKINS, 2011; TURNES, CRUZ *et al.*, 2019). Embora a integração dos sistemas energéticos dependa da duração no 2000m, estima-se uma contribuição aproximada de 84-88% do metabolismo aeróbio (MELLO, BERTUZZI *et al.*, 2009). Muitos estudos têm tentado identificar os determinantes da *performance* no 2000m, indicando que a combinação da eficiência de remada (KRAMER, LEGER *et al.*, 1994), do $\dot{V}O_2\text{max}$ (COSGROVE, WILSON *et al.*, 1999), da força muscular (IZQUIERDO-GABARREN, EXPÓSITO *et al.*, 2010), da potência pico do teste incremental e do metabolismo anaeróbio (BOURDIN, LACOUR *et al.*, 2017; TURNES, POSSAMAI *et al.*, 2020) são importantes variáveis para a predição do desempenho (tabela 1).

Tabela 1. Índices fisiológicos e desempenho no remoergômetro.

Estudo	Sujeitos	Testes	Variável Dependente	Resultados	Regressão	
Izquierdo-Gabarren et al. (2010)	24♂Elite (2km = 376s) 22♂Amadores (2km = 394s)	LAN _{4,0} /W _{10strokes} /1 _R M/75% _{1RM} BP	W _{20min}	MC (r = 0,65)/MM (r = 0,66)/LAN _{4,0} (r = 0,85)	LAN _{4,0} (r = 0,65) LAN _{4,0} (r = 0,80)/W _{10strokes} (r = 0,72)	LAN _{4,0} , W _{10strokes} e 75% _{1RM} = 81%
Akça (2014)	38♂Colegiais (2km = 398s)	1 _{RM} BP e LP/DIN/CIR _c /COM _b /COM _p /EST _s /ENV/ BIOT/WIN _{me} /WIN _{ma} /WIN _{mi}	2000m	EST (r = -0,80)/MC (r = -0,81)/MM (r = -0,82)/ENV (r = -0,71)/COM _b (r = -0,70)/COM _p (r = -0,70)/LP (r = -0,75)/BP (r = -0,74)/DIN (r = -0,72)/WIN _{m1} (r = -0,79)/WIN _{m2} (r = -0,75)/WIN _{m3} (r = -0,77)		1) EST _s /MM/ENV/EST/CIR _c /MC/COM _p /COM _b = 77% 2) EST/1 _{RM} BP,LP/DIN/PESO = 74% 3) EST/MC/WIN _{me} /WIN _{ma} /WIN _{mi} = 70% 4) EST/1 _{RM} BP,LP/MC/WIN _{m1} /WIN _{m3} = 80% 5) MM/EST/1 _{RM} BP,LP/COM _p /COM _b /PESO/ENV/WIN _{me} /WIN _{ma} /WIN _{mi} = 87%
Ingham et al. (2002)	23♂/18♀ Amadores e elite	LL/LL _{2,0} /LAN _{3,0} /LAN _{4,0} /VO ₂ max/PP/F M/COM/TAX _r	v2000m	IVO ₂ max (r = 0,95)/PP (r = 0,95)/FM (r = 0,95)/VO _{2LL} (r = 0,86)/VO _{2LLM} (r = 0,87)/LL (r = 0,88)/VO ₂ max (r = 0,88)/LL _{2,0} (r = 0,92)/LAN _{4,0} (r = 0,92)/MC (r = 0,82)/EST (r = 0,76)/COM _r (r = 0,76)		PP/LAN _{4,0} /IVO ₂ max/VO _{2LL} = 98%
Cosgrove et al. (1999)	13♂Amadores	VO ₂ max/EM/IVO ₂ max/LL/LAN _{4,0}	v2000m	VO ₂ max (r = 0,85)/MM (r = 0,85)		VO ₂ max = 72%
Kramer et al. (1994)	20♀ (2,5km = 591s)	EXP _a /EXP _t /EST _s /C OM _b /1 _{RM} e endurance	2500m	EXP _a (r = -0,86)/EXP _t (r = 0,87)/VO ₂ max (r = -0,77)		EXP _a /VO ₂ max = 75%

Continua na próxima página

		LP,BP/DIN/VO ₂ max				
		x				
Bourdin et al. (2004)	54♂Elite (2km = 372s)	VO ₂ max/PP/IVO ₂ max/ ax/VO _{2,0} /EM	w2000m	VO ₂ max (r = 0,84)/PP (r = 0,92)		PP = 85%
Bourdin et al. (2017)	70♀Elite (2km = 435s)	VO ₂ max/PP/IVO ₂ max/ ax/LAn _{4,0} /EM	w2000m	PP (r = 0,88)/LAn _{4,0} (r = 0,87)/VO ₂ max (r = 0,83)		PP = 79%
Yoshiga et al. (2003)	71♀Amador	VO ₂ max	2000m	EST (r = -0,81)/MC (r = -0,85)/MM (r = -0,91)/VO ₂ max (r = -0,91)		EST/MM/VO ₂ max = 77%
Turnes et al. (2020)	16♂3♀Amador	LL/LAn/VO ₂ max/P P/EM	w2000m	MC (r = 0,72)/LAn _{3,5} (r = 0,92)/LL _{VISUAL} (r = 0,91)/PP (r = 0,97)		PP = 96%
Mikulic 2009	25♂Amador	VO ₂ max/IVO ₂ max/ LV2	6000m	MM (r = -0,76)/LV2 (r = -0,74)/IVO ₂ max (r = -0,73)		LV2/CVF = (r = 0,87)

EXPa: experiência competitiva do atleta; EXPt: experiência competitiva do treinador; MC: massa corporal; MM: massa magra; %G: percentual de gordura; BIOT: biotipo corporal; ESTs: estatura sentado; COMb: comprimento do braço; COMP: comprimento da perna; COMr: comprimento de remada; CIRCc: circunferência de coxa; ENV: envergadura; PP: potência pico; LL: limiar de lactato; LAn: limiar anaeróbio; VO₂max: consumo máximo de oxigênio; IVO₂max: intensidade em que se atinge o consumo máximo de oxigênio; WINme: potência média no teste de Wingate; WINma: potência máxima no teste de Wingate; WINmi: potência mínima no teste de Wingate; EM: eficiência de movimento; TAXr: taxa média de remada; BP: *bench pull*; LP: *leg press*; DIN: pico de torque no dinamômetro isocinético; FM: força máxima; W: potência; CVF: capacidade vital forçada.

Cosgrove, Wilson *et al.*, (1999) demonstraram que o $\dot{V}O_2\text{max}$ absoluto foi o melhor preditor de velocidade explicando 72% do desempenho no 2000m. Além disso, após testes submáximos verificou-se que a eficiência de movimento nas maiores cargas de trabalho apresenta relação com o desempenho comparado à eficiência em cargas menores, pois, durante a prova os atletas permanecem mais tempo próximos à intensidade do $\dot{V}O_2\text{max}$ (BOURDIN, LACOUR *et al.*, 2017; TURNES, POSSAMAI *et al.*, 2020). Similarmente a esses resultados, Inghan, Whyte *et al.*, (2002) identificaram em remadores de elite avaliando-se variáveis máximas e submáximas, que a intensidade em que se atinge o $\dot{V}O_2\text{max}$ durante teste incremental ($I\dot{V}O_2\text{max}$) foi importante para o desempenho ($r = 0,95$), não sendo reportado informações relacionadas a eficiência de movimento o que dificulta comparações dessa variável entre remadores de diferentes níveis. No entanto, o $\dot{V}O_2\text{max}$ também apresentou relação com o desempenho ($r = 0,88$). Por outro lado, Wilcox e Bulbulian (1983) verificaram em uma amostra heterogênea de corredores uma boa relação da economia com o desempenho, o que pode explicar a correlação encontrada apenas na maior carga submáxima nos remadores, uma vez, a característica das provas são diferentes (*i.e.*, distância mais curta em intensidades mais altas no remo).

Kramer, Leger *et al.*, (1994) avaliaram diferentes variáveis fisiológicas laboratoriais e de campo, encontrando correlação da performance no 2500m com o $\dot{V}O_2\text{max}$ ($r = 0,71$) em remadoras de diversos níveis. Outro aspecto a ser destacado, verificado no estudo de Chenier e Leger (1991) foi que o $\dot{V}O_2\text{max}$ determinado no remoergômetro não foi diferente dos valores mensurados na água, sendo que esses achados, foram confirmados por Mello, Bertuzzi *et al.*, (2009). Os estudos apresentados demonstram a importância do $\dot{V}O_2\text{max}$ absoluto para o remo no aprimoramento do desempenho de atletas de diferentes níveis.

Por outro lado, as variáveis antropométricas também exercem grande influência no desempenho de remadores (AKÇA, 2014). Nesse sentido, a seleção de talentos tem grande importância para o esporte e a identificação de um perfil antropométrico pode ser uma ferramenta utilizada a partir das variáveis antropométricas, as quais também apresentam grande importância no desempenho de remadores juniores (BOURGOIS, CLAESSENS *et al.*, 2000). A massa corporal e a estatura desses remadores foi 27% e 7% (massa: $82,2 \pm 7,4$ kg; estatura: $187,4 \pm 5,8$ cm), respectivamente, maiores do que a média populacional da Bélgica (massa: 64,7 kg; estatura: 175,4 cm), sendo que, houve diferença significativa quando comparado os remadores finalistas (massa corporal: $84,8 \pm 7,1$ kg; estatura: $189,3 \pm 5,0$ cm) e não finalistas (massa corporal: $80,6 \pm 7,0$ kg; estatura: $186,3 \pm 6,1$ cm) de uma competição (BOURGOIS,

CLAESSENS *et al.*, 2000). Malina (1994) sugere que esses resultados não estão ligados ao treinamento, mas, que esses atletas apresentam uma estatura maior do que a média durante a infância e adolescência. Paralelamente, as dimensões corporais (comprimento e perímetros) também são maiores que a da média populacional (*e.g.*, circunferência de coxa e panturrilha), no entanto, essas variáveis podem ser explicadas pelo efeito do treinamento (SKLAD, KRAWCZYK *et al.*, 1993).

Quando comparado atletas adultos de elite com amadores, o resultado identificado nos atletas juniores se mantém, com maiores valores de massa corporal e estatura para os atletas de elite (IZQUIERDO-GABARREN, EXPÓSITO *et al.*, 2010). Isto pode estar relacionado a características biomecânicas individuais de cada atleta na técnica do remo tradicional (realizado no mar com 13 remadores) comparado ao remo Olímpico (diferentes botes e quantidade de remadores), que é caracterizado por uma movimentação do tronco para frente no início da remada seguido da extensão de joelhos (BAUDOIN E HAWKINS, 2002).

O remo caracteriza-se como um esporte de potência e *endurance*, sendo necessários altos níveis de força para alcance da potência máxima em cada remada (IZQUIERDO-GABARREN, EXPÓSITO *et al.*, 2010). Fiskerstrand e Seiler (2004) indicam que a utilização do treinamento de força em remadores tem crescido, atingindo cerca de 20% da periodização desses atletas. Izquierdo-Gabarren, Expósito *et al.*, (2010) verificaram valores de força muscular 13% maior em atletas de elite comparado a amadores, o que indica que os valores absolutos são importantes no desempenho. No entanto, quando a potência muscular foi expressa em valores relativos a massa livre de gordura, não houve diferença entre os grupos. Esses resultados podem estar relacionados à ativação neural e a tensão muscular por unidade de massa muscular (IZQUIERDO, HAKKINEN *et al.*, 2002), que em cargas submáximas não apresentaram diferença entre os grupos.

Outros fatores importantes são a massa corporal e massa magra, visto que, Cosgrove, Wilson *et al.*, (1999) observaram uma alta correlação da massa magra com o desempenho no 2000m ($r = 0,85$), indicando que os remadores com menores parciais a cada 500m demonstravam melhores desempenhos por envolver um elemento dinâmico maior associado a uma habilidade de alta produção de força durante cada remada.

Kramer, Leger *et al.*, (1994) verificaram resultados importantes associando as medidas de força muscular no *leg press* com o tempo no 2500m ($p < 0,01$), o que não foi observado nas medidas de pico de torque e trabalho total no dinamômetro isocinético. Entretanto, foi apresentada uma correlação entre o pico de torque concêntrico no dinamômetro e a força

muscular no *leg press* ($r = 0,75$). Porém, deve-se levar em consideração que o dinamômetro envolve a mensuração de força de uma articulação, com o *leg press* envolvendo um movimento simultâneo nas articulações de quadril, joelho e tornozelo que apresentam grande importância no gesto técnico do remo.

Inghan, Whyte *et al.*, (2002) encontraram uma alta correlação entre a força muscular e potência máxima ($r = 0,95$) com o desempenho no 2000m. Os autores ainda indicam o percentual de gordura corporal como uma variável importante na predição da potência máxima, pois, sugerem que para aumentos na potência qualquer aumento de massa corporal deve ser composto por um aumento na massa magra. Os índices máximos de força muscular não caracterizam completamente o potencial anaeróbio e a mensuração de outras medidas podem ajudar na compreensão dos fatores relevantes para o desempenho, uma vez que, o remo conta com uma contribuição energética de 12-16% do metabolismo anaeróbio (MELLO, BERTUZZI *et al.*, 2009). Hartman, Mader *et al.*, (1993) considerando essas variáveis máximas, concluíram que, a potência mantida durante um teste máximo de 6 minutos é equivalente a 65-75% da potência máxima no 2000m, com uma média de 77% da potência máxima mantida durante o 2000m (INGHAN, WHYTE *et al.*, 2002). Kuipers, Verstappen *et al.*, (1985) observaram nos indivíduos com maiores valores de potência máxima menores valores de lactato em qualquer carga, resultando em um deslocamento para a direita da curva lactato e potência. Os autores ainda sugerem que variações na potência podem ser relacionadas a mudanças na eficiência mecânica.

Howley e Noakes (1992) mostraram que a PP foi correlacionada com o tempo de prova de 20 km ($r = -0,91$) em um grupo heterogêneo de ciclistas treinados, que suportam os dados achados de Bourdin, Messonnier *et al.*, (2004) em remadores, encontrando uma alta correlação ($r = 0,92$) da PP com o desempenho (potência média no 2000m). No entanto, os autores identificaram a PP em $109,2 \pm 6,0$ % da $\dot{V}O_2\text{max}$ nos remadores, indicando uma alta capacidade para sustentar intensidades próximas ao $\dot{V}O_2\text{max}$. Esses resultados podem ser explicados pela participação do metabolismo anaeróbio e pela especificidade do remo no qual uma grande massa muscular é envolvida, visto que, uma determinada carga de trabalho é melhor sustentada quando ocorre o envolvimento de grande massa muscular (ASTRAND E SALTIN, 1961).

Billat, Renoux *et al.*, (1994) demonstrou que o tempo de exaustão a 100% da velocidade máxima no $\dot{V}O_2\text{max}$ foi correlacionado com o $\dot{V}O_2$ do LAn na corrida. Nesse sentido, Bourdin, Messonnier *et al.*, (2004) demonstraram que o $\dot{V}O_2$ no LAn influencia no

alcançe da PP em intensidades acima da $\dot{V}O_2\text{max}$, o que pode indicar que quanto maior o LAn maior a capacidade para alcançar e manter intensidades acima da $\dot{V}O_2\text{max}$, que pode ser explicado pela habilidade de remoção do lactato na intensidade do LAn no remo (MESSONNIER, FREUND *et al.*, 1997). Analisando-se fisiologicamente, a PP integra o $\dot{V}O_2\text{max}$, a eficiência de remada e a habilidade de sustentar uma potência acima da $\dot{V}O_2\text{max}$, demonstrando ser uma variável de importância para o desempenho, uma vez que, foi o índice de melhor predição com o desempenho no 2000m tanto em remadores (BOURDIN, MESSONNIER *et al.*, 2004) e remadoras (BOURDIN, LACOUR *et al.*, 2017) de elite, quanto em remadores bem treinados (TURNES, POSSAMAI *et al.*, 2020).

2.1.2 Influência do Protocolo Incremental nos Índices Fisiológicos

O teste incremental é um protocolo padronizado para determinação das variáveis fisiológicas submáximas e máximas, podendo sofrer alterações na sua estrutura, como a intensidade inicial, duração e intensidade dos incrementos (BENTLEY, NEWELL *et al.*, 2007). Os testes podem sofrer essas modificações para uma avaliação mais adequada à população e variáveis que se pretende estudar, sendo que, a modificação na duração de cada estágio é a forma mais comum de adaptação do teste incremental (BENTLEY, NEWELL *et al.*, 2007).

Coyle (1995) verificou em sujeitos treinados e destreinados que estágios curtos (< 60 segundos) podem ser utilizados para mensuração do $\dot{V}O_2\text{max}$. No entanto, os testes com estágios de 3 minutos tem sido os mais utilizados para avaliação de atletas (BENTLEY, NEWELL *et al.*, 2007). Nesse sentido, Kuipers, Rietjens *et al.*, (2003) compararam três tempos de estágio (1 min, 3 min e 6 min) no teste incremental nas variáveis máximas em corredores, verificando diferenças na velocidade máxima atingida nos incrementais, sendo que, quanto mais curto o estágio maior a velocidade máxima atingida, no entanto, não foram verificadas diferenças significativas no $\dot{V}O_2\text{max}$ e frequência cardíaca máxima.

Um dos fatores relevantes para a adequada realização dos testes incrementais é o consumo de carboidratos que tem como objetivo a realização dos testes com níveis máximos de glicogênio muscular (BENTLEY, NEWELL *et al.*, 2007), uma vez que, Sabapathy, Morris *et al.*, (2006) verificaram diferenças na PP quando o teste foi realizado com níveis reduzidos de glicogênio. Essa condição é associada a um aumento na utilização de gordura como fonte energética identificada por um menor valor na taxa de troca respiratória, que pode ser explicada pela menor taxa de ressíntese de adenosina trifosfato por mol de O_2 consumido para a gordura

(5,6) do que para o carboidrato (6,0). Essa diferença (7%) no equivalente energético do consumo de oxigênio entre cada substrato apresentou uma diferença próxima (8%) da PP atingida entre as condições analisadas. Mudanças agudas na dieta, após três dias de baixa ingestão de carboidratos (< 5%), podem interferir nas respostas em relação à concentração de lactato sanguíneo, causada por alterações nos hormônios circulantes durante o exercício (LANGFORT, ZARZECZNY *et al.*, 2001), o que pode interferir na identificação dos limiares de lactato.

2.2 MÁXIMA FASE ESTÁVEL DE LACTATO NO REMO

O lactato é identificado como um indicador da atividade glicolítica desde o último século, sendo que as concentrações de lactato têm sido identificadas em exercícios incrementais e contínuos. A concentração de lactato sanguíneo representa o resultado de uma complexa relação entre a formação, distribuição e utilização dessa molécula em diversos tecidos (BENEKE, 2003). Em condições fisiológicas normais do pH, o ácido láctico se dissocia em íons de hidrogênio e lactato, com o acúmulo de lactato verificado durante o exercício sendo resultante da produção de ácido láctico acima da capacidade de remoção (BILLAT, SIRVENT *et al.*, 2003).

A MFEL é definida como a intensidade da maior carga de trabalho que pode ser mantida sem um acúmulo contínuo de lactato (BENEKE, 1995), sendo relacionada com o desempenho aeróbio (BILLAT, SIRVENT *et al.*, 2003). Tem sido verificadas diferenças nas intensidades relativas (%PP) da MFEL entre atletas, com os ciclistas apresentando essa intensidade em valor percentual mais alto comparado ao remo (BENEKE E VON DUVILLARD, 1996). Essa diferença pode ser explicada pela especificidade do esporte, pois, observou-se uma correlação negativa ($r = -0,86$) entre a massa muscular envolvida e a intensidade da MFEL, sendo que o remo apresenta a maior quantidade de massa muscular envolvida quando comparado ao ciclismo, corrida e patinação de velocidade (BENEKE E VON DUVILLARD, 1996). Apesar das diferenças na intensidade quando comparado entre esportes, a MFEL ocorre em intensidades relativas similares em remadores determinadas no cicloergômetro e remoergômetro (tabela 2), demonstrando que o padrão motor (*i.e.*, massa muscular total envolvida) da atividade pode influenciar na avaliação da MFEL (BENEKE, LEITHAUSER *et al.*, 2001).

Tabela 2. Resultados relativos à máxima fase estável de lactato em remadores juniores

Variável	Cicloergômetro	Remoergômetro
VO ₂ (ml/kg/min)	57,5 ± 4,4	61,9 ± 3,8
Intensidade (% $\dot{V}O_2$ max)	74,2 ± 3,2	75,2 ± 3,6
Potência (W)	216 ± 20	202 ± 34
[La] (mmol/L)	4,8 ± 1,2	3,4 ± 1,0*

Fonte: traduzido de Beneke (1993). *Diferença significativa ($p < 0,05$). W: potência.

Esse fenômeno pode ser explicado pela perfusão reduzida nos órgãos que contribuem para o metabolismo do lactato (*e.g.*, coração, fígado e rins) comparado aos músculos em exercício (BILLAT, SIRVENT *et al.*, 2003). Outro fator relevante é a movimentação do tronco durante cada remada, uma vez que, a força para aceleração e desaceleração desse movimento não é mensurada, sendo correspondente a uma carga adicional de aproximadamente 0,7 W/kg de peso corporal levando em consideração uma voga de aproximadamente 30 remadas por minuto (BENEKE, LEITHAUSER *et al.*, 2001).

A produção e remoção do lactato também é influenciada pelo padrão de coordenação muscular e o recrutamento muscular (*i.e.*, diferentes tipos de fibra muscular) (BROOKS, 1986). Esses aspectos afetam o padrão motor durante o exercício, sendo que, o remo envolve uma combinação da musculatura de tronco, membros inferiores e membros superiores, o qual representa cerca de 85% da massa muscular total, sendo consideravelmente maior do que a musculatura envolvida no ciclismo (BENEKE; LEITHAUSER *et al.*, 2001). A identificação da MFEL em valores próximos para o VO₂, intensidade relativa (% $\dot{V}O_2$ max) e intensidade (W), indica que no remo, a potência por unidade de massa muscular é menor do que no ciclismo sendo confirmado pelos menores valores de [La] na MFEL determinada no remoergômetro comparado ao cicloergômetro (BENEKE; LEITHAUSER *et al.*, 2001). Assumindo que cerca de 85% da massa muscular total é envolvida no remo (BENEKE; LEITHAUSER *et al.*, 2001), resultaria em uma intensidade relativa por quilograma de massa muscular de 9,6 W/kg na MFEL, no entanto, essa intensidade é 25-30% maior no ciclismo do que os valores correspondentes no remo. Esses resultados indicam que a potência por unidade de massa muscular e as concentrações de lactato são menores quando a massa muscular envolvida no exercício é maior (HOFFMANN, KASSAY *et al.*, 1996).

Devido à dificuldade para avaliação dessa intensidade, alguns índices têm sido propostos para estimar a MFEL por meio de um teste incremental (BILLAT, SIRVENT *et al.*,

2003). Esses índices podem ser baseados em variáveis ventilatórias (*i.e.*, medida não invasiva), nas concentrações de lactato (*i.e.*, medida invasiva) ou a partir de uma análise combinada dessas variáveis fisiológicas. Porém, alguns índices baseados na resposta do lactato sanguíneo em testes incrementais com estágios de 3 minutos têm apresentado erros na estimativa, superestimando a MFEL (tabela 3).

Tabela 3. Índices fisiológicos relacionados à máxima fase estável de lactato em remadores

Estudo	MFEL		Índice		
	%PP	W	Método	%PP	W
Beneke 1995	70,2	255 ± 17	LAn _{4,0} *	79,1	287 ± 20
			IAT*	79,1	287 ± 25
Klusiewicz 2005	-	278 ± 35	LAn _{4,0}	-	307 ± 41
Bourdon et al. 2018	64,6	212 ± 39	LAn _{DMOD} *	75,9	249 ± 49

Fonte: Produção do próprio autor. %PP: percentual da potência pico. W: potência. IAT: limiar anaeróbio individual. *Índice obtido por teste incremental com estágios de 3 min.

Nesse sentido, o remo parece demonstrar uma característica distinta de outras modalidades em relação aos índices fisiológicos, uma vez que, a literatura tem demonstrado que diferentes índices determinados no teste incremental de 3 minutos superestimaram a intensidade da MFEL (BENEKE, 1995; KLUSIEWICZ, 2005), da mesma maneira, em índices determinados em diferentes testes incrementais (4min, 5min e 7min) (BOURDON, WOOLFORD *et al.*, 2018).

2.3 POTÊNCIA CRÍTICA NO REMO

A potência crítica (PC) foi proposta inicialmente por Monod e Scherrer (1965), os quais se utilizaram de modelagens matemáticas para identificação dessa intensidade, sendo inicialmente utilizada em movimentos uniarticulares. A PC é um índice de transição fisiológica de capacidade aeróbia, com importante relação com o desempenho aeróbio (DEKERLE, PELAYO *et al.*, 2005), delimitando os domínios pesado (intensidades abaixo) e severo (intensidades acima) (HILL, POOLE *et al.*, 2002). Em relação às respostas metabólicas, em intensidades abaixo da PC não ocorre aumento contínuo na depleção de fosfocreatina e acúmulo de metabólitos como o fosfato inorgânico e os íons de hidrogênio, o que ocorre de maneira

substancial durante o exercício realizado cerca de 10% acima da PC (JONES, WILKERSON *et al.*, 2008). Semelhantemente, o comportamento do $\dot{V}O_2$ apresenta diferenças nas intensidades acima ou abaixo da PC, sendo que, abaixo da PC o $\dot{V}O_{2max}$ não é atingido, já acima dessa intensidade, o $\dot{V}O_{2max}$ é atingido (DE LUCAS, SOUZA *et al.*, 2013). Assim, a PC tem sido indicada como um índice que representa o máximo estado de estabilidade metabólica, delimitando os domínios pesado e severo (JONES, BURNLEY *et al.*, 2019).

Levando em consideração que essa intensidade é identificada a partir de modelagem matemática, Gaesser, Carnevale *et al.*, (1995) avaliaram a PC utilizando-se diferentes modelagens (Linear-tempo e potência, Linear-tempo e trabalho, Hiperbólico-2 e 3 parâmetros e Exponencial), sendo que, o hiperbólico de 3 parâmetros foi subestimado comparado com os demais modelos utilizados. Para a determinação da PC, recomenda-se que o tempo de exaustão durante os testes de cargas preditivas em diferentes intensidades (realizados em dias diferentes) fique entre 3 a 15 minutos, tempo suficiente para o alcance do $\dot{V}O_{2max}$ (VANHATALO, FULFORD *et al.*, 2010). No entanto, com o objetivo de diminuir o número de testes, uma alternativa para identificação da PC pode ser a partir de um teste máximo de 3 minutos (VANHATALO, DOUST *et al.*, 2007), no qual a potência média dos últimos 30 s seria um índice análogo a PC.

No remo, diferentes formatos para modelagem desse índice vêm sendo utilizados. Nesse sentido, Cheng, Yang *et al.*, (2012) verificaram que o teste de 3 minutos para determinação da PC em remadores pode ser utilizado apresentando uma reprodutibilidade moderada (CV = 14%), como também, como um teste no qual o $\dot{V}O_{2max}$ é atingido, porém, a FCmax do teste incremental foi significativamente maior do que no teste de 3 minutos. Além disso, os autores verificaram que a PC determinada no teste de 3 minutos não foi diferente das intensidades determinadas a partir de dois modelos lineares (trabalho-tempo e potência-inverso do tempo), no entanto, o teste de 3 minutos apresentou um valor significativamente maior no W' comparado aos dois modelos. O estudo de Hill, Alain *et al.*, (2003) utilizou testes de performance (200m, 400m, 600m, 800m, 1000m e 2000m) na determinação da VC, verificando que a utilização desses testes de desempenho a partir de um modelo de 2 parâmetros apresentou alta predição de desempenho no 2000m.

O estudo de Shimoda e Kawakami (2005) utilizou na determinação da PC, testes de exaustão de 70% (T_{LIM} : $64,4 \pm 15,9$ s), 60% (T_{LIM} : $153,3 \pm 41,8$) e 50% (T_{LIM} : $395,6 \pm 129,4$) da potência pico atingida em um teste máximo de 10 remadas. Os autores verificaram correlação da PC tanto na potência média quanto no tempo total do 2000m, demonstrando

ainda, correlação com o $\dot{V}O_2\text{max}$. Outro resultado interessante verificado no estudo é que os melhores desempenhos foram verificados nos remadores com maior PC, independentemente da W' , indicando esse índice (*i.e.*, PC) como uma boa ferramenta para monitoramento da melhora do desempenho na modalidade. Esses resultados são importantes quando analisado o estudo de Richer, Nolte *et al.*, (2016), o qual demonstrou melhoras na PC tanto em treinamento supra máximo quanto em treinamento contínuo, o que não foi verificado na W' , demonstrando que além da maior associação com o desempenho, a PC apresenta adaptações a diferentes características de treinamento.

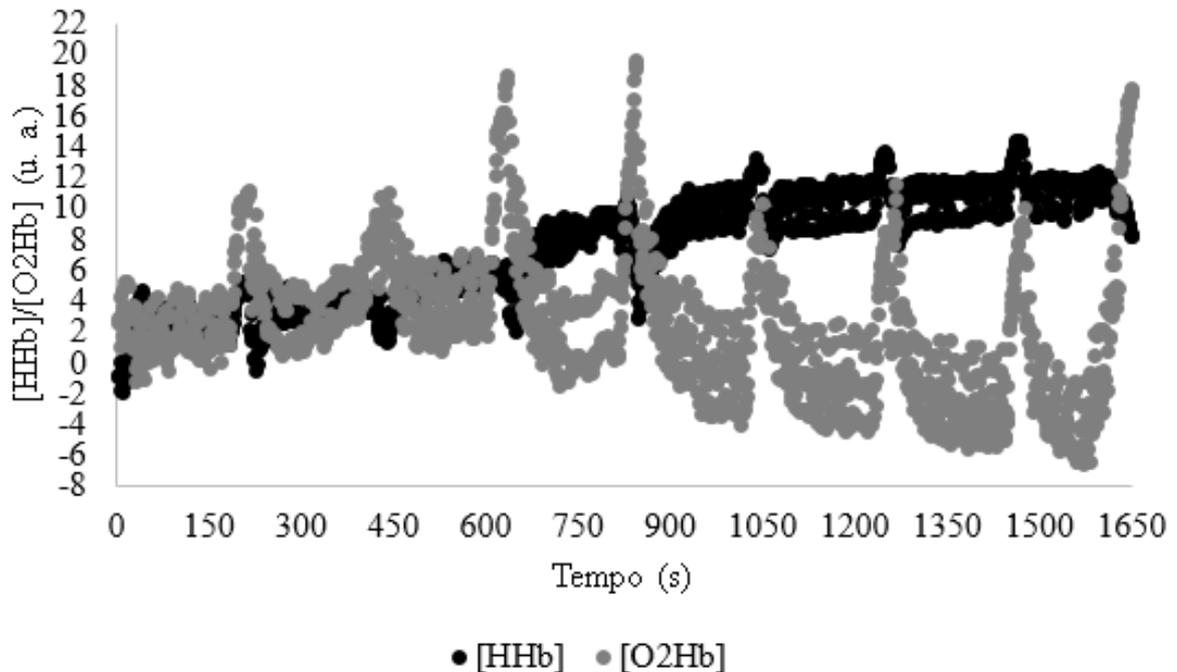
2.4 ÍNDICES DE OXIGENAÇÃO MUSCULAR

As intensidades referentes ao treinamento aeróbio podem ser quantificadas tanto pelas respostas do lactato (LL e LAn) quanto pelas respostas ventilatórias (LV1 e LV2) obtidas a partir de um teste incremental (BENTLEY, NEWELL *et al.*, 2007). Nesse sentido, o NIRs que foi inicialmente utilizado no contexto clínico (MANCINI, 1997), recentemente, tem sido empregado no esporte (GRASSI, QUARESIMA *et al.*, 1999; SNYDER E PARMENTER, 2009; TURNES, PENTEADO DOS SANTOS *et al.*, 2019).

A tecnologia do equipamento é baseada nas propriedades óticas da hemoglobina. A luz emitida pelo equipamento se propaga através dos tecidos e as ondas captadas pelo equipamento são diferentemente absorvidas pelas formas da oxihemoglobina e deoxihemoglobina da hemoglobina e mioglobina. A mensuração é feita por um sistema de dupla onda, na qual uma emite a luz até o tecido com a segunda onda refletindo a luz até o fotomultiplicador localizado no *probe*. Essa ferramenta não invasiva atua na mensuração do balanço entre a disponibilidade (oxihemoglobina: $[O_2Hb]$) e a extração (deoxihemoglobina: $[HHb]$) de oxigênio muscular a partir das mudanças na hemoglobina e mioglobina conforme a saturação de O_2 , permitindo o cálculo do percentual de saturação do O_2 no tecido (StO_2) (MANCINI, 1997). Durante teste incremental, os valores da $[HHb]$ aumentam representando a demanda progressiva na extração do O_2 até o atingimento de um platô (SPENCER, MURIAS *et al.*, 2012). Já os valores da $[O_2Hb]$ apresentam um incremento no início do exercício, o qual representa um aumento na disponibilidade do O_2 , com a diminuição na resposta ao final do teste incremental sendo relacionada a uma queda na disponibilidade do O_2 causada por uma maior vasodilatação, incrementando a disponibilidade local de O_2 em relação a utilização sendo um dos fatores associados ao alcance do platô (SPENCER, MURIAS *et al.*, 2012; Figura 1). Ainda,

a soma dos valores da oxihemoglobina e da deoxihemoglobina reporta o valor total (tHb), sendo um indicador de volume sanguíneo (GRASSI E QUARESIMA, 2016).

Figura 1. Comportamento da oxihemoglobina e da deoxihemoglobina muscular em teste incremental com estágios de 3 minutos e recuperação de 30 segundos.



Fonte: Produção do próprio autor. [HHb]: deoxihemoglobina. [O₂Hb]: oxihemoglobina.

No ambiente clínico, a fadiga constante apresenta-se como um sintoma comum em pacientes com disfunções cardíacas, sendo geralmente atribuída a falta de perfusão no músculo esquelético no repouso e durante o exercício, resultando em isquemias (WILSON, MARTIN *et al.*, 1984). As técnicas usualmente utilizadas (*e.g.*, cateter) na mensuração da saturação muscular nessa população são invasivas e tecnicamente complexas (WILSON, MARTIN *et al.*, 1984). Nesse sentido, o NIRs tem sido utilizado como uma ferramenta para monitoramento das condições clínicas e nas respostas a diferentes terapias (WILSON, MANCINI *et al.*, 1989).

Já no contexto esportivo, tem sido utilizada em diferentes modalidades durante teste incremental como uma ferramenta não invasiva para a mensuração da oxigenação muscular, sendo uma técnica válida para esse propósito (MANCINI, BOLINGER *et al.*, 1994). A variável derivada das mensurações realizadas pelo NIRS que tem sido mais estudada no contexto do esporte e exercício é a [HHb], sendo relacionada ao desempenho no remo (TURNES, PENTEADO DOS SANTOS *et al.*, 2019), como também, na estimativa da MFEL em

indivíduos sedentários (BELLOTTI, CALABRIA *et al.*, 2013) e fisicamente ativos (KEIR, FONTANA *et al.*, 2015). Ainda, estudos tem relacionado o [HHb]BP com índices associados a MFEL como o ponto de compensação respiratória em indivíduos fisicamente ativos (MIURA, TAKEUCHI *et al.*, 1998; BOONE, BARSTOW *et al.*, 2016; KEIR, FONTANA *et al.*, 2015), como também, ao segundo limiar ventilatório (LV2) (ZHANG, WANG *et al.*, 2010) e o $LAN_{3,5}$ em remadores (TURNES, PENTEADO DOS SANTOS *et al.*, 2019) (tabela 4).

Tabela 4. Comparação do ponto de quebra nas diferentes variáveis do NIRs com os índices de transição fisiológica

Estudo	Músculo	Sujeitos Modalidade	Índice Fisiológico (Média ± DP)	Índice NIRs (Média ± DP)	Correlação	ETE (%)
Snyder <i>et al.</i> (2009)	G	12Corrida	LAn _{4,0} (13,5 ± 1,7km/h)	[StO ₂]BP (12,8 ± 1,5km/h)	0,97	2,9
	G	12Corrida	MFEL (13,0 ± 2,0km/h)	[StO ₂]BP (12,8 ± 1,5km/h)	0,92	6,1
Austin <i>et al.</i> (2005)	G	17♂6♀Corrida	IAT (13,9 ± 3,5km/h)	[StO ₂]BP (12,0 ± 2,4km/h)	0,90	11,0
	VL	11♂10♀Ciclismo	IAT (191 ± 47W)	[StO ₂]BP (152 ± 30W)	0,44	22,1
Turnes <i>et al.</i> (2019)	VL	13♂Remo	LAn _{3,5} (234 ± 31W)	[HHb]BP (236 ± 31W)	0,63	10,7
Keir <i>et al.</i> (2015)	VL	12♂Ciclismo	MFEL (223 ± 39W)	[HHb]BP (273 ± 41W)	0,74	11,8
	VL	12♂Ciclismo	PC (226 ± 45W)	[HHb]BP (273 ± 41W)	-	-
	VL	12♂Ciclismo	LV2 (262 ± 48W)	[HHb]BP (273 ± 41W)	-	-
Fontana <i>et al.</i> (2015)	VL	118♂Ciclismo	LV2 (2,28 ± 0,70VO ₂ /L)	[HHb]BP (2,25 ± 0,69VO ₂ /L)	0,93	11,5
Bellotti <i>et al.</i> (2013)	VL	32♂Corrida	MFEL (2,25 ± 0,54VO ₂ /L)	[HHb]BP (2,23 ± 0,59VO ₂ /L)	0,81	14,1
Vandekerckhove <i>et al.</i> (2016)	VL	9♂9♀Ciclismo	LV2(1,40 ± 2,30VO ₂ /L)	[HHb]BP (1,42 ± 2,30VO ₂ /L)	0,97	39,9
Iannetta <i>et al.</i> (2017)	VL	11♂4♀Ciclismo	LV2 (3,38 ± 0,40VO ₂ /L)	[HHb]BP (3,49 ± 0,52VO ₂ /L)	0,92	4,6
Iannetta <i>et al.</i> (2018)	VL	11♂Ciclismo	LV2 (270 ± 48W)	[HHb]BP (292 ± 46W)	-	-
			MFEL (231 ± 49W)	[HHb]BP (292 ± 46W)	-	-
Inglis <i>et al.</i> (2019)	VL	8♂Ciclismo	MFEL (261± 23W)	[HHb]BP (294 ± 41W)	0,83	4,9
			LV2 (304 ± 36W)	[HHb]BP (294 ± 41W)	0,89	5,4
Popov <i>et al.</i> (2019)	VL	38♂Ciclismo	LAn _{4,0} (233 ± 55W)	[HHb]BP (172 ± 39W)	0,89	10,7
	GD	9♂Ski duplo	LAn _{4,0} (124 ± 38W)	[HHb]BP (132 ± 47W)	0,92	12,1
Wang <i>et al.</i> (2006)	VL	15♂Ciclismo	LV2 (105 ± 28W)	[HHb]BP (106 ± 26W)	0,99	3,8

	VL	8♂Ciclismo	LT (99 ± 23W)	[HHb]BP (106 ± 26W)	0,76	15,1
Zhang <i>et al.</i> (2010)	VL	8♂Remo	LV2 (213 ± 44W)	[HHb]BP (213 ± 44W)	1,00	0,0
	BB	8♂Remo	LV2 (213 ± 44W)	[HHb]BP (181 ± 53W)	0,87	10,1
Boone <i>et al.</i> (2016)	VL	64♂Ciclismo	LV2 (3,25 ± 0,44VO ₂ /L)	[HHb]BP (3,29 ± 0,45VO ₂ /L)	0,96	3,2
			LV2 (3,25 ± 0,44VO ₂ /L)	[tHb]BP (3,10 ± 0,38VO ₂ /L)	0,85	6,0
Racinais <i>et al.</i> (2014)	VL	10Ciclismo	LV2 (267 ± 62W)	[HHb]BP (267 ± 43W)	0,79	14,1
	VL	10Ciclismo	LV2 (270 ± 52W)	[tHb]BP (283 ± 40W)	0,85	10,2
Grassi <i>et al.</i> (1999)	VL	5♂Ciclismo	LAn _{2,0} (62,0 ± 5,0VO ₂ /ml)	Δ[O ₂ Hb]-[HHb] (62,0 ± 7,0 VO ₂ /ml)	-	-
			LAn _{4,0} (80,0 ± 7,0VO ₂ /ml)	Δ[O ₂ Hb]-[HHb] (62,0 ± 7,0 VO ₂ /ml)	-	-
Belardinelli <i>et al.</i> (1995)	VL	8♂3♀Ciclismo	LV2 (125 ± 47W)	[O ₂ Hb]BP (116 ± 43W)	0,95	12,3
Bhambhani <i>et al.</i> (1997)	VL	21♂Ciclismo	LV2 (122 ± 63W)	[O ₂ Hb]BP (112 ± 54W)	0,88	24,5
	VL	19♀Ciclismo	LV2 (99 ± 48W)	[O ₂ Hb]BP (91 ± 48W)	0,91	20,1

G: gastrocnêmio; GD: grande dorsal; VL: vasto lateral; BB: bíceps braquial.

Spencer, Murias *et al.*, (2012) sugerem que durante um teste incremental, a [HHb] apresenta um comportamento com 3 fases distintas. Com o início do teste ocorre um aumento linear, o qual segue com esse comportamento após a verificação de um “platô”, sendo utilizada uma equação linear dupla para modelagem da resposta desse ponto de quebra. A primeira fase é desconsiderada na análise, sendo relacionada aos efeitos mecânicos da contração muscular no início do exercício e/ou pelas mudanças do controle cardiovascular no balanço simpático-parassimpático (FERREIRA, HUEBER *et al.*, 2007). Na segunda fase, verifica-se uma maior inclinação representando um grande aumento na extração de O₂ e um menor aumento na disponibilidade de O₂ muscular relativo ao consumo (SPENCER, MURIAS *et al.*, 2012). A interseção da segunda e terceira fase representam o [HHb]BP, sendo que o mecanismo para explicação desse fenômeno sugere que mudanças no metabolismo muscular resultam em maior vasodilatação causada pelo aumento na concentração de lactato e por uma maior pressão parcial de O₂ somado a uma queda no pH e na pressão parcial de CO₂, além de, mudanças nos metabólitos que causam uma redistribuição do fluxo sanguíneo para os músculos ativos (SPENCER, MURIAS *et al.*, 2012).

O platô observado pode ser causado por uma redução na extração de O₂ como resultado de um aumento local na disponibilidade de O₂ em relação à utilização, como também, a uma maior pressão parcial de O₂ somado a uma queda na pressão parcial de CO₂ (IANNETTA, QAHTANI *et al.*, 2017). Além desses mecanismos, o recrutamento de fibra muscular também pode ser um fator relevante, uma vez que, aumentos na intensidade do exercício causam maior recrutamento de fibras musculares tipo II (IANNETTA, QAHTANI *et al.*, 2017). Os resultados apresentados podem estar relacionados a um aumento exponencial no sinal eletromiográfico ([EMG]BP) próximo ao final do teste, conforme a associação ($p < 0,05$) verificada por Boone, Barstow *et al.*, (2016) entre o [EMG]BP ($86,7 \pm 4,0\% \dot{V}O_2\text{max}$) e o [HHb]BP ($88,2 \pm 4,5\% \dot{V}O_2\text{max}$), que pode ser explicado pela maior ativação das fibras tipo II, as quais apresentam menor capacidade de extração de O₂ causando o platô observado no comportamento da [HHb]. Ainda, o ponto de quebra na [tHb] ($83,2 \pm 3,0\% \dot{V}O_2\text{max}$) ocorreu em intensidades inferiores ao [HHb]BP. Os autores verificaram uma associação da [tHb] com o [EMG]BP, o que pode indicar que a oxigenação muscular é afetada pelo nível de recrutamento muscular.

Os estudos de Murias, Keir *et al.*, (2013) e Murias, Spencer *et al.*, (2013) relacionaram o [HHb]BP com o ponto de compensação respiratória, sendo mais recentemente confirmada por Fontana, Keir *et al.*, (2015) que verificaram uma associação ($p < 0,05$) no $\dot{V}O_2$ do [HHb]BP ($2,25 \pm 0,69 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$) e o ponto de compensação respiratória ($2,28 \pm 0,70 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$) em

indivíduos saudáveis. Quando analisado o estudo de Boone, Barstow *et al.*, (2016), apesar da correlação ($r = 0,96$) identificada entre o $\dot{V}O_2$ do [HHb]BP com o ponto de compensação respiratória, um resultado interessante demonstrado foi que esse índice ($87,4 \pm 4,5\% \dot{V}O_{2max}$) e a [HHb]BP ($88,2 \pm 4,5\% \dot{V}O_{2max}$) ocorrem anteriormente ao ponto de quebra no sinal eletromiográfico ($86,7 \pm 4,0\% \dot{V}O_{2max}$) e ao ponto de quebra da hemoglobina total ($83,2 \pm 3,0\% \dot{V}O_{2max}$) independente da aptidão física do indivíduo. No entanto, Iannetta, Qahtani *et al.*, (2017), verificaram uma associação ($p > 0,05$) do $\dot{V}O_2$ entre o [HHb]BP e o ponto de compensação respiratória, sendo que, os autores ainda identificaram essa como uma medida reprodutível, realizando dois testes incrementais de rampa encontrando o [HHb]BP em $89,4 \pm 5,5\%$ e $89,8 \pm 5,6\%$ e o ponto de compensação respiratória em $86,8 \pm 3,6\%$ e $86,8 \pm 3,4\%$ do $\dot{V}O_{2max}$ no primeiro e segundo teste, respectivamente.

Além da [HHb], outras variáveis derivadas do NIRs como o índice de saturação (StO_2) tem sido utilizadas, sendo que, Mancini, Bolinger *et al.*, (1994) encontraram correlação entre esse índice e a saturação de O_2 no sangue venoso. Austin, Daigle *et al.*, (2005) observaram uma correlação entre o LAn (determinado pelo limiar anaeróbio individual) e o StO_2 ($r = 0,90$). Além disso, os autores demonstraram reprodutibilidade do StO_2 no músculo gastrocnêmio em corredores e no músculo vasto lateral em ciclistas. Nesse sentido, Snyder e Parmenter (2003) utilizaram essa variável reportando uma correlação entre a MFEL e o StO_2 ($r = 0,92$) no músculo gastrocnêmio em corredores, sendo que as intensidades referentes ao LAn ($13,49 \pm 1,71 \text{ km.h}^{-1}$) determinado por concentração fixa de 4 mmol/L não foram estatisticamente diferentes da MFEL ($13,04 \pm 2,03 \text{ km.h}^{-1}$) e do StO_2 ($12,84 \pm 1,58 \text{ km.h}^{-1}$).

Em relação à determinação desses índices, o fluxo sanguíneo é identificado como um dos principais fatores relacionados, pois, Volianitis, Krustrup *et al.*, (2003) reportaram que a oxigenação muscular no músculo bíceps braquial foi diminuída quando adicionado exercício de membros inferiores, sendo causada por uma redistribuição do fluxo sanguíneo. Ainda, Ogata, Yunoki *et al.*, (2002) encontraram uma queda no volume de sangue e na $[O_2Hb]$ no vasto lateral durante exercício moderado de membros superiores. Os estudos citados demonstram que as respostas fisiológicas de membros superiores e inferiores interagem entre si durante o exercício. Outro fator que deve ser levado em consideração é a concentração de lactato, ainda mais, pela utilização de concentrações fixas para determinação do LAn, pois, Jensen-Urstad, Ahlborg *et al.*, (1993) demonstraram que a concentração de lactato foi significativamente maior durante exercício de membros superiores comparado com membros inferiores na mesma intensidade relativa. Isto foi corroborado por Schneider, McLellan *et al.*, (2000) que identificaram o limiar

de lactato em valores menores de $\dot{V}O_2$ em membros superiores comparado com membros inferiores, sendo que, em diversos esportes ocorre movimento simultâneo desses membros, o qual é verificado no remo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 SUJEITOS DA PESQUISA

Por meio de amostragem não probabilística intencional, foram selecionados 14 remadores do sexo masculino de nível estadual e nacional (idade: 26 ± 13 anos; massa corporal: $81,0 \pm 7,6$ kg; estatura: $1,82 \pm 0,05$ m; gordura corporal: $15,8 \pm 7,8\%$; experiência na modalidade: $4,3 \pm 3,0$ anos). Foram considerados os seguintes critérios de inclusão: indivíduos maiores de 18 anos, que não façam uso regular de qualquer medicamento, tempo mínimo de um ano de experiência na modalidade e que não apresentem nenhum tipo de lesão ou em processo de recuperação de lesão. Os atletas apresentaram uma frequência semanal média de treinamentos de 6 ± 1 sessões, realizando uma sessão por dia, totalizando um volume de 525 ± 183 minutos (incluído os treinamentos em ergômetro, água e resistido).

O trabalho foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina, conforme parecer n. 3.191.968 e contou com a autorização formal dos Clubes de Remo envolvidos. Após serem informados sobre os procedimentos da pesquisa, os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido concordando em participar da pesquisa.

3.2 INSTRUMENTOS

Para avaliação antropométrica, a massa corporal foi mensurada a partir de uma balança digital de resolução de 100g (Soehnle 7830, Soehnle Professional, Backnang, Alemanha) e a estatura por meio de estadiômetro profissional com altura de 2,1 m e resolução de 1 mm (Sanny, American Medical do Brasil, São Paulo, Brasil). As dobras cutâneas foram mensuradas a partir de um plicômetro com resolução de 0,5 mm (Lange Skinfold Caliper, Incorporated Cambridge, Maryland, EUA).

Todos os testes foram realizados em remoergômetro (Concept 2E, Morrisville, Vermont, EUA). No primeiro teste os atletas regularam o fator de resistência preferido, padronizando-se o mesmo para todos os testes (média \pm DP: 125 ± 3).

As variáveis cardiorrespiratórias foram mensuradas a cada respiração durante os testes incrementais e nas visitas da MFEL a partir dos gases expirados (QuarkPFTergo, Cosmed, Roma, Itália). Antes de todos os testes, o sistema de análise do O₂ e CO₂ foi calibrado usando

o ar ambiente e gases com concentrações conhecidas de O_2 e CO_2 , enquanto a turbina foi calibrada por meio de seringa de 3L (Cosmed, Roma, Itália). A FC foi avaliada durante os testes incrementais e nas visitas da MFEL a partir de um frequencímetro acoplado ao analisador de gases (Polar, Kempele, Finlândia).

Amostras de sangue (25 μ l) foram coletadas no lóbulo da orelha para a mensuração das concentrações de lactato sanguíneo ([La]) nos testes incrementais e na determinação da MFEL. A [La] foi analisada por meio de um analisador eletroquímico (YSI 2700 Stat, Yellow Springs, Ohio, EUA).

Para análise da oxigenação muscular durante os testes incrementais e de determinação da MFEL, foi utilizado um equipamento de espectroscopia de infravermelho próximo (*Near Infrared Spectroscopy*, NIRs) de dupla onda contínua (PortaMon, Artinis Medical Systems, Holanda). Este método consiste em técnica óptica não invasiva para determinação das alterações teciduais na concentração da [HbO₂], [HHb] e hemoglobina total ([tHb]) por meio do método de *Beer-Lambert* e a partir das diferentes absorbâncias desses cromóforos no espectro do infravermelho próximo (750 e 850 nm). O sinal detectado representa o equilíbrio entre oferta e demanda de oxigênio no tecido monitorado.

A percepção subjetiva de esforço (PSE) foi analisada durante os testes incrementais e testes de determinação da MFEL por meio de escala de *Borg* de 6 a 20 pontos (BORG, 1982).

3.3 PROTOCOLO EXPERIMENTAL

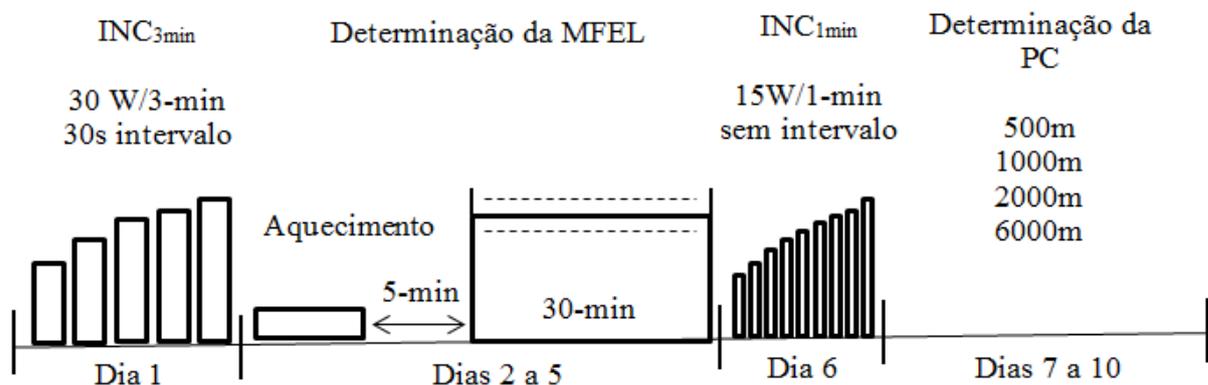
3.3.1 Delineamento Experimental

O protocolo da pesquisa foi composto pelos seguintes testes: I) avaliação antropométrica; II) teste incremental com estágios de 3 min de exercício e 30 s de recuperação passiva (INC_{3min}) para determinação do $\dot{V}O_{2max}$ ($\dot{V}O_{2max3min}$), PP (PP_{3min}), FCmax (FCmax_{3min}), [HHb]BP ([HHb]BP_{3min}), PSE (PSE_{3min}) e dos limiares de transição fisiológica; III) teste incremental contínuo com estágios de 1 min de exercício (INC_{1min}) para determinação do $\dot{V}O_{2max}$ ($\dot{V}O_{2max1min}$) PP (PP_{1min}) FCmax (FCmax_{1min}) [HHb]BP ([HHb]BP_{1min}), PSE (PSE_{1min}) e dos limiares de transição fisiológica; IV) duas a quatro visitas para determinação da máxima fase estável de lactato; e V) testes de desempenho de 500m, 1000m, 2000m e 6000m como cargas preditivas para determinação da potência crítica e capacidade de trabalho acima

da PC (W'). O INC_{3min} foi realizado sempre na primeira visita para cálculo da intensidade referente a estimativa da máxima fase estável de lactato (Figura 2).

Os testes foram todos realizados no mesmo horário do dia (± 2 h), com no mínimo 48 horas de intervalo entre cada. Os remadores foram orientados a chegarem ao laboratório alimentados e hidratados e, a evitarem exercícios extenuantes nas 24 horas antecedentes aos testes e ainda, além de manterem a dieta e hábitos durante o período de realização do estudo. Todos esses aspectos foram avaliados previamente aos testes por meio de uma anamnese.

Figura 2. Esquema ilustrativo do delineamento experimental



Fonte: Produção do próprio autor. INC_{1min} e INC_{3min}: teste incremental com estágios de 1 minuto sem recuperação e estágios de 3 minutos com 30 s de recuperação, respectivamente. MFEL: Máxima fase estável de lactato; PC: potência crítica.

3.3.2 Avaliação Antropométrica

Os participantes foram submetidos a uma avaliação antropométrica utilizando-se procedimentos padronizados. A massa corporal e a estatura foram mensuradas de acordo com procedimentos recomendados (GORDON, CHUMLEA *et al.*, 1988).

As dobras cutâneas foram mensuradas de acordo com procedimentos recomendados (HARRISON, BUSKIRK *et al.*, 1988) sendo aferidas as dobras cutâneas peitoral, abdominal e coxa medial para a predição dos valores de densidade corporal (JACKSON E POLLOCK, 1978) e cálculo do percentual de gordura corporal (SIRI, 1961). A dobra cutânea do local de colocação do *probe* do NIRs também foi analisada.

3.3.3 Testes Incrementais

Foram realizados dois testes incrementais diferentes até a exaustão voluntária, com registro das variáveis cardiorrespiratórias e de oxigenação muscular. No INC_{3min} a carga inicial foi de 130 W, com incrementos de 30 W a cada 3 minutos e recuperação passiva de 30 s entre cada estágio. No INC_{1min} a carga inicial foi de 130 W com incrementos de 15 W a cada 1 minuto sem pausas. No INC_{1min} foi realizado um período de exercício de 2 min a 100 W antes do início do teste. Foram coletadas amostras de sangue no início do teste e ao final de cada estágio do INC_{3min} e no início e final do INC_{1min} para análise do [La]. A PSE foi analisada ao final de ambos os testes. A PP foi determinada de acordo com a equação:

$$PP = W_1 + \left(\frac{t}{DE} * W_2\right)$$

Onde W_1 é a carga do último estágio completado (W), t é o tempo do estágio incompleto (s), DE é a duração do estágio (s) e W_2 o incremento do estágio (W) (KUIPERS, VERSTAPPEN *et al.*, 1985).

Em ambos os incrementais os dados do $\dot{V}O_2$ foram reduzidos a médias móveis de 15 respirações e o maior valor foi considerado o $\dot{V}O_{2max}$ (ROBERGS; DWYER *et al.*, 2010). Como critérios para a determinação do $\dot{V}O_{2max}$ foram observados o alcance de dois ou mais dos seguintes critérios: (1) quociente respiratório maior que 1,1; (2) visível exaustão; (3) FC máxima ao final do teste igual ou superior a 90% do valor máximo predito (220 – idade); e (4) [La] ao final do exercício >8 mmol/L. O maior valor de FC durante os testes foram considerados a FCmax. O $\dot{V}O_2$ e a FC cardíaca de cada estágio foram considerados os valores de médias fixas de 30 s e 5 s do final de cada estágio, respectivamente.

A partir das respostas do lactato no INC_{3min} foram determinados 21 limiares de transição fisiológica (tabela 5). Além da potência para todos os índices, foram determinados por interpolação linear o $\dot{V}O_2$ e a FC do [HHb]BP_{1min} e [HHb]BP_{3min}.

Tabela 5. Índices da primeira e segunda transição fisiológica relacionados à resposta do lactato sanguíneo.

Método	Descrição	Método	Descrição
Primeira transição fisiológica		Segunda transição fisiológica	
LL _{2,0}	Intensidade correspondente à concentração de 2,0 mmol/L	LAn _{3,0/3,5/4,0}	Intensidade correspondente a concentração de 3,0/3,5/4,0 mmol/L
LL _{2,5}	Intensidade correspondente à concentração de 2,5 mmol/L	IAT _{SIMON}	Tangente na curva de lactato de 45°
LL _{>}	Valor fixo de 0,5 mmol/L ou 1,0 mmol/L (34) somado ao <i>baseline</i>	IAT _{KEUL}	Tangente na curva de lactato de 51°
LL _{≠0,4}	Estágio anterior à primeira diferença $\geq 0,4$ mmol/L entre dois estágios	IAT _{DICKHUTH}	Valor fixo de 1,0/1,5 mmol/L somado ao LME
LL _{LME}	Intensidade do menor equivalente do [La] e carga	LAn _{>}	Valor fixo de 1,5/2,0/2,5/3,0 mmol/L somado ao <i>baseline</i>
LL _{VISUAL} *	Aumento na [La] em relação ao nível de repouso	LAn _{DMAX}	Ponto na curva que está mais distante da linha reta que junta o ponto da carga inicial e final
LL _{LOGLOG}	Os logaritmos de [La] e $\dot{V}O_2$ são confrontados	LAn _{DMOD}	Ponto na curva que está mais distante da linha reta que junta o ponto do primeiro aumento na [La] e o ponto final

Fonte: Produção do próprio autor. LME: lactato mínimo equivalente. *Identificação visual por dois avaliadores e em caso de discordância, um terceiro foi consultado.

Pela análise das respostas ventilatórias foram determinadas a primeira e segunda transição fisiológicas (LV1 e LV2) no INC_{1min} . Pelas respostas da FC, foram identificadas a segunda transição fisiológica no INC_{1min} ($PDFC_{1min}$ e $DMAXFC_{1min}$) e INC_{3min} ($PDFC_{3min}$ e $DMAXFC_{3min}$) (tabela 6).

Tabela 6. Índices da primeira e segunda transição fisiológica relacionados a resposta da ventilação e da frequência cardíaca

Método	Descrição
Primeira transição fisiológica	
LV1	Primeiro aumento abrupto no VE/VO_2 sem aumento concomitante do VE/VCO_2^*
Segunda transição fisiológica	
LV2	Primeiro aumento abrupto do VE/VCO_2^*
$PDFC_{1min/3min}$	Perda do aumento linear na FC
$DMAXFC_{1min/3min}$	Ponto na curva que está mais distante da linha reta que conecta o ponto da carga inicial e final

Fonte: Produção do próprio autor. LV: limiar ventilatório. PDFC: ponto de deflexão da frequência cardíaca. VE/VO_2 : equivalente ventilatório de oxigênio. VE/VCO_2 : equivalente ventilatório de dióxido de carbono. *Identificação visual por dois avaliadores e em caso de discordância, um terceiro foi consultado.

3.3.4 Determinação da Máxima Fase Estável de Lactato

Para determinação da MFEL os participantes realizaram de 2 a 4 testes de carga constante de 30 min de duração. Nestes testes foram coletadas amostras de sangue no momento anterior ao teste (pré), no décimo (10º min), com intervalo de 30 s, e no trigésimo minuto (30º min) para análise do lactato sanguíneo. A primeira intensidade correspondeu a 60% da potência pico do INC_{3min} (BENEKE, 1995).

Em caso de estado estável na $[La]$, *i.e.*, aumento igual ou inferior a 1 mmol/L do décimo para o trigésimo minuto de exercício, um segundo teste foi realizado numa visita subsequente com aumento de 5% da intensidade. Quando a $[La]$ apresentou aumento maior que 1 mmol/L, um novo teste foi realizado com diminuição de 5% na intensidade (SVEDAHL E MACINTOSH, 2003). A MFEL foi definida como a maior carga na qual a $[La]$ não aumentou mais do que 1,0 mmol/L entre o décimo e o trigésimo minuto do teste (BENEKE, 2003).

As variáveis cardiorrespiratórias e de oxigenação muscular foram registradas durante todo o teste. Para análise das respostas fisiológicas na MFEL, foram analisados o $\dot{V}O_2$ e a FC no décimo (9° ao 10° min) e trigésimo (29° ao 30° min) minuto de exercício. A resposta da [HHb] foi analisada no trigésimo minuto (últimos 10 s) e relativizada pela calibração fisiológica da [HHb] realizada anteriormente ao teste. A média do minuto anterior ao início do teste foi analisada para os valores pré-exercício. A PSE foi avaliada no décimo e trigésimo minuto de exercício.

3.3.5 Análise da Oxigenação Muscular

A partir da análise da oxigenação muscular, a resposta da [HHb] muscular do músculo vasto lateral foi registrada a 1Hz. O *probe* foi colocado na superfície do músculo vasto lateral da coxa direita, aproximadamente no ponto médio entre o trocânter e a articulação do joelho.

O dispositivo foi coberto com uma faixa para evitar a contaminação pela luz ambiente. Utilizou-se um pincel cirúrgico para marcação e fixação mais precisa do *probe* em testes subsequentes. A espessura de dobra cutânea mensurada no local de aplicação do NIRs ($12,8 \pm 5,4$ mm) apresentou valor inferior à metade da distância entre a fonte e o detector do equipamento (*i.e.*, 35 mm).

Para o cálculo do [HHb]BP durante os testes incrementais utilizou-se os valores brutos (*i.e.*, unidades arbitrárias). Os dados foram registrados a partir dos valores de 1 segundo, com a média dos últimos 10 segundos de cada estágio sendo utilizada para construção da curva. O [HHb]BP foi determinado a partir de um modelo linear-duplo (SPENCER, MURIAS *et al.*, 2012; TURNES, PENTEADO DA SILVA *et al.*, 2019):

$$f = if(x < BP, g(x), h(x))$$

$$g(x) = i_1 + (s_1 x)$$

$$i_2 = i_1 + (s_1 BP)$$

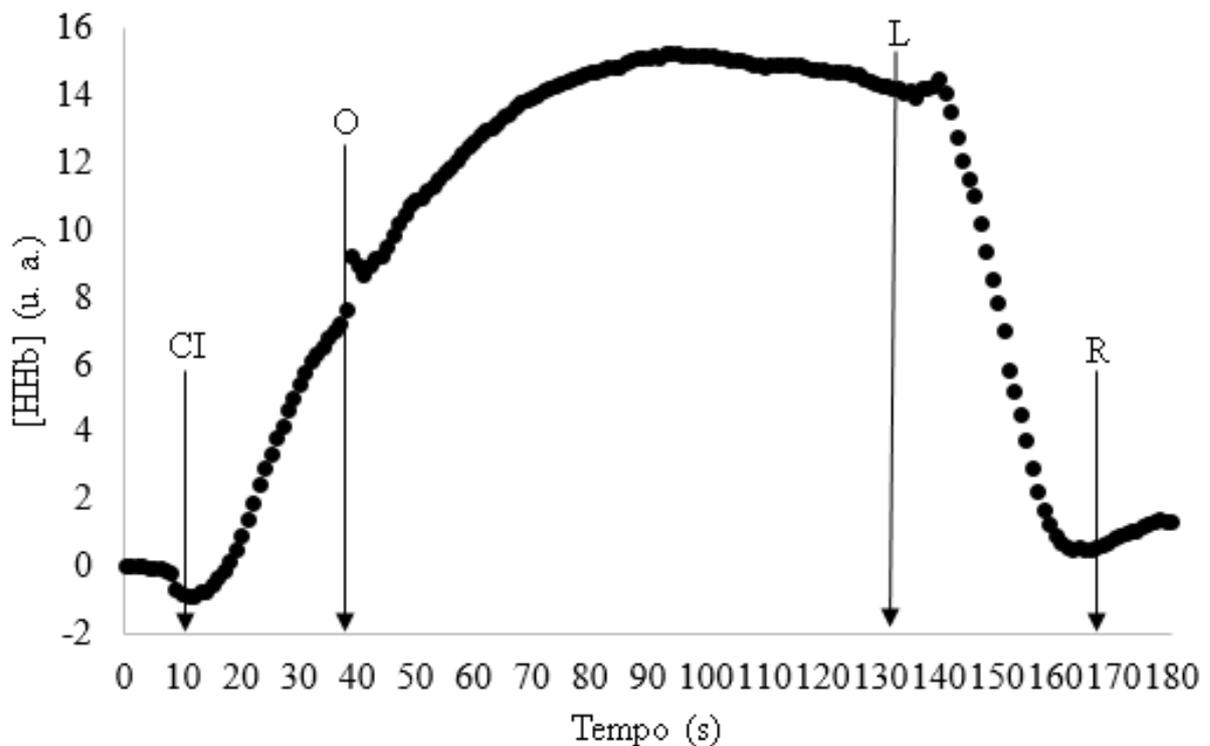
$$h(x) = i_2 + (s_2(x - BP))$$

Onde f é a função linear dupla, x é o tempo e y a [HHb], BP é a coordenada do tempo correspondendo a interseção das duas linhas da regressão (*i.e.*, [HHb]BP), i_1 e i_2 são os interceptos da primeira e segunda função linear, respectivamente, e s_1 e s_2 são as inclinações. O [HHb]BP foi determinado nos testes incrementais com estágios de 3 min ([HHb]BP_{3min}) e 1 min ([HHb]BP_{1min}). Dois avaliadores independentes inspecionaram visualmente o ponto de

interseção da curva, (*i.e.*, [HHb]BP). Em caso de discordância, um terceiro avaliador foi consultado.

Previamente a realização dos testes incrementais e de determinação da MFEL, realizou-se um protocolo de oclusão muscular por meio da insuflação de manguitos infláveis (~300 mmHg) posicionados na parte proximal da coxa direita, para identificação da amplitude fisiológica na resposta da [HHb] (*i.e.*, calibração fisiológica; Figura 3). Sentados em uma cadeira, a oclusão do fluxo sanguíneo foi realizada após uma contração isométrica (10 s), monitorando-se a resposta da [HHb] até o alcance de um platô durante a isquemia (*i.e.*, extração máxima de O₂, sendo considerado o 100%). Após, o manguito foi desinflado completamente monitorando-se a resposta até o alcance de um novo platô durante a reperfusão (*i.e.*, saturação máxima de O₂, sendo considerado o 0%) (SANNI E MCCULLY, 2019).

Figura 3. Resposta da deoxihemoglobina durante o protocolo de calibração fisiológica.



Fonte: Produção do próprio autor. CI: contração isométrica. O: oclusão. L: liberação. R: reperfusão.

Na análise da calibração fisiológica, os valores da [HHb] foram corrigidos para diminuição das influências do fluxo sanguíneo (RYAN; ERICKSON *et al.*, 2012). Foram utilizadas as médias dos últimos 10 segundos de cada estágio nos testes incrementais e a média do 30° min de exercício na intensidade da MFEL. Para identificação do valor máximo

(percentual) de extração de O₂ atingido em cada teste, relativizou-se esses valores médios em relação ao 0 e 100% atingidos na calibração fisiológica.

3.3.6 Determinação da Potência Crítica

Para determinação da PC e do trabalho realizado acima da PC (W'), os atletas realizaram 2 a 4 testes de desempenho em distância fixa. Foram utilizados testes de desempenho de 500m, 1000m, 2000m e 6000m. Todos os testes foram realizados nos clubes de treinamento, em condições de temperatura e umidade similares e após realização de aquecimento padronizado. Os atletas foram instruídos a realizarem seu melhor desempenho sendo registrado o tempo total e a potência média.

Os valores individuais de tempo e potência em cada teste foram ajustados para determinação da PC e W' a partir de três modelos:

I) Hiperbólico

$$Tlim = \frac{W'}{(P - PC)}$$

Onde a assíntota é a PC e a constante da curvatura o W' (Poole *et al.*, 1988).

II) Linear trabalho-tempo (Linear-TW)

$$W = PC * Tlim + W'$$

Onde a inclinação da reta é a PC e o intercepto o W' (Moritani *et al.*, 1981).

III) Linear inverso do tempo (Linear-1/t)

$$P = W' * \left(\frac{1}{Tlim}\right) + PC$$

Onde o intercepto é a PC e a inclinação da linha o W' (Gaesser *et al.*, 1995).

O erro padrão de estimativa da PC e do W' de cada modelo foram calculados. Para cada atleta foram utilizadas duas diferentes combinações de distâncias (500m/1000m/2000m/6000m; 500m/1000m/2000m) em cada modelo para determinação individual da PC e W'. A partir da soma do percentual do erro padrão da estimativa da PC e W' de cada atleta, foi selecionado o modelo com menor erro (BLACK, JONES *et al.*, 2016). Nos casos de somatórias iguais em duas modelagens, o critério secundário utilizado foi o maior r².

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados estão apresentados em média e desvio padrão. O teste de *Shapiro-Wilk* foi utilizado para verificar a normalidade dos dados. Todas as análises foram realizadas no programa R (Core Team, Viena, Áustria), com nível de significância de $p < 0,05$.

O teste *t* de *Student* para dados pareados foi utilizado para comparação da PP, $\dot{V}O_{2\max}$, FCmax, PSEfinal, [La]final e [HHb]BP entre os testes incrementais. A comparação das médias da potência, além do $\dot{V}O_2$ e da FC do [HHb]BP_{1min} e [HHb]BP_{3min} em relação à MFEL e PC foi realizada por meio da ANOVA *one-way* de medidas repetidas. O *post hoc* de *Tukey* foi utilizado nos casos em que foram observadas diferenças significativas. Adicionalmente, para comparação da potência da MFEL com a PC, índices fisiológicos e testes de desempenho foram utilizados:

I) O coeficiente de correlação de *Pearson* com intervalos de confiança de 95% para análise da correlação da MFEL com a PC, [HHb]BP_{1min}, [HHb]BP_{3min} e todos os índices de transição fisiológica. Foram adotados critérios de classificação (-0,1 a 0,1 = trivial; 0,1 a 0,3 = pequeno; 0,3 a 0,5 = médio; 0,5 a 0,7 = grande; 0,7 a 0,9 = muito grande e 0,9 a 1,0 = quase perfeito) (HOPKINS, 2002).

II) O Erro Típico da Estimativa (ETE) absoluto e percentual com os intervalos de confiança de 95% na potência da MFEL com a PC, [HHb]BP_{1min}, [HHb]BP_{3min} e todos os índices de transição fisiológica (HOPKINS, 2000). Foram adotados os seguintes critérios de classificação (0,0 a 1,3% = trivial; 1,3 a 4,0% = pequeno; 4,0 a 8,0% = médio; 8,0 a 13,3% = grande e 13,3 a 25,0% = muito grande) (HOPKINS, 2000).

III) Diferença média percentual com intervalos de confiança de 95% na potência da MFEL com a PC, [HHb]BP_{1min}, [HHb]BP_{3min} e todos os índices de transição fisiológica (HOPKINS, 2000). Foram adotados os seguintes critérios de classificação (-2,7 a 2,7% = trivial; 2,7 a 8,0% = pequeno; 8,0 a 15,9% = médio; 15,9 a 26,5% = grande e 26,5 a 50,0% = muito grande) (HOPKINS, 2000).

IV) Análise dos gráficos de *Bland-Altman* com limites de concordância de 95% (BLAND E ALTMAN, 1986) na potência da MFEL e PC com o [HHb]BP_{1min} e [HHb]BP_{3min} e entre o [HHb]BP_{1min} e [HHb]BP_{3min}.

4 RESULTADOS

4.1 TESTES INCREMENTAIS

A duração do teste INC_{3min} (1258 ± 213 s) foi maior que o INC_{1min} (778 ± 141 s; p < 0,01). Na comparação entre testes incrementais, foram observados maiores valores de FC_{max}, PSE_{final} e [La]_{final} no INC_{3min} em comparação ao INC_{1min} (Tabela 7; p < 0,05), sem diferenças na PP e $\dot{V}O_2$ _{max} (p > 0,05).

Com relação à análise dos valores médios de potência do [HHb]BP entre os testes incrementais não se verificou diferença entre as intensidades, no entanto, apresentando uma alta variabilidade (Δ : -3,4%; ETE: 13,2%; p = 0,98; Figura 4D). Sobre as respostas fisiológicas, apenas foi observado maior $\dot{V}O_2$ absoluto na [HHb]_{3min} (INC_{3min}: 3,45 ± 0,25 L/min; INC_{1min}: 3,23 ± 0,34 L/min; p = 0,05), sem diferença significativa no $\dot{V}O_2$ relativo ao $\dot{V}O_2$ _{max} (INC_{3min}: 82,8 ± 6,9%; INC_{1min}: 77,8 ± 11,2%; p = 0,07), FC absoluta (INC_{3min}: 165 ± 19 bpm; INC_{1min}: 159 ± 13 bpm; p = 0,08) e relativa a FC_{max} (INC_{3min}: 87,1 ± 5,5%; INC_{1min}: 83,8 ± 6,0%; p = 0,12).

Analisando-se a resposta da oxigenação muscular, não foi verificada diferença na [HHb] em relação a extração máxima de O₂ atingida no INC_{1min} (74,8 ± 6,5%) comparado ao INC_{3min} (71,9 ± 9,8%; p = 0,15).

Tabela 7. Comparação dos valores máximos e do [HHb]BP entre os testes incrementais

	INC _{1min}	INC _{3min}
PP (W)	311 ± 35	308 ± 37
$\dot{V}O_2$ _{max} (L/min)	4,08 ± 0,47	4,19 ± 0,39
$\dot{V}O_2$ _{max} (ml/kg/min)	51,0 ± 7,8	52,2 ± 7,3
FC _{max} (bpm)	185 ± 12	189 ± 14*
PSE _{final}	18 ± 1	19 ± 1*
[La] _{final} (mmol/L)	8,08 ± 1,51	11,15 ± 1,75*
[HHb]BP (W)	204 ± 29	207 ± 29

Fonte: Produção do próprio autor. Dados em média ± DP. *Diferença significativa entre os testes (p < 0,05).

4.2 DETERMINAÇÃO DA MÁXIMA FASE ESTÁVEL DE LACTATO

Na média, os remadores realizaram 3 ± 1 visitas (mínimo: 2; máximo: 4) para determinação da MFEL. Com relação às respostas fisiológicas na MFEL, foi observado um aumento significativo do 10º para o 30º minuto de exercício na FC (pré: 89 ± 11 ; 10min: 157 ± 13 ; 30min: 168 ± 12 bpm), PSE (pré: 7 ± 1 ; 10min: 12 ± 2 ; 30min: 14 ± 2 u.a.) e [Lac] ($p < 0,01$; Tabela 8), sem diferenças no $\dot{V}O_2$ (pré: $0,71 \pm 0,12$; 10min: $3,37 \pm 0,26$; 30min: $3,33 \pm 0,31$ L/min).

Na intensidade da MFEL o $\dot{V}O_2$ e a FC representaram $78,4 \pm 4,1\%$ e $87,4 \pm 3,5\%$ dos valores máximos obtidos no INC_{3min} , respectivamente. Com relação à resposta da oxigenação muscular ao final do exercício na MFEL, a [HHb] correspondeu a $65,1 \pm 13,8\%$ da capacidade máxima de extração de O_2 .

Tabela 8. Intensidade da máxima fase estável de lactato e respostas fisiológicas associadas

	Média \pm DP	Mínimo	Máximo
Potência (W)	187 ± 25	136	233
Potência (%PP)	$60,9 \pm 3,9$	54,1	67,2
[La]pre (mmol/L)	$1,45 \pm 0,47$	0,74	2,05
[La] 10º (mmol/L)	$2,46 \pm 0,97$	0,85	4,50
[La] 30º (mmol/L)	$3,19 \pm 0,99$	1,47	4,83
[La]média (mmol/L)	$2,83 \pm 0,97$	1,16	4,67
PSEfim (u.a.)	14 ± 2	10	19
FCfim (bpm)	168 ± 12	146	184

Fonte: produção do próprio autor. PP: potência pico do INC_{3min} .

4.3 TESTES DE DESEMPENHO, DETERMINAÇÃO DA POTÊNCIA CRÍTICA E A RELAÇÃO COM A MÁXIMA FASE ESTÁVEL DE LACTATO

Com o aumento das distâncias dos desempenhos, foi observado um acréscimo significativo no tempo e decréscimos na potência média absoluta e relativa à massa corporal, respectivamente (Tabela 9).

Tabela 9. Tempo e potência média dos testes de desempenho.

	500m (n = 13)	1000m (n = 9)	2000m (n = 14)	6000m (n = 9)
Tempo (s)	89 ± 3	197 ± 7	415 ± 18	1304 ± 70
Potência (W)	499 ± 47	372 ± 40	317 ± 38	258 ± 28
Potência (W/kg)	6,31 ± 0,61	4,70 ± 0,56	3,96 ± 0,64	3,33 ± 0,36

Fonte: produção do próprio autor. Dados em média ± DP.

Nos 13 sujeitos em que a PC foi determinada (tabela 10), os ajustes com melhor qualidade foram observados nos modelamentos com 3 cargas preditivas (500m, 1000m e 2000m) em 9 participantes (hiperbólico, n = 4; linear inverso do tempo, n = 5). Nos demais 4 remadores foram adotados os modelamentos com 4 cargas preditivas (500m, 1000m, 2000m e 6000m), sendo 3 deles o modelamento linear inverso do tempo e 1 o hiperbólico. Nestes 4 indivíduos o tempo do teste de 6000m variou de 21,4 a 22,6 minutos. Na média, a PC correspondeu a $82,8 \pm 6,4\%$ da potência pico atingida no INC_{3min} .

Tabela 10. Determinação da potência crítica e da capacidade de trabalho acima da potência crítica.

PC (W)	EPE (%)	W (kJ)	EPE (%)	r²
259 ± 34	5,1 ± 3,4	23,2 ± 4,7	12,7 ± 8,0	0,987 ± 0,012

Fonte: produção do próprio autor. Dados em média ± DP. PC: Potência crítica; W': capacidade de trabalho realizado acima da PC. EPE: erro padrão da estimativa.

A PC foi significativamente maior do que a MFEL ($p < 0,01$) (Δ : $69,8 \pm 29,6$ W; $37,6 \pm 14,7\%$) e um ETE absoluto de 27,9 W (95% IC: 17,9 a 43,6 W) e ETE relativo de 10,8% (95% IC: 6,9 a 16,8%). Foi observada uma correlação grande entre as variáveis ($r = 0,66$; 95% IC: 0,17 a 0,89).

A MFEL apresentou correlação negativa com o tempo das performances de 500m, 1000m e 2000m, e uma correlação positiva com a potência média absoluta e relativa nos mesmos desempenhos, sendo que, as maiores correlações foram observadas com o desempenho de 1000m para todas as variáveis (tabela 11). No entanto, não foi observada correlação da MFEL com nenhuma das variáveis no teste de 6000m.

Ainda, os valores do ETE foram altos em todos os desempenhos, sendo que, no desempenho de 6000m verificou-se o erro mais alto, enquanto no desempenho em teste de 1000m o menor ETE.

Tabela 11. Correlação entre a máxima fase estável de lactato e os testes de desempenho.

		500m (n = 13)	1000m (n = 9)	2000m (n = 14)	6000m (n = 9)
Tempo (s)	r	-0,63	-0,87	-0,78	0,12
	(IC95%)	(-0,88 a -0,12)	(-0,97 a -0,49)	(-0,93 a -0,43)	(-0,59 a 0,73)
	ETE%	11,3	7,0	9,0	12,9
	(IC95%)	(7,2 a 17,6)	(3,9 a 12,5)	(5,9 a 13,8)	(7,2 a 22,9)
PM (W)	r	0,65	0,86	0,78	0,39
	(IC95%)	(0,15 a 0,88)	(0,46 a 0,97)	(0,43 a 0,93)	(-0,37 a 0,84)
	ETE%	11,0	7,2	8,9	11,9
	(IC95%)	(7,0 a 17,2)	(4,0 a 12,8)	(5,9 a 13,7)	(6,7 a 21,2)
PM (W/kg)	r	0,68	0,93	0,66	0,13
	(IC95%)	(0,23 a 0,89)	(0,79 a 0,98)	(0,20 a 0,88)	(-0,43 a 0,62)
	ETE%	10,7	5,2	10,8	12,9
	(IC95%)	(6,8 a 16,7)	(2,9 a 9,3)	(7,1 a 16,5)	(7,2 a 22,9)

Fonte: produção do próprio autor. PM: potência média. ETE: erro típico da estimativa. IC: intervalo de confiança.

Com relação à comparação da [HHb]BP dos testes incrementais com os testes de desempenho, de forma geral, verificaram-se baixas correlações do [HHb]BP_{1min} e [HHb]BP_{3min} com os testes de desempenho (tabela 12). O ETE de ambos [HHb]BP com todos os testes de desempenho foi alto, sendo os menores valores observados no desempenho de 6000m.

Tabela 12. Correlação entre os testes de desempenho e o [HHb]BP dos testes incrementais.

		500m (n = 13)	1000m (n = 9)	2000m (n = 14)	6000m (n = 9)
[HHb]BP_{1min} (W)					
	r	-0,23	-0,16	-0,20	0,56
Tempo (s)	(IC95%)	(-0,68 a 0,34)	(-0,64 a 0,40)	(-0,66 a 0,37)	(0,04 a 0,84)
	ETE%	15,6	15,7	15,1	13,3
	(IC95%)	(10,0 a 24,3)	(8,8 a 28,0)	(9,9 a 23,1)	(7,5 a 23,7)
PM (W)	r	0,29	0,12	0,19	0,03
	(IC95%)	(-0,28 a 0,71)	(-0,44 a 0,61)	(-0,38 a 0,65)	(-0,51 a 0,55)
	ETE%	15,4	15,8	15,2	16,1
PM (W/kg)	(IC95%)	(9,8 a 23,9)	(8,9 a 28,1)	(9,9 a 23,2)	(9,1 a 28,7)
	r	0,15	-0,01	0,01	-0,18
	(IC95%)	(-0,41 a 0,63)	(-0,54 a 0,52)	(-0,52 a 0,54)	(-0,65 a 0,39)
	ETE%	15,8	15,9	15,4	15,9
	(IC95%)	(10,2 a 24,7)	(8,9 a 28,3)	(10,1 a 23,6)	(8,9 a 28,2)
[HHb]BP_{3min} (W)					
	r	-0,37	-0,39	-0,53	-0,09
Tempo (s)	(IC95%)	(-0,75 a 0,20)	(-0,76 a 0,18)	(-0,83 a 0,00)	(-0,59 a 0,46)
	ETE%	13,1	14,0	13,0	11,2
	(IC95%)	(8,4 a 20,4)	(7,9 a 25,0)	(8,5 a 19,9)	(6,3 a 20,0)
PM (W)	r	0,36	0,38	0,53	0,55
	(IC95%)	(-0,21 a 0,75)	(-0,19 a 0,76)	(0,00 a 0,83)	(0,03 a 0,84)
	ETE%	13,1	14,1	13,0	9,4
PM (W/kg)	(IC95%)	(8,4 a 20,5)	(7,9 a 25,2)	(8,5 a 19,8)	(5,3 a 16,7)
	r	0,30	0,22	0,51	0,53
	(IC95%)	(-0,27 a 0,72)	(-0,35 a 0,67)	(-0,03 a 0,82)	(0,00 a 0,83)
	ETE%	13,4	14,9	13,2	9,6
	(IC95%)	(8,6 a 20,9)	(8,4 a 26,5)	(8,7 a 20,2)	(5,4 a 17,0)

Fonte: produção do próprio autor. PM: potência média. ETE: erro típico da estimativa. IC: intervalo de confiança.

4.4 COMPARAÇÃO DA MÁXIMA FASE ESTÁVEL DE LACTATO, POTÊNCIA CRÍTICA E [HHb]BP

A intensidade da MFEL e do [HHb]BP_{1min} e [HHb]BP_{3min} foi significativamente menor que a PC (tabela 13), apresentando uma grande diferença entre a PC e MFEL (Bias: 31,1%; Figura 4C) com diferença média de 37,6%.

Tabela 13. Comparação da máxima fase estável de lactato, [HHb]BP dos testes incrementais e potência crítica.

	Potência		VO ₂		FC	
	(W)	(%PP)	(L/min)	(%max)	(bpm)	(%max)
MFEL	187 ± 25*	60,9 ± 3,9*	3,32 ± 0,31	82,2 ± 6,9	167 ± 10	87,4 ± 3,5
[HHb]BP_{1min}	204 ± 29*	66,1 ± 9,5*	3,23 ± 0,34	77,8 ± 11,2	159 ± 13	83,8 ± 6,0
[HHb]BP_{3min}	207 ± 29*	67,6 ± 6,9*	3,45 ± 0,25	82,8 ± 6,9	165 ± 19	87,1 ± 5,5
PC	259 ± 34	82,8 ± 6,4	-	-	-	-

Fonte: produção do próprio autor. *Diferença significativa para a PC ($p < 0,05$). Embora os valores de potência destes índices foram previamente apresentados, estes foram novamente exibidos para fins de clareza ao leitor.

Quando comparado os valores médios da MFEL com o [HHb]BP dos incrementais, não observou-se diferença significativa na potência, sendo indicado uma tendência entre o [HHb]BP_{3min} e a MFEL ($p = 0,057$). No entanto, verificou-se uma baixa correspondência (figura 5A), com baixa correlação e alto ETE da MFEL com ambos [HHb]BP (tabela 14). Quando comparado relativo aos valores máximos, verificou-se diferença na potência ($p = 0,04$), VO₂ e FC ($p = 0,02$). Porém, analisando-se o *post hoc* foram identificadas tendências entre o [HHb]BP_{3min} e a MFEL na potência ($p = 0,051$) e o VO₂ do [HHb]BP_{1min} em comparação ao [HHb]BP_{3min} e a MFEL ($p = 0,052$).

Tabela 14. Comparação da máxima fase estável de lactato com o [HHb]BP dos testes incrementais.

	[HHb]BP _{1min}	[HHb]BP _{3min}
	Potência	Potência
	(W)	(W)
r	0,41 (-0,15 a 0,77)	0,39 (-0,18 a 0,76)
(IC95%)		
ETE (IC95%)	29 (19 a 44)	29 (19 a 45)
ETE (%) (IC95%)	15,3 (10,0 a 23,4)	15,6 (10,2 a 23,8)

Fonte: Produção do próprio autor. ETE: erro típico da estimativa. IC: intervalo de confiança.

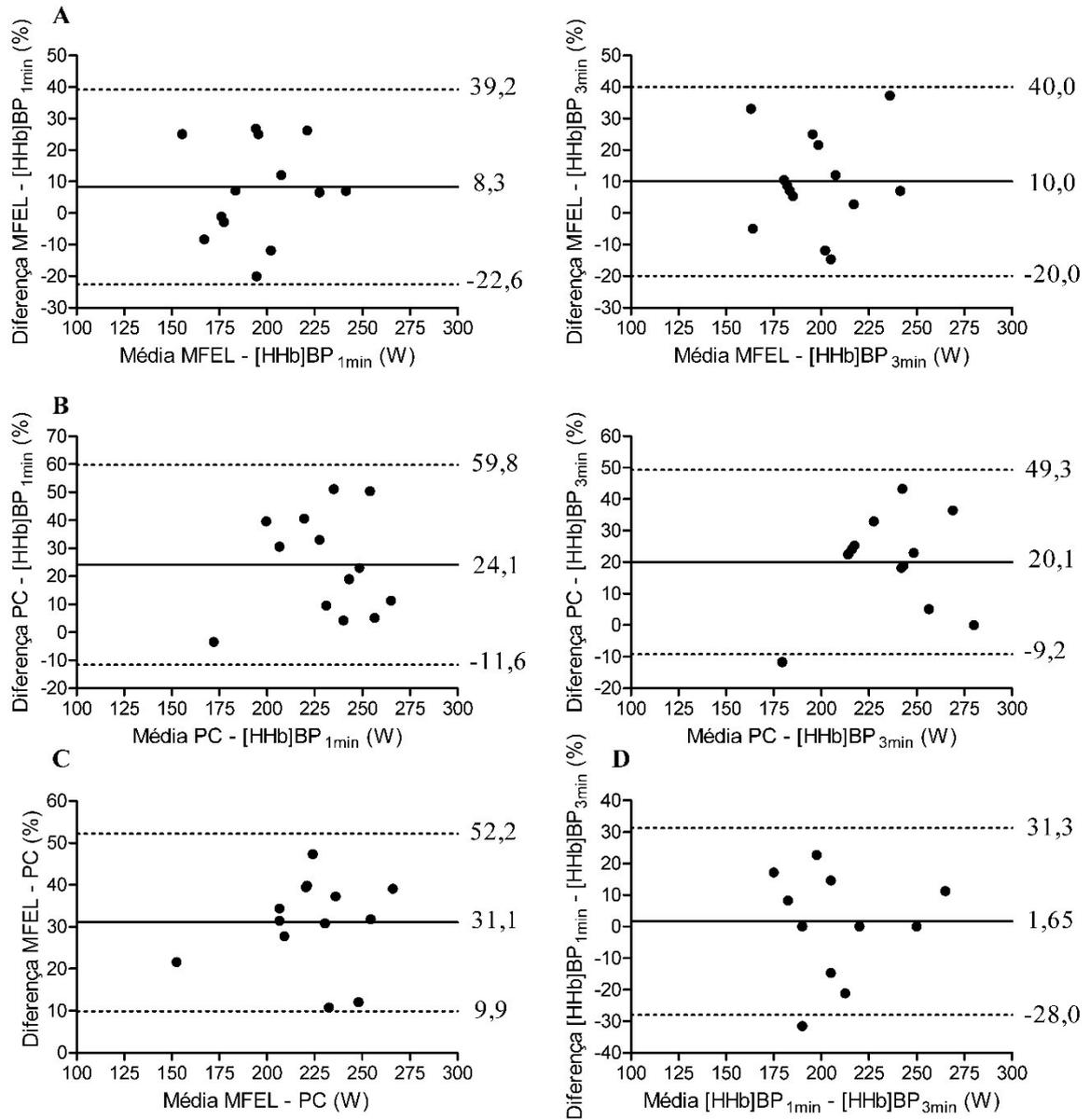
Em relação ao [HHb]BP dos testes incrementais, a PC representou uma potência significativamente maior do que o [HHb]BP_{1min} e [HHb]BP_{3min} (figura 4B). Ainda, a PC apresentou uma correlação de magnitude pequena com o [HHb]BP_{1min} e média com o [HHb]BP_{3min}, com um maior ETE no [HHb]BP_{1min} (tabela 15).

Tabela 15. Comparação entre a potência crítica e o [HHb]BP dos testes incrementais

	[HHb]BP _{1min} (W)	[HHb]BP _{3min} (W)
r (IC95%)	0,21 (-0,36 a 0,67)	0,41 (-0,15 a 0,77)
ETE (W) (IC95%)	32 (20 a 50)	27 (17 a 42)
ETE (%) (IC95%)	12,3 (7,9 a 19,2)	10,5 (6,7 a 16,4)
Diferença média (%)	-20,4 (-28,9 a -12,0)	-17,4 (-25,0 a -9,9)

Fonte: Produção do próprio autor. ETE: erro típico da estimativa. IC: intervalo de confiança.

Figura 4. Biais e limite de concordância da máxima fase estável de lactato e da potência crítica com o [HHb]BP1min e [HHb]3min e entre ambos [HHb]BP

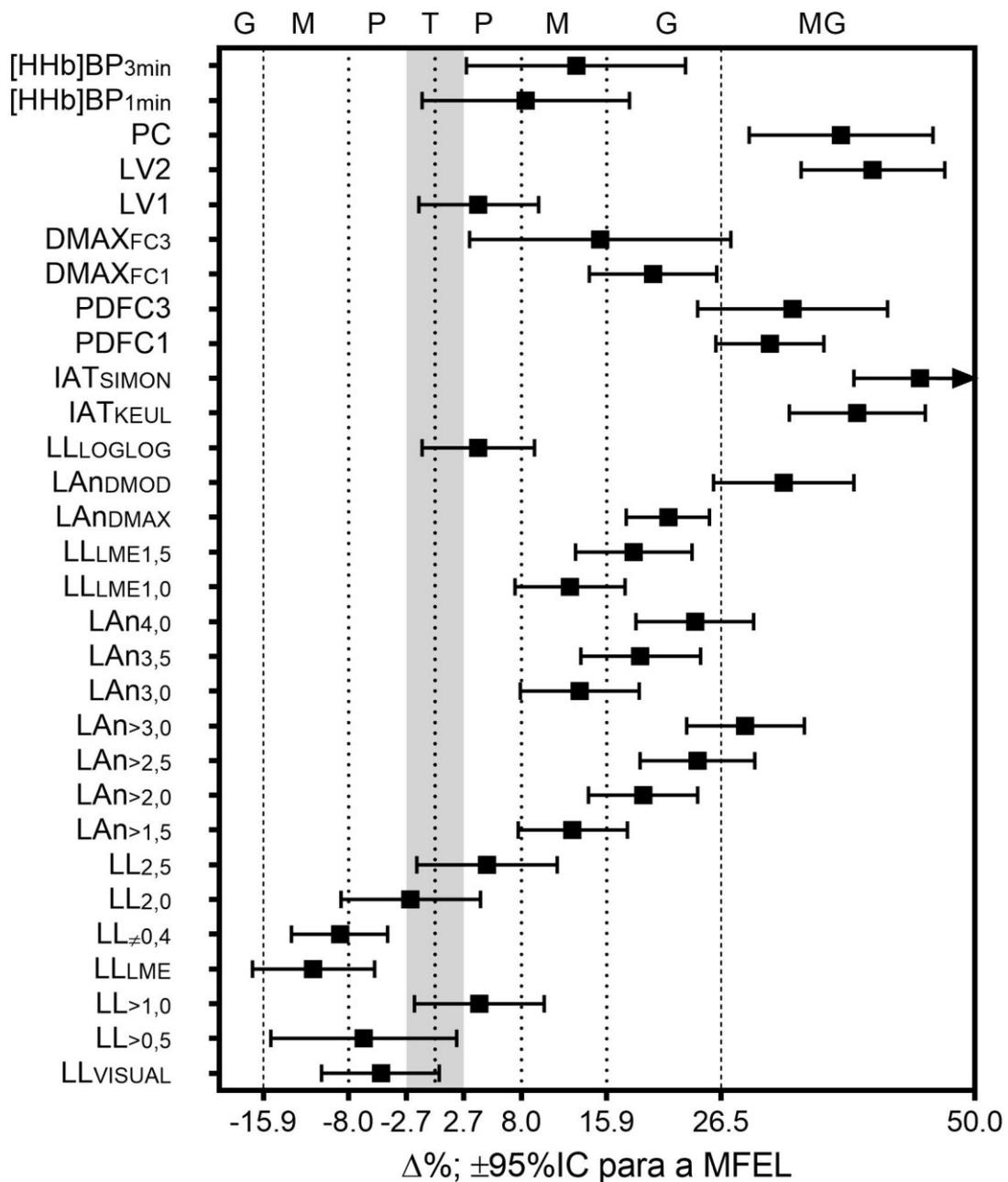


Fonte: Produção do próprio autor. PC: potência crítica. MFEL: máxima fase estável de lactato.

4.5 COMPARAÇÃO DA MÁXIMA FASE ESTÁVEL DE LACTATO COM OS ÍNDICES DA PRIMEIRA E SEGUNDA TRANSIÇÃO FISIOLÓGICA

Na comparação da MFEL com os índices de transição fisiológica, pode-se observar que cinco índices ($LL_{2,0}$, $LV1$, LL_{LOGLOG} , LL_{VISUAL} e $LL_{>1,0}$) apresentaram IC95% de trivial a moderado no ETE e Δ (Δ : $< 5\%$; Figura 5).

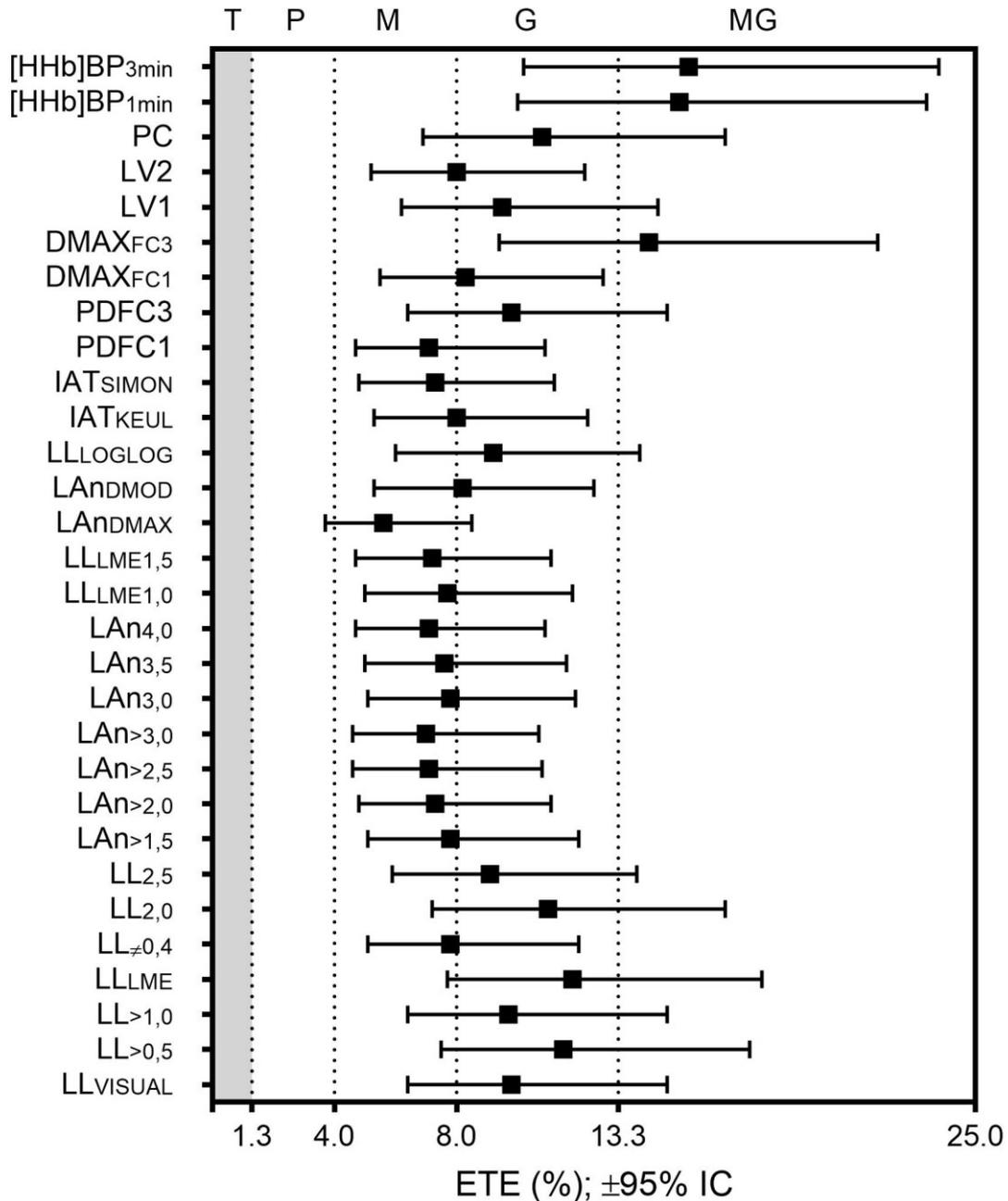
Figura 5. Diferença média da máxima fase estável de lactato com os índices da primeira e segunda transição fisiológica



Fonte: produção do próprio autor. IC: intervalo de confiança. T: trivial. P: pequeno. M: médio. G: grande. M: muito grande. MFEL: máxima fase estável de lactato.

Analisando-se o ETE (figura 6), foi observado menor valor para o LAn_{DMAX} , entretanto com IC95% de pequeno a grande. Os demais índices apresentaram ETE que variaram de 5% a 20% com IC95% de moderado a muito grande.

Figura 6. Erro típico da estimativa da máxima fase estável de lactato com os índices da primeira e segunda transição fisiológica

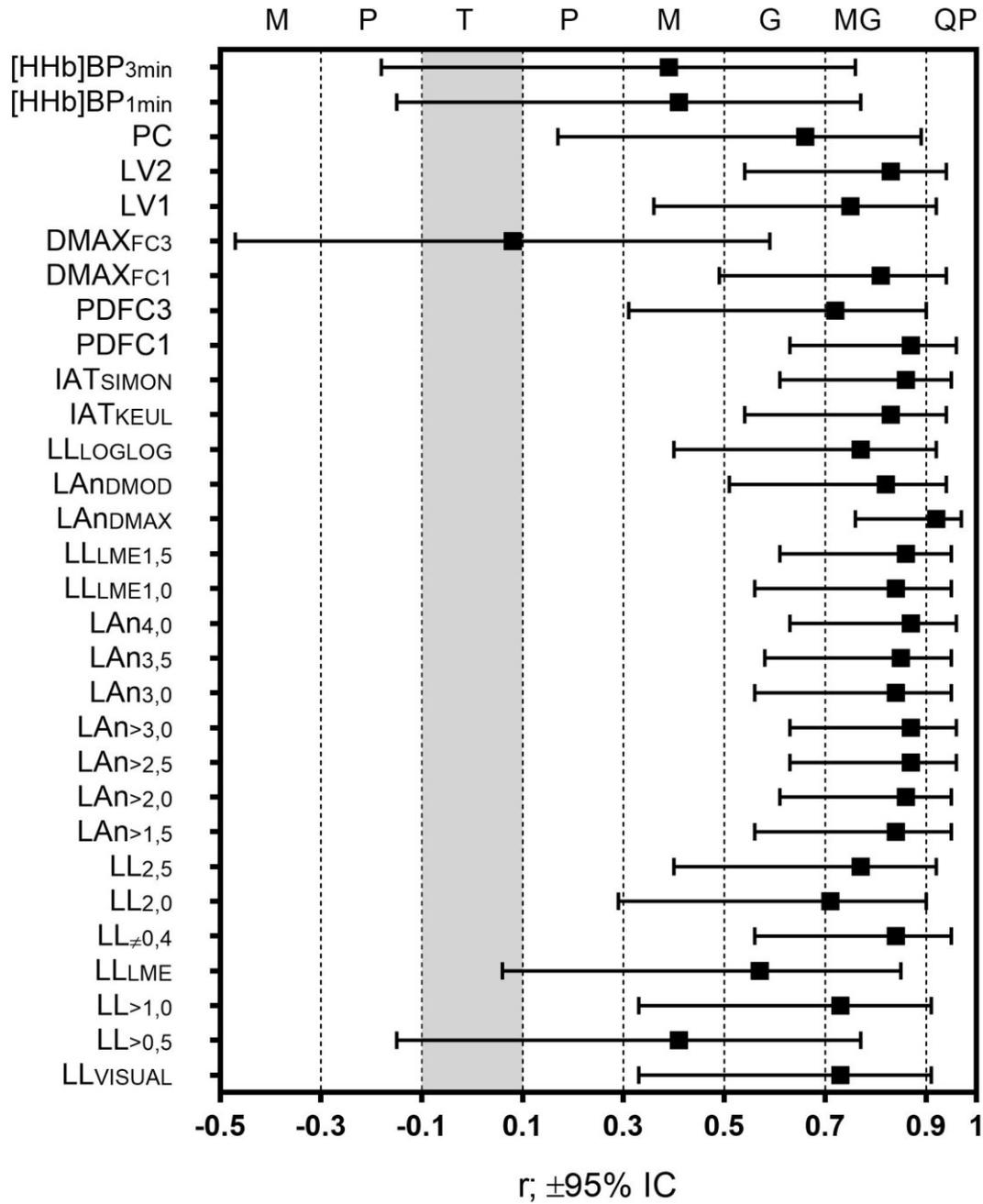


Fonte: produção do próprio autor. ETE: erro típico da estimativa. IC: intervalo de confiança. T: trivial.

P: pequeno. M: médio. G: grande. M: muito grande.

Em relação à correlação da MFEL com os índices fisiológicos (figura 7), os maiores valores foram o LAn_{DMAX} ($r = 0,92$), com IC95% de muito grande a quase perfeita. Altos valores de correlação também foram observados para o PDFC_{1min} ($r = 0,87$), LAn_{4,0} ($r = 0,87$), LAn_{>3,0} ($r = 0,87$) e LAn_{>3,5} ($r = 0,87$), com IC95% de grande a quase perfeito.

Figura 7. Correlação da máxima fase estável de lactato com os índices da primeira e segunda transição fisiológica



Fonte: produção do próprio autor. IC: intervalo de confiança. T: trivial. P: pequeno. M: médio. G: grande. M: muito grande. QP: quase perfeito.

5 DISCUSSÃO

A presente pesquisa teve como objetivo geral verificar a concordância da MFEL e da PC com o [HHb]BP determinado no INC_{3min} e INC_{1min} em remadores bem treinados. Verificou-se diferença da PC com a MFEL e o [HHb]BP determinado em ambos os incrementais. Apesar das intensidades do [HHb]BP_{1min} e [HHb]BP_{3min} não apresentarem diferença média significativa da MFEL, observou-se uma baixa concordância entre os métodos a partir das medidas de variabilidade. Da mesma forma, as intensidades dos índices da segunda transição fisiológica apresentaram uma baixa correspondência com a MFEL. Ainda, verificou-se uma diferença média (Δ) de (~30%) entre MFEL e PC, visivelmente maior do que o reportado pela literatura em outras modalidades. Juntos, esses achados indicam que no remo a MFEL e a PC podem representar os limites superiores dos domínios moderado e pesado, respectivamente.

Apesar da literatura sugerir testes incrementais de estágio curto ($< 1min$) comparado aos estágios longos ($\geq 3min$) para mensuração das variáveis máximas (BENTLEY, NEWELL *et al.*, 2007), verificou-se o INC_{3min} como um teste eficaz para mensuração do $\dot{V}O_{2max}$ (POSSAMAI, CAMPOS *et al.*, 2019). Nesse sentido, alguns resultados no remo verificaram maior PP no incremental com estágios de 3-min comparado a estágios maiores ($\geq 4-min$) (BOURDON, WOOLFORD *et al.*, 2019). Esses resultados podem estar relacionados à maior fadiga periférica nos testes com estágios longos, comprometendo o alcance dos valores máximos por exaustão prematura, uma vez que, os valores de $\dot{V}O_{2max}$ foram maiores no incremental com estágios de 3-min comparado aos estágios de 7-min e 10-min (BOURDON, WOOLFORD *et al.*, 2019). Porém, estes achados não são unânimes uma vez que não foram verificadas diferenças no presente estudo tanto na PP, quanto no $\dot{V}O_{2max}$, que podem estar relacionadas as inclinações similares entre o INC_{1min} (15 W/min) e INC_{3min} (10 W/min). Resultado que corrobora os achados de Ingham, Pringle *et al.*, (2013) que apesar de utilizarem testes com grandes diferenças no tempo de estágio (4-min vs. 30s) apresentavam inclinações similares (4-min: 25W/60s; 30s: 25W/30s). Nesse sentido, os incrementais com estágios de 3-min podem ser considerados os mais longos no qual a mensuração das variáveis máximas não são prejudicadas, uma vez que, as inclinações utilizadas nos diferentes testes incrementais foram iguais (BOURDON, WOOLFORD *et al.*, 2019). No entanto, apesar da grande importância do INC_{3min} no remo pela capacidade de mensuração das variáveis máximas e predição da potência média do 2000m (BOURDIN, MESSONNIER *et al.*, 2004; BOURDIN,

LACOUR *et al.*, 2017; TURNES, POSSAMAI *et al.*, 2019), o $\dot{V}O_2$ max e a PP verificada no INC_{1min} foram similares sugerindo que esse possa prever a potência média do 2000m.

Ainda, em remoergômetro foram reportados maiores valores de lactato sanguíneo ao final do teste incremental com estágios de 4-min comparado aos testes com estágios de 3-min (BOURDON, WOOLFORD *et al.*, 2019) e 30s (INGHAM, PRINGLE *et al.*, 2013), o que vai ao encontro do presente estudo com o INC_{3min} apresentado maiores valores de [La] do que o INC_{1min} . Esses resultados podem estar relacionados à liberação do lactato do músculo para o sistema circulatório, sendo dependente da capacidade de transporte através do sarcolema muscular (JUEL, KRISTIANSEN *et al.*, 1994). Da mesma maneira, relaciona-se ao tempo necessário para essa liberação, com os estágios mais longos (*i.e.*, maior tempo de exercício) permitindo essa troca através do tecido ativo com o sangue (JUEL, KRISTIANSEN *et al.*, 1994; HOLLOSZY E COYLE, 1984). Semelhantemente, o presente estudo verificou maior PSEfinal no INC_{3min} do que no INC_{1min} . Da mesma forma, Bourdon, Woolford *et al.*, (2019) verificaram maior PSEfinal no teste incremental com estágios de 5-min comparado ao 3-min e 4-min. Esses resultados podem ser atribuídos ao maior tempo total de exercício apesar da PP similar entre testes. No entanto, quando analisado a FCmax o presente estudo identificou diferenças entre os testes, contrário aos resultados prévios (BOURDON, WOOLFORD *et al.*, 2019; INGHAM, PRINGLE *et al.*, 2013), o que pode estar relacionado a maior resposta nas catecolaminas devido ao maior tempo em exercício no INC_{3min} (KIRKEBERG, DALLECK *et al.*, 2011).

Dessa maneira, o INC_{1min} e INC_{3min} não exerceram influência na determinação das variáveis máximas no remo, no entanto, a literatura tem indicado testes incrementais para determinação das variáveis submáximas (*i.e.*, índices fisiológicos) com estágio curto (< 1-min) para os métodos relacionados à resposta da ventilação pulmonar e os estágios longos (≥ 3 min) para os métodos relacionados à resposta da [La] (BENTLEY, NEWELL *et al.*, 2007). Nesse sentido, Jamnick, Botella *et al.*, (2018) verificou que os índices de transição fisiológica apresentaram diferentes intensidades conforme o teste incremental utilizado (3-min, 4-min, 7-min e 10-min), com o LAN_{DMAX} determinado no teste incremental de 4-min apresentando a melhor estimativa da MFEL no ciclismo.

No entanto, esse mesmo índice determinado em testes com diferentes tempos de estágio superestimou a MFEL no remo (BOURDON, WOOLFORD *et al.*, 2019). Da mesma maneira, da mesma maneira, outros índices da segunda transição fisiológica determinados em teste incremental com estágios de 3 minutos também superestimaram a intensidade da MFEL no remo (BENEKE, 1995; KLUSIEWICZ, 2005). O presente estudo corrobora esses achados,

demonstrando que os índices relacionados à [La] apresentaram grande variabilidade e baixa correspondência com a MFEL, em especial, aqueles da segunda transição fisiológica. A massa muscular total envolvida no gesto motor pode explicar os menores valores da [La] na MFEL no remo (BENEKE E VON DUVILLARD, 1996), comportamento que pode ser verificado no presente estudo ($2,83 \pm 0,97$ mmol/L). Esse valor pode explicar as melhores estimativas da MFEL em índices da primeira transição fisiológica (e.g., $LL_{2,0}$, LL_{LOGLOG} e $LL_{>1,0}$), no entanto, com baixa correspondência mesmo para esses índices. Esses resultados podem ajudar a explicar à baixa diferença média verificada entre o $LAN_{3,5}$ e o $[\text{HHb}]BP_{3\text{min}}$ em remoergômetro (TURNES, PENTEADO DOS SANTOS *et al.*, 2019), uma vez que, ambos os índices superestimam a MFEL.

Levando em consideração a influência do protocolo incremental na determinação dos índices fisiológicos (BENTLEY, NEWELL *et al.*, 2007), o presente estudo teve a intenção de verificar se o $[\text{HHb}]BP$ apresenta essa dependência. No entanto, embora hipotetizado que as pausas do $\text{INC}_{3\text{min}}$ poderiam superestimar a intensidade do $[\text{HHb}]BP$ a partir da recuperação (diminuindo a extração de O_2), o $[\text{HHb}]BP$ não apresentou diferença na média entre os incrementais. Entretanto, verificou-se uma baixa correspondência (figura 5D) com ETE alto (13,2%) entre eles, o qual representa um erro duas vezes maior do que o comumente verificado em índices da segunda transição fisiológica em relação à MFEL no remo (BOURDON, 2000). Quando analisado a menor diferença substancial ($0,2 \times$ desvio padrão entre sujeitos) verificou-se que apenas quatro remadores apresentaram o valor abaixo de 5,8 W, com pelo menos sete participantes demonstrando uma diferença superior a 30 W entre o $[\text{HHb}]BP_{1\text{min}}$ e $[\text{HHb}]BP_{3\text{min}}$. Assim, apesar do $[\text{HHb}]BP$ apresentar boa reprodutibilidade no ciclismo (IANNETTA, QAHTANI *et al.*, 2017), associação com a MFEL em indivíduos fisicamente ativos no ciclismo (BELLOTTI, CALABRIA *et al.*, 2013; KEIR, FONTANA *et al.*, 2015) e com o $LAN_{3,5}$ no remo (TURNES, PENTEADO DOS SANTOS *et al.*, 2019), sugere-se cautela na comparação do $[\text{HHb}]BP$ com qualquer índice. Pois, o $[\text{HHb}]BP_{1\text{min}}$ e $[\text{HHb}]BP_{3\text{min}}$ não apresentaram boa correspondência entre si no músculo vasto lateral em remadores, sendo necessário investigar-se a reprodutibilidade dessa medida no $\text{INC}_{3\text{min}}$ para futuras comparações.

O presente estudo verificou correlação média e similaridade nos valores médios entre a MFEL e o $[\text{HHb}]BP$ em ambos os incrementais. No entanto, as análises de variabilidade da medida apontam uma baixa correspondência entre os métodos, com alto ETE ($[\text{HHb}]BP_{1\text{min}}$: 15,3%; $[\text{HHb}]BP_{3\text{min}}$: 15,6%) e diferença média ($[\text{HHb}]BP_{1\text{min}}$: 8,4%; $[\text{HHb}]BP_{3\text{min}}$: 13,1%). Além disso, o Bias apresentou valores de -8,3% e -10,0% para o $[\text{HHb}]BP_{1\text{min}}$ e $[\text{HHb}]BP_{3\text{min}}$,

respectivamente. Apesar de alguns sujeitos apresentarem boa concordância, em pelo menos 5 remadores os valores apresentaram diferença próxima ou superior a 20,0% no [HHb]BP de ambos os incrementais, com um remador apresentando diferença de 40%. Porém, esta análise não foi reportada em ambos os estudos que verificaram associação do [HHb]BP com a MFEL (BELLOTTI, CALABRIA *et al.*, 2013; KEIR, FONTANA *et al.*, 2015). Ainda, estes estudos realizaram as comparações utilizando-se dos valores de $\dot{V}O_2$, sendo que, o [HHb]BP correspondeu a intensidades (~20%) mais altas do que a MFEL e a PC (KEIR, FONTANA *et al.*, 2015). Outro resultado interessante demonstra que a MFEL é mais sensível aos efeitos do treinamento do que a PC (GRECO, CARITÁ *et al.*, 2012). No entanto, Caen, Vermeire *et al.*, (2018) demonstrou que tanto a PC quanto o [HHb]BP sofreram adaptações após 6 semanas de treinamento intervalado (8,1% e 10,0%, respectivamente), sendo verificadas diferenças significativas entre essas intensidades tanto no pré quanto no pós intervenção. Esses achados indicam que além desses índices não serem equivalentes, apresentam diferenças na adaptação ao treinamento e no *status* de treinamento.

Iannetta, Qahtani *et al.*, (2017) verificaram que a resposta da [HHb] foi diferente nos músculos do quadríceps no ciclismo, com o vasto lateral e vasto medial apresentando incremento contínuo na resposta até o alcance do platô (*i.e.*, [HHb]BP), o qual não foi verificado no reto femoral. Esses resultados podem ser relacionados a diferenças na contribuição desse músculo durante o movimento, como também, a menor proporção de fibras musculares tipo I no reto femoral (~30%) comparado ao vasto lateral (~45%) (STARON, HAGERMAN *et al.*, 2000). No remo, o gesto motor envolve três diferentes fases do movimento nas quais diferentes músculos são recrutados, com a primeira e segunda fase (propulsão) recrutando principalmente os músculos dos membros inferiores, tronco e membros superiores. Já a terceira fase (recuperação) sendo predominante os músculos dos membros inferiores e região abdominal (TURPIN, GUEVEL *et al.*, 2011b; SHAHARUDIN E AGRAWAL, 2016). No entanto, a musculatura do quadríceps em especial o vasto lateral, constituem os principais elementos na produção de potência no remo (WILSON, ROBERTSON *et al.*, 1988; RODRIGUEZ, RODRIGUEZ *et al.*, 1990). Levando em consideração a heterogeneidade entre músculos na resposta da [HHb], a comparação de um índice local ([HHb]BP) com um índice sistêmico (MFEL) deve ser feito com cautela, em especial nos esportes em que diferentes músculos atuam no movimento. Nesse sentido, o [HHb]BP determinado em outros músculos com a MFEL permanece em aberto no remo. Porém, o [HHb]BP determinado no vasto lateral não apresenta

boa correspondência com a MFEL e a PC, indicando que esse índice fisiológico não representa um marcador dos domínios no remo.

A MFEL apresenta grande importância para o desempenho, uma vez que, essa intensidade foi verificada em uma velocidade pouco acima da maratona na corrida (BILLAT, DALMAY *et al.*, 1994). Apesar dos testes de desempenho avaliados no presente estudo apresentarem tempos e potência média diferentes da intensidade da MFEL, como previamente demonstrado na estimativa da potência média do 2000m a partir da PP_{3min} (BOURDIN, MESSONNIER *et al.*, 2004; BOURDIN, LACOUR *et al.*, 2017; TURNES, POSSAMAI *et al.*, 2019), o presente estudo verificou correlação da MFEL com o tempo nos testes de 500m ($r = -0,63$), 1000m ($r = -0,87$) e 2000m ($r = -0,78$). Quando analisados a intensidade da MFEL, permite-se além da predição de performance em tempos entre 30 e 60 minutos, a associação com o desempenho em esportes de *endurance* baseados na locomoção (BILLAT, SIRVENT *et al.*, 2003). Isso se deve ao fato de que a MFEL indica a intensidade máxima na qual ocorre estado estável na [La], sendo que intensidades acima da MFEL implicam em mudanças significativas no metabolismo relacionadas a contribuição energética e a maior produção de metabólitos que podem causar a fadiga (BENEKE E VON DUVILLAR, 1996). Esses resultados podem reforçar a MFEL como um índice padrão ouro para avaliação da capacidade aeróbia (BILLAT, SIRVENT *et al.*, 2003). No remo, a MFEL pode demarcar a primeira transição fisiológica, sendo um índice importante para o treinamento por indicar uma intensidade na qual a maior parte do treinamento (~90%) é realizada (GUELLICH, SEILER *et al.*, 2009). Quando comparado com a corrida, verifica-se uma grande diferença, na qual cerca de 70% do treinamento é realizado abaixo da primeira transição fisiológica (ESTEVE-LANAO, FOSTER *et al.*, 2005), o que pode estar associado ao aprimoramento técnico no remo (GUELLICH, SEILER *et al.*, 2009).

A MFEL tem sido aceita como o padrão ouro na avaliação da capacidade aeróbia (BILLAT, SIRVENT *et al.*, 2003). No entanto, algumas discussões acerca desse tema têm sido iniciadas, sugerindo-se a PC como a intensidade máxima de estado estável, demarcando os domínios pesado e severo (JONES, BURNLEY *et al.*, 2019). A maioria dos estudos que fizeram comparações diretas da MFEL com a PC foram realizados no ciclismo, com poucos estudos concluindo que essas intensidades não foram diferentes (SMITH E JONES, 2001; KEIR, FONTANA *et al.*, 2015), com a maior parte da literatura indicando diferenças (5 a 16%) entre essas intensidades (JENKINS E QUIGLEY, 1990; PRINGLE E JONES 2002; DEKERLE, BARON *et al.*, 2003; DEKERLE, PELAYO *et al.*, 2005; DENADAI, GOMIDE *et al.*, 2005).

Além disso, quando analisado a variabilidade dos estudos que sugerem similaridade entre as intensidades, um deles apresentou tais medidas apenas na comparação entre o $\dot{V}O_2$ da MFEL e PC (Bias: -0,01 L/min; 95%LoA: 0,44 L/min) e quando comparado na intensidade, essa similaridade não foi verificada (KEIR, FONTANA *et al.*, 2015), o que também foi verificado anteriormente na corrida (Bias: 0,6 km/h; 95%LoA: 2,2 km/h) (SMITH E JONES, 2001). Já o presente estudo verificou diferença média maior ainda entre essas intensidades (Δ : 37,6%) do que os resultados reportados, além disso, as diferenças nas intensidades relativas da MFEL e PC foram maiores (60,9% e 82,8%PP, respectivamente) do que o reportado na literatura, mesmo quando comparado ao estudo que verificou a maior diferença entre as intensidades da MFEL e PC (69,3 e 80,6%PP) (DEKERLE, BARON *et al.*, 2003). Por fim, a melhor estimativa da MFEL foi verificada nos índices da primeira transição fisiológica, somado ao fato de que os índices da segunda transição baseados tanto na [La] quanto nas respostas ventilatórias foram mais próximos da PC. Esses resultados somados aos percentuais em que essas intensidades ocorrem, sugerem que a MFEL e a PC indicam a primeira e segunda transição fisiológica, respectivamente, no remo. Nesse sentido, identifica-se a importância da mensuração das respostas fisiológicas em testes de carga constante abaixo e acima da PC e MFEL em futuras pesquisas para confirmação da teoria, uma vez que, ambas as intensidades apresentam grande importância para a prescrição do treinamento (POOLE, WARD *et al.*, 1990; BILLAT, SIRVENT *et al.*, 2004).

Outro aspecto importante que deve ser levado em consideração é a pausa para coleta de sangue nas cargas de determinação da MFEL, pois, essa intensidade determinada em protocolo intermitente superestimou a MFEL na corrida (DE LUCAS, DITTRICH *et al.*, 2012). Nesse sentido, a diferença entre a MFEL e PC no remo pode ser maior ainda do que a verificada no presente estudo caso a MFEL fosse determinada sem a pausa de 30 s para coleta de sangue no presente estudo. Ainda, o tempo dos desempenhos utilizados como cargas preditivas também podem exercer influência sobre a PC. Pois, Bishop, Jenkins *et al.*, (1998) identificou que a determinação da PC é dependente dos tempos utilizados na predição, verificando que a PC pode ser superestimada quando utilizado testes com duração inferior a 3 minutos. No entanto, os tempos mais longos (> 15 min) também podem exercer influência na determinação da PC, gerando intensidades menores (DEKERLE, PELAYO *et al.*, 2002). Nesse sentido, os testes de 500m e 6000m, que excederam o tempo indicado pela literatura foram utilizados no presente estudo. Porém, o teste mais longo foi utilizado na determinação da PC de apenas quatro remadores, que poderiam indicar uma subestimação da PC nestes atletas. Assim, embora

utilizaram-se critérios objetivos para a determinação da PC a partir dos menores valores de erro na modelagem dessa intensidade, é possível que a diferença observada entre MFEL e PC no presente estudo fosse ainda maior.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que o $\dot{V}O_2\text{max}$, a PP e a intensidade do [HHb]BP não foram dependentes do protocolo dos testes incrementais, porém, com alta variabilidade individual entre [HHb]_{1min} e [HHb]_{3min}. No entanto, o [HHb]BP de ambos os testes incrementais e a MFEL foram menores que a PC. Apesar da MFEL não apresentar diferença média do [HHb]BP_{1min} e [HHb]BP_{3min}, verificou-se grande variabilidade na estimativa da MFEL, com baixas associações com o desempenho. Da mesma forma, nenhum dos 27 métodos utilizados na determinação dos índices fisiológicos a partir das respostas ventilatórias, do lactato sanguíneo e da frequência cardíaca apresentou estimativa válida da MFEL, com as melhores concordâncias verificadas em índices da primeira transição fisiológica. Baseado nisso e na diferença média entre a MFEL e PC, é possível que estes índices representem os limites superiores do domínio pesado e severo, respectivamente. Por fim, não se identificou o [HHb]_{3min} e [HHb]_{1min} como variáveis a serem consideradas no remo, pois, esses índices não refletem as intensidades da MFEL e PC, além de apresentar baixas correlações com os diferentes testes de desempenho.

REFERÊNCIAS

- AKÇA, F. Prediction of rowing ergometer performance from functional anaerobic power, strength and anthropometric components. *Journal of human kinetics*, v. 41, n. 1, p. 133-142, 2014.
- ASTRAND, P. O., SALTIN, B. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *Journal of Applied Physiology*, v. 16, p. 971-977, 1961.
- AUSTIN, K. G.; DAIGLE, K. A.; PATTERSON, P.; COWMAN, J.; CHELLAND, S.; HAYMES, E. M. Reliability of near-infrared spectroscopy for determining muscle oxygen saturation during exercise. *Research quarterly for exercise and sport*, v. 76, n. 4, p. 440-449, 2005.
- BAUDOIN, A., HAWKINS, D. A. biomechanical review of factors affecting rowing performance. *British Journal of Sports Medicine*, v. 36, n. 6, p. 396–402, 2002.
- BELLOTTI, C.; CALABRIA, E.; CAPELLI, C.; POGLIAGHI, S. Determination of maximal lactate steady state in healthy adults: Can NIRS help? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 45, n. 6, p. 1208–1216, 2013.
- BENEKE, R. Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 27, n. 6, p. 863-867, 1995.
- BENEKE R. Methodological aspects of maximal lactate steady state-implications for performance testing. *European Journal of Applied Physiology*, v. 89, n. 1, p. 95-99, 2003.
- BENEKE, R.; HUTLER, M.; VONDUVILLARD, S. P.; SELLENS, M.; LEITHAUSER, R. M. Effect of test interruptions on blood lactate during constant workload testing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 35, n. 9, p. 1626–1630, 2003.
- BENEKE, R.; LEITHÄUSER, R. M.; HÜTLER, M. Dependence of the maximal lactate steady state on the motor pattern of exercise. *British Journal of Sports Medicine*, v. 35, n. 3, p. 192-196, 2001.
- BENEKE, R.; VON DUVILLARD, S. P. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v. 28, n. 2, p. 241-246, 1996.
- BENTLEY, D. J.; NEWELL, J.; BISHOP, D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Medicine*, v. 37, n. 7, p. 575-586, 2007.
- BILLAT, V. L.; DALMAY, F.; ANTONINI, M. T.; CHASSAIN, A. P. A method for determining the maximal steady state of blood lactate concentration from two levels of submaximal exercise. *European Journal of Applied Physiology*, v. 69, n. 3, p. 196–202, 1994.

- BILLAT, V., RENOUX, J. C., PINOTEAU, J., PETIT, B., KORALSZTEIN, J. P. Times to exhaustion at 100% of velocity at VO₂max and modelling of the time-limit/velocity relationship in elite long-distance runners. *European Journal of Applied Physiology*, v. 69, n. 3, p. 271-273, 1994.
- BILLAT, V. L.; SIRVENT, P.; PY, G.; KORALSZTEIN, J. P.; MERCIER, J. The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science. *Sports Medicine*, v. 33, n. 6, p. 407-426, 2003.
- BISHOP, D.; JENKINS, D. G.; HOWARD, A. The critical power function is dependent on the duration of the predictive exercise tests chosen. *International Journal of Sports Medicine*, v. 19, n. 02, p. 125-129, 1998.
- BLACK, M. I.; JONES, A. M.; KELLY, J. A.; BAILEY, S. J.; VANHATALO, A. The constant work rate critical power protocol overestimates ramp incremental exercise performance. *European journal of applied physiology*, v. 116, n. 11-12, p. 2415-2422, 2016.
- BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, v. 8, n. 1, p. 307-310, 1986.
- BOONE, J.; BARSTOW, T. J.; CELIE, B.; PRIEUR, F.; BOURGOIS, J. The interrelationship between muscle oxygenation, muscle activation, and pulmonary oxygen uptake to incremental ramp exercise: influence of aerobic fitness. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, v. 41, n. 1, p. 55-62, 2016.
- BORG, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v. 14, n. 5, p. 377-381, 1982.
- BOURDIN, M., LACOUR, J-R., IMBERT, C., MESSONNIER, L. A. Factors of rowing ergometer performance in high-level female rowers. *International Journal of Sports Medicine*, v. 38, n. 13, p. 1023-1028, 2017.
- BOURDIN, M.; MESSONNIER, L.; HAGER, J. P.; LACOUR, J. R. Peak power output predicts rowing ergometer performance in elite male rowers. *International journal of sports medicine*, v. 25, n. 5, p. 368-373, 2004.
- BOURDON, P. Blood lactate transition thresholds: concepts and controversies. In: Gore CJ. Tanner R, eds. *Physiological Tests for Elite Athletes*. Champaign, IL: Human Kinetics; 2000.
- BOURDON, P. C.; WOOLFORD, S. M.; BUCKLEY, J. D. Effects of varying the step duration on the determination of lactate thresholds in elite rowers. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, v. 13, n. 6, p. 687-693, 2018.
- BOURGOIS, J.; CLAESSENS, A. L.; VRIJENS, J.; PHILIPPAERTS, R.; VAN RENTERGHEM, B.; THOMIS, M.; JANSSENS, M. et al. Anthropometric characteristics of elite male junior rowers. *British journal of sports medicine*, v. 34, n. 3, p. 213-216, 2000.
- BROOKS, G. A. Lactate production under fully aerobic conditions: the lactate shuttle during rest and exercise. In: *Federation proceedings*. 1986. p. 2924-2929.

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

CAEN, K.; VERMEIRE, K.; BOURGOIS, J. G.; BOONE, J. Exercise thresholds on trial: are they really equivalent? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v. 50, n. 6, p. 1277-1284, 2018.

CHENG, C. F.; YANG, Y. S.; LIN, H. M.; LEE, C. L.; WANG, C. Y. Determination of critical power in trained rowers using a three-minute all-out rowing test. *European journal of applied physiology*, v. 112, n. 4, p. 1251-1260, 2012.

CHENIER, D., LEGER, L. Measurement of V_{O2}max in two rowing ergometers and during skiff rowing on the water. *Canadian Journal of Sport Sciences*, v. 16, n. 4, p. 258-263, 1991.

COSGROVE, M. J.; WILSON, J.; WATT, D.; GRANT, S. F. The relationship between selected physiological variables of rowers and rowing performance as determined by a 2000 m ergometer test. *Journal of sports sciences*, v. 17, n. 11, p. 845-852, 1999.

COYLE, E. F. Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, v. 23, n. 1, p. 25-63, 1995.

DEKERLE, J.; BARON, B.; DUPONT, L.; VANVELCENAHHER, J.; PELAYO, P. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. *European journal of applied physiology*, v. 89, n. 3-4, p. 281-288, 2003.

DEKERLE, J.; PELAYO, P.; CLIPET, B.; DEPRETZ, S.; LEFEVRE, T.; SIDNEY, M. Critical swimming speed does not represent the speed at maximal lactate steady state. *International Journal of Sports Medicine*, v. 26, n. 7, p. 524-30, 2005.

DE CAMPOS MELLO, F.; BERTUZZI, R. C. M.; GRANGEIRO, P. M.; FRANCHINI, E. Energy systems contributions in 2,000 m race simulation: a comparison among rowing ergometers and water. *European journal of applied physiology*, v. 107, n. 5, p. 615, 2009.

DE LUCAS R. D.; DITTRICH, N.; JUNIOR, R. B.; DE SOUZA, K. M.; GUGLIELMO, L. G. Is the critical running speed related to the intermittent maximal lactate steady state? *Journal of Sports Science and Medicine*, v. 11, n. 1, p. 89-94, 2012.

DE LUCAS, R. D.; SOUZA, K. M.; COSTA, V. P.; GROSSL, T.; GUGLIELMO, L. G. A. Time to exhaustion at and above critical power in trained cyclists: The relationship between heavy and severe intensity domains. *Science and Sports*, v. 28, n. 1, p. 9-14, 2013.

DENADAI, B. S.; GOMIDE, E. B. G.; GRECO, C. C. The relationship between onset of blood lactate accumulation, critical velocity, and maximal lactate steady state in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, v. 19, n. 2, p. 364, 2005.

ESTEVE-LANAO, J.; FOSTER, C.; SEILER, S.; LUCIA, A. Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, v. 21, n. 3, p. 943-949, 2007.

- FAUDE, O.; KINDERMANN, W.; MEYER, T. Lactate threshold concepts. *Sports medicine*, v. 39, n. 6, p. 469-490, 2009.
- FERREIRA, L. F.; HUEBER, D. M.; BARSTOW, T. J. Effects of assuming constant optical scattering on measurements of muscle oxygenation by nearinfrared spectroscopy during exercise. *Journal of Applied Physiology*, v. 102, n. 1, p. 358-367, 2007.
- FISKERSTRAND, A.; SEILER, K. S. Training and performance characteristics among Norwegian international rowers 1970–2001. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, v. 14, n. 5, p. 303-310, 2004.
- FONTANA, F. Y.; KEIR, D. A.; BELLOTTI, C.; DE ROIA, G. F.; MURIAS, J. M.; POGLIAGHI, S. Determination of respiratory point compensation in healthy adults: Can non-invasive near-infrared spectroscopy help? *Journal of Science and Medicine in Sport*, v. 18, n. 5, p. 590–595, 2015.
- GAESSER, G. A.; CARNEVALE, T. J.; GARFINKEL, A. L. A. N.; WALTER, D. O.; WOMACK, C. J. Estimation of critical power with nonlinear and linear models. *Medicine and science in sports and exercise*, v. 27, n. 10, p. 1430-1438, 1995.
- GORDON, C. C.; CHUMLEA, W. C.; ROCHE, A. F. Stature, recumbent length, and weight. In: LOHMAN, T. C.; ROCHE, A. F., et al (Ed.). *Anthropometric standardization reference manual*. Champaign: Human Kinetics, 1988. p. 117.
- GRASSI, B.; QUARESIMA, V. Near-infrared spectroscopy and skeletal muscle oxidative function in vivo in health and disease: a review from an exercise physiology perspective. *Journal of biomedical optics*, v. 21, n. 9, p. 091313, 2016.
- GRASSI, B.; QUARESIMA, V.; MARCONI, C.; FERRARI, M.; CERRETELLI, P. Blood lactate accumulation and muscle deoxygenation during incremental exercise. *Journal of Applied Physiology*, v. 87, n. 1, p. 348–355, 1999.
- GRECO, C. C.; CARITÁ, R. A. C.; DEKERLE, J.; DENADAI, B. S. Effect of aerobic training status on both maximal lactate steady state and critical power. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, v. 37, n. 4, p. 736-743, 2012.
- GUELLICH, A.; SEILER, S.; EMRICH, E. Training methods and intensity distribution of young world-class rowers. *International journal of sports physiology and performance*, v. 4, n. 4, p. 448-460, 2009.
- HARRISON, G. G.; BUSKIRK, E. R.; CARTER, J. E. L.; JOHNSTON, F. E.; LOHMAN, T. G.; POLLOCK, M. L.; ROCHE, A. F.; WILMORE, J. Skinfold thicknesses and measurement technique. In: LOHMAN, T. C.; ROCHE, A. F., et al (Ed.). *Anthropometric standardization reference manual*. Champaign: Human Kinetics, 1988. p.117.
- HARTMANN, U., MADER, A., WASSER, K., KLAUER, I. Peak force, velocity, and power during five and ten maximal rowing ergometer strokes by world class female and male rowers. *International Journal of Sports Medicine*, v. 14, suppl 1:S42-5, 1993.

- HAWLEY, J. A.; NOAKES, T. D. Peak power output predicts maximal oxygen uptake and performance time in trained cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, v. 65, n. 1, p. 79-83, 1992.
- HILL, D. W.; ALAIN, C.; KENNEDY, M. D. Modeling the relationship between velocity and time to fatigue in rowing. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v. 35, n. 12, p. 2098-2105, 2003.
- HILL, D. W.; POOLE, D. C.; SMITH, J. C. The relationship between power and the time to achieve VO₂max. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 34, n. 4, p. 709-14, 2002.
- HOFFMAN, M. D.; KASSAY, K. M.; ZENI, A. I.; CLIFFORD, P. S. Does the amount of exercising muscle alter the aerobic demand of dynamic exercise?. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, v. 74, n. 6, p. 541-547, 1996.
- HOLLOSZY, J. O.; COYLE E. F. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *Journal of Applied Physiology*, v. 56, n. 4, p. 831-838, 1984.
- HOPKINS, W. G. Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports medicine*, v. 30, n. 1, p. 1-15, 2000.
- HOPKINS, W. G. A new view of statistics. Disponível em: <http://sportsci.org/resource/stats/effectmag.html>. Acesso em: 02 de março de 2020.
- HOPKINS, S. R., MCKENZIE, D. C. The laboratory assessment of endurance performance in cyclists. *Canadian Journal of Applied Physiology*, v. 19, n. 3, p. 266-274, 1994.
- IANNETTA, D.; QAHTANI, A.; MATTIONI MATURANA, F.; MURIAS, J. M. The near-infrared spectroscopy-derived deoxygenated haemoglobin breaking-point is a repeatable measure that demarcates exercise intensity domains. *Journal of Science and Medicine in Sport*, v. 20, n. 9, p. 873–877, 2017.
- INGHAM, S. A.; PRINGLE, J. S.; HARDMAN, S. L.; FUDGE, B. W.; RICHMOND, V. L. Comparison of step-wise and ramp-wise incremental rowing exercise tests and 2000-m rowing ergometer performance. *International journal of sports physiology and performance*, v. 8, n. 2, p. 123-129, 2013.
- INGHAM, S.; WHYTE, G.; JONES, K.; NEVILL, A. Determinants of 2,000 m rowing ergometer performance in elite rowers. *European journal of applied physiology*, v. 88, n. 3, p. 243-246, 2002.
- IZQUIERDO-GABARREN, M.; EXPÓSITO, R. G. T.; DE VILLARREAL, E. S. S.; IZQUIERDO, M. Physiological factors to predict on traditional rowing performance. *European journal of applied physiology*, v. 108, n. 1, p. 83-92, 2010.
- IZQUIERDO, M., HAKKINEN, K., GONZALEZ-BADILLO, J. J., IBANEZ, J., GOROSTIAGA, E. M. Effects of long-term training specificity on maximal strength and

power of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *European Journal of Applied Physiology*, v. 87, n. 3, p. 264–271, 2002.

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

JAMNICK, N. A.; BOTELLA, J.; PYNE, D. B.; BISHOP, D. J. Manipulating graded exercise test variables affects the validity of the lactate threshold and VO₂peak. *PLoS ONE*, v. 13, n. 7, p. e0199794, 2018.

JENKINS, D. G.; QUIGLEY, B. M. Blood lactate in trained cyclists during cycle ergometry at critical power. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, v. 61, n. 3-4, p. 278-283, 1990.

JENSEN-URSTAD, M. A. T. S.; AHLBORG, GUNVOR; SAHLIN, K. E. N. T. High lactate and NH₃ release during arm vs. leg exercise is not due to beta-adrenoceptor stimulation. *Journal of Applied Physiology*, v. 74, n. 6, p. 2860-2867, 1993.

JONES, A. M.; BURNLEY, M.; BLACK, M. I.; POOLE, D. C.; VANHATALO, A. The maximal metabolic steady state: redefining the 'gold standard'. *Physiological reports*, v. 7, n. 10, p. e14098, 2019.

JONES, A. M.; WILKERSON, D. P.; DIMENNA, F.; FULFORD, J.; POOLE, D. C. Muscle metabolic responses to exercise above and below the "critical power" assessed using ³¹P-MRS. *American Journal of Physiology, Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, v. 294, n. 2, p. R585-93, 2008.

JUEL, C.; KRISTIANSEN, S.; PILEGAARD, H.; WOJTASZEWSKI, J.; RICHTER, E. A. Kinetics of lactate transport in sarcolemmal giant vesicles from human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, v. 76, n. 3, p. 1031-1036, 1994.

KAY, D., MARINO, F. E. Fluid ingestion and exercise hyperthermia: implications for performance, thermoregulation, metabolism and the development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, v. 18, n. 2, p. 71-82, 2000.

KEIR, D. A.; FONTANA, F. Y.; ROBERTSON, T. C.; MURIAS, J. M.; PATERSON, D. H.; KOWALCHUK, J. M.; POGLIAGHI, S. Exercise Intensity Thresholds: Identifying the Boundaries of Sustainable Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 47, n. 9, p. 1932–1940, 2015.

KIRKEBERG, J. M.; DALLECK, L. C.; KAMPHOFF, C. S.; PETTITT, R. W. Validity of 3 Protocols for Verifying VO₂max. *International Journal of Sports Medicine*, v. 32, n. 4, p. 266–270, 2011.

KLUSIEWICZ, A. Relationship between the anaerobic threshold and the maximal lactate steady state in male and female rowers. *Biology of sport*, v. 22, n. 2, p. 171-180, 2005.

KRAMER, J. F.; LEGER, A.; PATERSON, D. H.; MORROW, A. Rowing performance and selected descriptive, field, and laboratory variables. *Canadian Journal of Applied Physiology*, v. 19, n. 2, p. 174-184, 1994.

KUIPERS, H.; RIETJENS, G. J. W. M.; VERSTAPPEN, F.; SCHOENMAKERS, H.; HOFMAN, G. Effects of stage duration in incremental running tests on physiological variables. *International journal of sports medicine*, v. 24, n. 7, p. 486-491, 2003.

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

LANGFORT, J.; ZARZECZNY, R.; NAZAR, K.; KACIUBA-USCILKO, H. The effect of low-carbohydrate diet on the pattern of hormonal changes during incremental, graded exercise in young men. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, v. 11, n. 2, p. 248-257, 2001.

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

LUCIA, A.; HOYOS, J. PERES, M.; CHICHARRO, J. L. Heart rate and performance parameters in elite cyclists: a longitudinal study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 32, n. 10, p. 1777-1782, 2000.

MALINA, R. M. Physical activity and training: effects on stature and the adolescent growth spurt. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 26, n. 6, p. 759-66, 1994.

MANCINI, D. Application of near infrared spectroscopy to the evaluation of exercise performance and limitations in patients with heart failure. *Journal of biomedical optics*, v. 2, n. 1, p. 22-31, 1997.

MANCINI, D. M., BOLINGER, L., LI, H., KENDRICK, K., CHANCE, B., WILSON, J. R. Validation of near-infrared spectroscopy in humans. *Journal of Applied Physiology*, v. 77, n. 6, p. 2740-2747, 1994.

MESSOUNNIER, L., FREUND, H., BOURDIN, M., BELLI, A., LACOUR, J-R. Lactate exchange and removal abilities in rowing performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 29, n. 3, p. 396-401, 1997.

MIURA, T.; TAKEUCHI, T.; SATO, H.; NISHIOKA, N.; TERAKADO, S.; FUJIEDA, Y.; IBUKIYAMA, C. Skeletal muscle deoxygenation during exercise assessed by near-infrared spectroscopy and its relation to expired gas analysis parameters. *Japanese circulation journal*, v. 62, n. 9, p. 649-657, 1988.

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

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

MURIAS, J. M.; KEIR, D. A.; SPENCER, M. D.; PATERSON, D. H. Sex-related differences in muscle deoxygenation during ramp incremental exercise. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, v. 189, n. 3, p. 530-536, 2013.

MUTHALIB, M.; MILLET, G. Y.; QUARESIMA, V.; NOSAKA, K. Reliability of near-infrared spectroscopy for measuring biceps brachii oxygenation during sustained and repeated isometric contractions. *Journal of Biomedical Optics*, v. 15, n. 1, p. 017001-17008, 2010.

OGATA, H.; YUNOKI, T.; YANO, T. Effect of arm cranking on the NIRS-determined blood volume and oxygenation of human inactive and exercising vastus lateralis muscle. *European journal of applied physiology*, v. 86, n. 3, p. 191-195, 2002.

MIKULIC, P. Anthropometric and metabolic determinants of 6,000-m rowing ergometer performance in internationally competitive rowers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, v. 23, n. 6, p. 1851-1857, 2009.

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

POOLE, D. C.; WARD, S. A.; WHIPP, B. J. The effects of training on the metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, v. 59, n. 6, p. 421-429, 1990.

POSSAMAI, L. T.; CAMPOS, F. D. S.; SALVADOR, P. C. D. N.; AGUIAR, R. A. D.; GUGLIELMO, L. G. A.; DE LUCAS, R. D.; CAPUTO, F.; TURNES, T. Similar $\dot{V}O_2$ max assessment from a step cycling incremental test and verification tests on the same or different day. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, [Epub ahead of print], 2019.

PRINGLE, J. S.; JONES, A. M. Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling. *European journal of applied physiology*, v. 88, n. 3, p. 214-226, 2002.

RICHER, S. D.; NOLTE, V. W.; BECHARD, D. J.; BELFRY, G. R. Effects of novel supramaximal interval training versus continuous training on performance in preconditioned collegiate, national, and international class rowers. *Journal of strength and conditioning research*, v. 30, n. 6, p. 1752-1762, 2016.

ROBERGS, R. A.; DWYER, D.; ASTORINO, T. Recommendations for improved data processing from expired gas analysis indirect calorimetry. *Sports Medicine*, v. 40, n. 2, p. 95-111, 2010.

RODRIGUEZ, R. J.; ROGRIGUEZ, R. P.; COOK, S. D.; SANDBORN, P. M. Electromyographic analysis of rowing stroke biomechanics. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, v. 30, n. 1, p. 103-108, 1990.

- RYAN, T. E.; ERICKSON, M. L.; BRIZENDINE, J. T.; YOUNG, H. J.; MCCULLY, K. K. Noninvasive evaluation of skeletal muscle mitochondrial capacity with near-infrared spectroscopy: correcting for blood volume changes. *Journal of applied physiology*, v. 113, n. 2, p. 175-183, 2012.
- SABAPATHY, S.; MORRIS, N. R.; SCHNEIDER, D. A. Ventilatory and gas-exchange responses to incremental exercise performed with reduced muscle glycogen content. *Journal of science and medicine in sport*, v. 9, n. 3, p. 267-273, 2006.
- SANNI, A. A.; MCCULLY, K. K. Interpretation of Near-Infrared Spectroscopy (NIRS) Signals in Skeletal Muscle. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, v. 4, n. 2, p. 28, 2019.
- SCHNEIDER, DONALD A.; MCLELLAN, TOM M.; GASS, GREG C. Plasma catecholamine and blood lactate responses to incremental arm and leg exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, v. 32, n. 3, p. 608-613, 2000.
- SHAHARUDIN, S.; AGRAWAL, S. Muscle synergies during incremental rowing VO₂max test of collegiate rowers and untrained subjects. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, v. 56, n. 9, p. 980-989, 2016.
- SHIMODA, M.; KAWAKAMI, Y. Critical power determination with ergometry rowing: relation to rowing performance. *International Journal of Sport and Health Science*, v. 3, p. 21-26, 2005.
- SKLAD, M., KRAWCZYK, B., MAJLE, B. Effects of intense annual training on body components and other somatic traits in young male and female rowers. *Biology of Sport*, v. 10, n. 4, p. 239–243, 1993.
- SMITH, T. B.; HOPKINS, W. G. Measures of rowing performance. *Sports Medicine*, v. 42, n. 4, p. 343-358, 2012.
- SNYDER, A. C.; PARMENTER, M. A. Using near-infrared spectroscopy to determine maximal steady state exercise intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, v. 23, n. 6, p. 1833–1840, 2009.
- SPENCER, M. D.; MURIAS, J. M.; PATERSON, D. H. Characterizing the profile of muscle deoxygenation during ramp incremental exercise in young men. *European Journal of Applied Physiology*, v. 112, n. 9, p. 3349–3360, 2012.
- STARON, R. S.; HAGERMAN, F. C.; HIKIDA, R. S.; MURRAY, T. F.; HOSTLER, D. P.; CRILL, M. T.; RAGG, K. E.; TOMA, K. Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women. *Journal of histochemistry & cytochemistry*, v. 48, n. 5, p. 623-629, 2000.
- SVEDAHL, K.; MACINTOSH, B. R. Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Canadian Journal of Applied Physiology*, v. 28, n. 2, p. 299–323, 2003.

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

SMITH, C. G.; JONES, A. M. The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. *European journal of applied physiology*, v. 85, n. 1-2, p. 19-26, 2001.

TURNES, T.; CRUZ, R. S.; CAPUTO, F.; DE AGUIAR, R. A. The Impact of Preconditioning Strategies Designed to Improve 2000-m Rowing Ergometer Performance in Trained Rowers: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International journal of sports physiology and performance*, v. 14, n. 7, p. 871-879, 2019.

TURNES, T.; DOS SANTOS, R. P.; DE AGUIAR, R. A.; LOCH, T.; POSSAMAI, L. T.; CAPUTO, F. Association Between Deoxygenated Hemoglobin Breaking Point, Anaerobic Threshold, and Rowing Performance. *International journal of sports physiology and performance*, v. 14, n. 8, p. 1103-1109, 2019.

TURNES, T.; POSSAMAI, L. T.; PENTEADO DOS SANTOS, R.; DE AGUIAR, R. A.; RIBEIRO, G.; CAPUTO, F. Mechanical power during an incremental test can be estimated from 2000-m rowing ergometer performance. *The journal of sports medicine and physical fitness*, v. 60, n. 2, p. 214-219, 2020.

TURPIN, N. A.; GUÉVEL, A.; DURAND, S.; HUG, F. No evidence of expertise-related changes in muscle synergies during rowing. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, v. 21, n. 6, p. 1030-1040, 2001.

VANHATALO, A.; DOUST, J. H.; BURNLEY, M. Determination of critical power using a 3-min all-out cycling test. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 39, n. 3, p. 548–555, 2007.

VANHATALO, A.; FULFORD, J.; DIMENNA, F. J.; JONES, A. M. Influence of hyperoxia on muscle metabolic responses and the power–duration relationship during severe- intensity exercise in humans: a ³¹P magnetic resonance spectroscopy study. *Experimental physiology*, 95(4), 528-540, 2010.

VOLIANITIS, S.; KRUSTRUP, P.; DAWSON, E.; SECHER, N. H. Arm blood flow and oxygenation on the transition from arm to combined arm and leg exercise in humans. *The Journal of physiology*, v. 547, n. 2, p. 641-648, 2003.

WILCOX, A. R., BULBULIAN, R. Running economy and race performance of male and female cross-country runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 15, p. 108-113, 1983.

WILSON, J. R., MANCINI, D. M., MCCULLY, K., FERRARO, N., LANOCE, V., CHANCE, B. Noninvasive detection of skeletal muscle underperfusion with near-infrared spectroscopy in patients with heart failure. *Circulation*, v. 80, n. 6, p. 1668–1674, 1989.

WILSON, J. R., MARTIN, J. L., SCHWARTZ, D., FERRARO, N. Exercise intolerance in patients with chronic heart failure: role of impaired nutritive flow to skeletal muscle. *Circulation*, v. 69, n. 6, p. 1079–1087, 1984.

WILSON, J. M. J.; ROBERTSON, D. G.; STOTHART, J. P. Analysis of lower limb muscle function in ergometer rowing. *Journal of Applied Biomechanics*, v. 4, n. 4, p. 315-325, 1988.

YOSHIGA, C. C.; HIGUCHI, M. Rowing performance of female and male rowers. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, v. 13, n. 5, p. 317-321, 2003.

ZHANG, Z.; WANG, B.; GONG, H.; XU, G.; NIOKA, S.; CHANCE, B. Comparisons of muscle oxygenation changes between arm and leg muscles during incremental rowing exercise with near-infrared spectroscopy. *Journal of biomedical optics*, v. 15, n. 1, p. 017007, 2010.