



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Educação e Humanidades

Instituto de Educação Física e Desportos

Allan Inoue Rodrigues

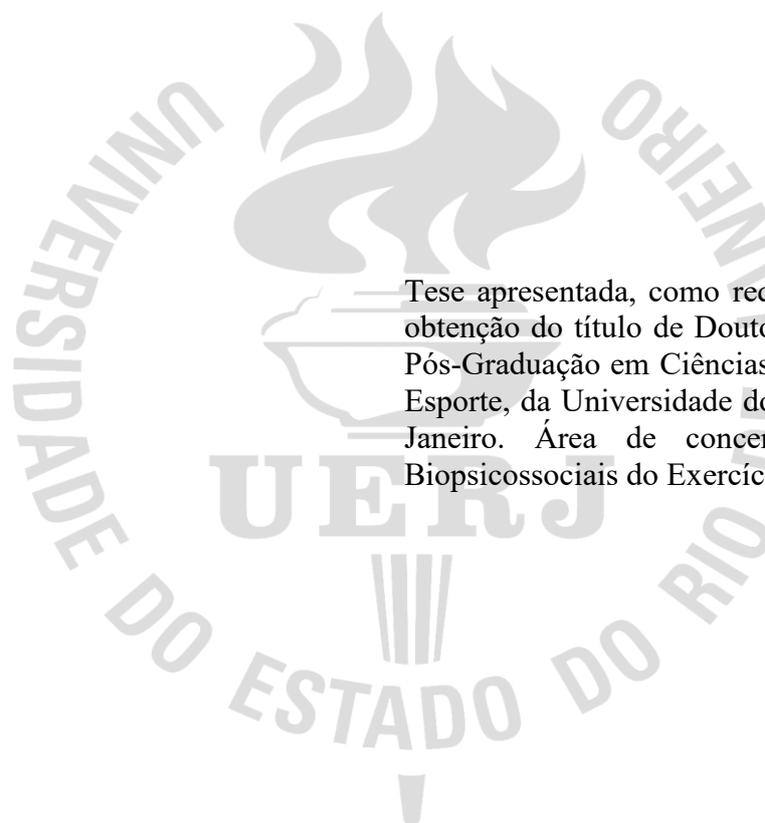
**Durabilidade no Mountain Bike Cross-Country Olímpico: Implicações para
o Desempenho**

Rio de Janeiro

2025

Allan Inoue Rodrigues

**Durabilidade no Mountain Bike Cross-Country Olímpico: Implicações para o
Desempenho**



Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Exercício e do Esporte, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Aspectos Biopsicossociais do Exercício Físico.

Orientador: Prof. Dr. Elírez Bezerra da Silva

Rio de Janeiro

2025

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ/REDE SIRIUS/BIBLIOTECA CEH/B

R696 Rodrigues, Allan Inoue.
Durabilidade no Mountain Bike Cross-Country Olímpico: implicações para o desempenho / Allan Inoue Rodrigues. – 2025.
144 f.: il.

Orientador: Elirez Bezerra da Silva.
Tese (doutorado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Educação Física e Desportos.

1. Exercícios físicos – Medição – Teses. 2. Atletas – Treinamento – Teses. 3. Mountain bikes – Teses. 4. Fadiga – Tese. I. Silva, Elirez Bezerra da. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Instituto de Educação Física e Desportos. III. Título.

CDU 796.015

Bibliotecária: Eliane de Almeida Prata CRB7 4578/94

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Allan Inoue Rodrigues

**Durabilidade no Mountain Bike Cross-Country Olímpico: Implicações para o
Desempenho**

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Exercício e do Esporte, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Aspectos Biopsicossociais do Exercício Físico.

Aprovada em 11 de fevereiro de 2025.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Elirez Bezerra da Silva (Orientador)
Instituto de Educação Física e Desportos - UERJ

Prof. Dr. Everton Crivoi do Carmo
Hospital Israelita Albert Einstein

Prof. Dr. Vitor Pereira Costa
Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Dr. Rodolfo de Alkmim Moreira Nunes
Instituto de Educação Física e Desportos - UERJ

Prof. Dr. Rodrigo Gomes de Souza Vale
Instituto de Educação Física e Desportos - UERJ

Rio de Janeiro

2025

DEDICATÓRIA

Esta tese é dedicada à minha filha, razão do meu esforço diário e fonte de inspiração para ser sempre melhor; aos meus pais, pelo amor incondicional, pelos valores transmitidos e por sempre acreditarem em mim em cada etapa da vida; à modalidade mountain bike, o “melhor esporte do planeta”; e aos atletas e treinadores com quem tenho o prazer de trabalhar. Com todo o meu amor e gratidão, esta conquista é para vocês.

AGRADECIMENTOS

A realização desta tese só foi possível graças ao apoio, dedicação e colaboração de muitas pessoas e instituições, às quais expresso minha mais profunda gratidão.

À Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), por ser a base desta jornada acadêmica e por proporcionar o ambiente necessário para meu crescimento como pesquisador.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Elirez Bezerra da Silva, pela orientação sempre precisa, pelo conhecimento compartilhado e pelo incentivo constante ao longo de todo o processo. Sua experiência e dedicação foram fundamentais para a concretização deste trabalho.

Ao Sanandu Bike Park, em nome de Daniel Hollick, pela generosidade em permitir o uso de suas instalações para a realização desta pesquisa. Sua gentileza foi essencial para a execução dos estudos que compõem esta tese.

Aos 25 atletas participantes, pela dedicação, comprometimento e esforço. Sem vocês, esta tese não teria sido possível.

Ao Isaías de Oliveira Teixeira, pelo suporte técnico e logístico indispensável durante a execução desta tese, sempre com empenho e parceria.

Ao Centro de Educação Física Almirante Adalberto Nunes (CEFAN) e aos integrantes do Laboratório de Pesquisa em Ciências do Exercício e Performance (LABOCE).

Ao Sidia Instituto de Ciência e Tecnologia e aos integrantes do Health Data Lab (HDL), em especial à equipe de saúde, pelo apoio ao longo desta jornada.

Ao Felipe Antunes dos Santos, pelo suporte técnico, cuja ajuda foi muito importante.

Ao James Arnold ([@littlejamesarnold](https://www.instagram.com/littlejamesarnold)), pela criação e doação da figura representativa do MTBiker brasileiro, agregando valor visual e simbólico a esta tese. Sua generosidade e talento merecem todo reconhecimento.

Aos membros da banca, pela disponibilidade, contribuições valiosas e pela oportunidade de debater e aprimorar este trabalho com suas críticas e sugestões construtivas.

À minha família, meu porto seguro em todos os momentos:

À minha mãe, Kana Mirian Inoue Rodrigues, ao meu pai, Carlos Alberto Rodrigues, e aos meus irmãos, Anderson Inoue Rodrigues e William Inoue Rodrigues, pelo carinho, apoio e por estarem sempre ao meu lado nos momentos em que mais precisei.

À minha esposa, Cristianne Magarão Inoue, pela paciência e compreensão nos momentos mais desafiadores e à minha filha, Isabella Magarão Inoue, cuja luz e alegria inspiram meus dias.

Com todo coração, com toda alma, com toda mente e com toda força.

Henrique Avancini

Mountain Bike UCI World Champion

RESUMO

RODRIGUES, Allan Inoue. *Durabilidade no Mountain Bike Cross-Country Olímpico: implicações para o desempenho*. 2025. 144 f. Tese (Doutorado em Ciências do Exercício e do Esporte) – Instituto de Educação Física e Desportos, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

A durabilidade é um fator importante na avaliação de atletas de endurance. Embora o corpo de evidências sobre a durabilidade de ciclistas de estrada profissionais esteja em expansão, há informações limitadas sobre sua relevância para atletas de mountain bike cross-country Olímpico (XCO-MTB). Diante disso, esta tese foi estruturada em três estudos: O estudo 1 teve como objetivo: determinar a repetibilidade teste-reteste de testes intermitentes, do perfil de potência e da relação potência-duração realizados em campo em mountain bikers. Os resultados demonstraram que o coeficiente de correlação intraclasse (CCI) foi excelente para testes intermitentes, esforços > 1 min e trabalho total no teste de perfil de potência. Para esforços ≤ 1 min no teste de perfil de potência, o CCI variou de bom a excelente, enquanto para potência crítica (PC) e W' , variou de moderado a excelente. O TEM% foi de 1,6% a 5,7%, com exceção do W' ($\approx 18\%$). A menor variabilidade foi observada no teste intermitente 30/15 e em esforços > 1 min e no trabalho total do teste de perfil de potência. O estudo 2 teve como objetivos: (i) verificar o efeito do protocolo de fadiga no perfil de potência e (ii) verificar a interação da fadiga e do nível de desempenho no perfil de potência de mountain bikers. Os resultados revelaram que, em todas as durações de esforço (5 s a 10 min) e no trabalho total, os valores de potência foram significativamente menores na condição fatigado em relação à condição “descansado”. Ambos os grupos (alto desempenho, HP e baixo desempenho, LP) apresentaram reduções percentuais de potência, mas o grupo LP mostrou declínio significativamente maior ($\approx 14\%$ a $\approx 20\%$) quando comparado ao grupo HP ($\approx 4\%$ a $\approx 8\%$). No estudo 3, os objetivos foram: (i) verificar se testes intermitentes realizados sob fadiga são melhores preditores do desempenho no XCO-MTB em comparação à condição “descansado”, (ii) verificar se o exercício prolongado prévio reduz a potência de testes intermitentes e (iii) investigar se a capacidade de manter elevada potência em testes intermitentes sob fadiga diferencia o nível competitivo de mountain bikers. Os resultados demonstraram que testes realizados na condição fatigado apresentam maior capacidade preditiva para o desempenho no contrarrelógio individual de XCO-MTB. Especificamente, o teste intermitente 10/20 $W \cdot kg^{-1}$ na condição fatigado explicou 89% da variabilidade do desempenho. Em todos os testes, a potência foi significativamente menor na condição fatigado em comparação a condição “descansado”. Além disso, o grupo LP apresentou uma redução de potência significativamente maior nos testes 30/15, 10/20 e 3/2 após o protocolo de fadiga ($\approx 15\%$ a 20%) em comparação ao grupo HP ($\approx 6\%$ a 10%). Em conclusão, esta tese apresenta evidências de que os testes utilizados possuem excelente repetibilidade, sendo ferramentas úteis para identificar mudanças reais no desempenho. A capacidade de sustentar potência sob fadiga é um indicador relevante do desempenho nesta modalidade esportiva. Testes intermitentes realizados na condição fatigado possuem maior capacidade preditiva para o desempenho no XCO-MTB. Coletivamente, os estudos desta tese fornecem insights para otimizar estratégias de treinamento, identificar talentos e auxiliar o monitoramento de atletas no XCO-MTB.

Palavras-chave: XCO-MTB; predição do desempenho; resistência à fadiga; durabilidade.

ABSTRACT

RODRIGUES, Allan Inoue. *Durability in Olympic Cross-Country Mountain Biking: implications for performance*. 2025. 144 f. Tese (Doutorado em Ciências do Exercício e do Esporte) – Instituto de Educação Física e Desportos, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

Durability is an important factor in the assessment of endurance athletes. Although the body of evidence on the durability of professional road cyclists is growing, there is limited information about its relevance for Olympic cross-country mountain bike (XCO-MTB) athletes. Therefore, this thesis was structured into three studies: The study 1 aimed to: determine the test-retest repeatability of intermittent tests, the power profile, and the power-duration relationship performed in the field in mountain bikers. The results demonstrated that the intraclass correlation coefficient (ICC) was excellent for intermittent tests, efforts >1 min, and total work in the power profile test. For efforts ≤1 min in the power profile test, the ICC ranged from good to excellent, while for critical power (CP) and W', it ranged from moderate to excellent. The typical error of measurement (TEM%) was between 1.6% and 5.7%, except for W' (≈18%). The lowest variability was observed in the 30/15 intermittent test and for efforts >1 min and total work in the power profile test. The study 2 aimed to: (i) verify the effect of the fatigue protocol on the power profile and (ii) examine the interaction between fatigue and performance level on the power profile of mountain bikers. The results revealed that, across all effort durations (5 s to 10 min) and total work, power output values were significantly lower in the fatigued condition compared to the “fresh” condition. Both groups (high performance, HP, and low performance, LP) showed percentage reductions in power output, but the LP group showed a significantly greater decline (≈14% to ≈20%) compared to the HP group (≈4% to ≈8%). The study 3 aimed to: (i) verify whether intermittent tests performed under fatigue are better predictors of XCO-MTB performance compared to the “fresh” condition, (ii) examine whether prior prolonged exercise reduces power output during intermittent tests, and (iii) investigate whether the ability to maintain high power output during intermittent tests under fatigue differentiates the competitive level of mountain bikers. The results showed that tests performed under fatigued condition demonstrated a higher predictive capacity for XCO-MTB time trial performance. Specifically, the 10/20 intermittent test ($W \cdot kg^{-1}$) in the fatigued condition explained 89% of the performance variability. In all tests, power output was significantly lower in the fatigued condition compared to the “fresh” condition. Furthermore, the LP group showed a significantly greater power output reduction in the 30/15, 10/20, and 3/2 tests after the fatigue protocol (≈15% to 20%) compared to the HP group (≈6% to 10%). In conclusion, this thesis provides evidence that the evaluated tests demonstrated high repeatability, making them useful tools for identifying real changes in performance. The ability to sustain power output under fatigue is a relevant indicator of performance in this sport. Intermittent tests performed under fatigued condition have greater predictive capacity for XCO-MTB performance. Collectively, the studies of this thesis provide insights to optimize training strategies, identify talents, and support athlete monitoring in XCO-MTB.

Keywords: XCO-MTB; performance prediction; fatigue resistance; durability.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

10/20	Teste intermitente 10/20
3/2	Teste intermitente 3/2
30/15	Teste intermitente 30/15
[La]	Concentração de lactato após teste incremental máximo
a.u.	Unidades arbitrárias
ANOVA	Análise de Variância
AT	Limiar anaeróbio
ATP	Adenosina trifosfato
BAT	Teste de agilidade na bicicleta
BV	Volume sanguíneo
CB	Circunferência do braço
CCI	Coefficiente de correlação intraclasse
CCI(A,1)	CCI two-way mixed effects, absolute agreement, single rater/measurement
CE	Economia no ciclismo
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
CM	Mudança na média
CMJ	Salto com contramovimento
CP	Critical Power
CRI	Contrarrelógio individual
CS	Critical Speed
CV	Coefficiente de variação
DBBT	Teste de equilíbrio dinâmico na bicicleta
DeltaPP	Diminuição percentual do PP do primeiro ao sexto sprint
DHO	Tempo para completar a trilha técnica de downhill
DJ30	Drop jump de 30 cm
DJ45	Drop jump de 45 cm
Dmáx	Potência no limiar de lactato calculada pelo método Dmáx
DP	Desvio padrão
DPd	Desvio padrão das diferenças
D'	Distância que pode ser percorrida acima da velocidade crítica
EPE	Erro padrão da estimativa

Extrem.	Extremamente
FC	Frequência cardíaca
FTP	Limiar de potência funcional
FV	Teste de força-velocidade
GC	Gordura corporal
GE	Eficiência bruta
GPS	Sistema de Posicionamento Global
H ⁺	Íons de hidrogênio
HGS	Força de preensão manual
HIIT	Treinamento intervalado de alta intensidade
HM	Massa de hemoglobina
HP	Alto desempenho
HR	Heart rate
HS	Meio agachamento
IA	Alta intensidade
IAT	Limiar anaeróbio individual
IC95%	Intervalo de confiança 95%
IF	Índice de fadiga
IM	Intensidade moderada
IMC	Índice de massa corporal
Interp.	Interpretação
IP	Potência intermitente
ISAK	International Society for Advancement of Kinanthropometry
JS40	Potência propulsiva média no agachamento com salto com 40% da MC
JS60	Potência propulsiva média no agachamento com salto com 60% da MC
kJ	Quilojoule
kJ·kg ⁻¹	Quilojoule por quilograma
LoA	Limites de concordância
LP	Baixo desempenho
LT	Limiar de lactato
LV1	Primeiro limiar ventilatório
MC	Massa corporal
MLG	Massa livre de gordura

MM	Massa muscular
MMP	Potência média máxima
Mod.	Moderado
Mod. fatigado	Moderadamente fatigado
MP	Potência média
MPP	Potência propulsiva média
MPRSA	Potência média durante RSA
MSST	Teste de sprint múltiplo
MT	Torque máximo
MTB	Mountain bike
MTBiker	Mountain biker
MVC	Contração voluntária máxima
MVIS	Força isométrica voluntária máxima
n	Número amostral
NP	Potência normalizada
OBLA	Onset of blood lactate accumulation
PC	Potência crítica
PCr	Fosfocreatina
Peq.	Pequeno
pH	Potencial de hidrogênio
Pi	Fosfato inorgânico
PO	Potência
PO2	Concentração fixa de lactato sanguíneo de 2 mmol·L ⁻¹
PO4	Concentração fixa de lactato sanguíneo de 4 mmol·L ⁻¹
PP	Potência de pico
PPO	Potência aeróbia máxima
PPRSA	Potência de pico durante RSA
PSE	Percepção subjetiva de esforço
PT	Categoria ProTeam
PV	Ventilação pulmonar
RFD	Taxa de desenvolvimento da força
RMP	Potência média relativa a massa corporal
rpm	Rotações por minuto

RPP	Potência de pico relativa a massa corporal
RSA	Repeated-sprint ability
RST	Repeated-sprint training
SBBT	Teste de equilíbrio estático na bicicleta
SDMT	Tarefa de tomada de decisão específica para MTB
SITP	Protocolo de teste intervalado de sprint
SJ	Agachamento com salto
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
SRM	Schoberer Rad Meßtechnik
TEM	Erro típico da medida
TMG	Tensiomiografia
Tol	Tolerância
TTE	Tempo até a exaustão
UCI	Union Cycliste Internationale
VC	Velocidade crítica
VIF	Fator de inflação da variância
VT	Limiar ventilatório
$\dot{V}O_2$	Consumo de oxigênio
$\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$	Consumo máximo de oxigênio
$\dot{V}O_{2pico}$	Consumo de oxigênio de pico
W	Watt
W'	Capacidade de trabalho que pode ser realizado acima da potência crítica
Win5	5 x 30 s Wingate
WT	Categoria WorldTour
W·kg ⁻¹	Watts por quilograma
XCM-MTB	Mountain bike cross-country maratona
XCO-MTB	Mountain bike cross-country Olímpico
YT	Teste de equilíbrio em Y

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO DA TESE	13
1	ESTUDO 1 - REPETIBILIDADE DE TESTES INTERMITENTES, DO PERFIL DE POTÊNCIA E DA RELAÇÃO POTÊNCIA-DURAÇÃO EM MOUNTAIN BIKERS	33
2	ESTUDO 2 - PERFIL DE POTÊNCIA EM MOUNTAIN BIKERS: A INFLUÊNCIA DA FADIGA E DO NÍVEL DE DESEMPENHO	57
3	ESTUDO 3 - A INFLUÊNCIA DA DURABILIDADE NA PREDIÇÃO E MANUTENÇÃO DO DESEMPENHO NO MOUNTAIN BIKING CROSS-COUNTRY OLÍMPICO.....	86
	CONCLUSÃO DA TESE	130
	ANEXO A – Termo de consentimento livre e esclarecido	131
	ANEXO B – Parecer consubstanciado do CEP	133
	ANEXO C – Cálculo do tamanho da amostra	138
	ANEXO D – Instrumentos de coleta de dados	139

INTRODUÇÃO DA TESE

O mountain bike (MTB) é uma disciplina de ciclismo off-road, com o cross-country Olímpico (XCO-MTB) sendo a única disciplina incluída no programa Olímpico desde 1996. As provas de XCO-MTB são realizadas em circuitos de 3,5 a 6 km por volta, com duração total entre 80 e 100 min, conforme o regulamento da *Union Cycliste Internationale* (UCI) para MTB (Parte 4, 2025). Esses circuitos exigem uma combinação de habilidades técnicas, que variam de simples a avançadas, estratégias de ritmo eficazes e a capacidade de enfrentar condições ambientais adversas. O XCO-MTB é disputado em ambientes que incluem florestas, estradas de terra e cascalho, trilhas estreitas (single tracks) e trechos com obstáculos naturais ou artificiais [37]. Além disso, as largadas em grupo tornam o posicionamento inicial crucial, especialmente nas aproximações às primeiras seções de single-track, onde o percurso se estreita [27].

Os eventos de XCO-MTB demandam múltiplos esforços de alta potência [11, 28]. O formato dessas competições desafia os atletas a distribuírem a potência de forma otimizada durante a prova [11], desta forma, diversas características fisiológicas são determinantes para o desempenho no mountain bike [13, 28, 42]. Hays et al. [13] descreveram o XCO-MTB como uma modalidade com perfil acíclico e intermitente, semelhante aos esportes coletivos de alta intensidade. Esses autores relataram que 37% do tempo de competição ocorre acima do segundo limiar ventilatório, com uma intensidade média de 87% do consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_{2\text{máx}}$), enquanto 25% é realizado acima da potência aeróbia máxima (PPO). Os períodos de esforço além da PPO geralmente variam entre 5 e 30 s. A natureza intermitente das provas de XCO-MTB exige uma capacidade aeróbia bem desenvolvida para sustentar a alta intensidade, além de uma utilização significativa da potência anaeróbia em momentos decisivos da competição [28]. Por exemplo, foram observadas correlações grandes a muito grandes entre o teste de 5 x Wingate de 30 s, com intervalos de 30 s de recuperação ($r = -0,79$, $P = 0,006$) e o desempenho no XCO-MTB [20]. Esses achados sugerem que a capacidade de realizar esforços intermitentes repetidos pode ser mais determinante para o sucesso no XCO-MTB do que a produção de um único esforço máximo. A Tabela 1 resume as medidas de desfecho, as análises estatísticas utilizadas e os principais resultados dos estudos que investigaram os fatores determinantes para o desempenho no mountain bike.

Tabela 1. Medidas de desfecho, análises estatísticas e resultados dos estudos sobre os determinantes do desempenho no mountain bike.

Estudo	Medidas de desfecho	Análise estatística	Resultados
Ahrend 2016 [1]	IAT, $\dot{V}O_{2\text{pico}}$, teste de força isométrica, PO 10 s, 1 min e 5 min e tempo/potência de competição	Coefficiente de correlação de Pearson	Tempo/potência de competição e IAT ($W \cdot kg^{-1}$) (PO = 0,70; Tempo = -0,74), $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) (PO = 0,85; Tempo = -0,86), PO 1 min ($W \cdot kg^{-1}$) (PO = 0,69; Tempo = -0,68), PO 5 min ($W \cdot kg^{-1}$) (PO = 0,63; Tempo = -0,82), PO 10 s ($W \cdot kg^{-1}$) (PO = 0,20; Tempo = -0,44), força muscular máxima ($N \cdot m \cdot kg^{-1}$) (PO = -0,13; Tempo = -0,24)
Ahrend 2018 [2]	IAT, PPO, PO 10 s, 1 min, 5 min e tempo de competição	Coefficiente de correlação de Pearson e Regressões múltiplas stepwise (<i>Backward</i>)	Todas as variáveis foram correlacionadas com os tempos de competição 1, 2 e 3: PO 10 s ($r = -0,72$; $r = -0,59$; $r = -0,61$, $P < 0,05$), PO 1 min ($r = -0,85$; $r = -0,84$; $r = -0,82$, $P < 0,05$), PO 5 min ($r = -0,57$; $r = -0,85$; $r = -0,76$, $P < 0,05$), PPO ($r = -0,77$; $r = -0,73$; $r = -0,76$, $P < 0,05$) e IAT ($r = -0,71$; $r = -0,67$; $r = -0,68$, $P < 0,05$). Todas as variáveis apresentadas em $W \cdot kg^{-1}$. Os modelos de regressão múltipla com melhor ajuste incluíram PO 1 min, IAT e massa corporal: competição 3 ($r^2 = 0,868$, $P < 0,0001$) e todas as competições ($r^2 = 0,757$, $P < 0,0001$)
Arriel 2020 [3]	PPO, TTE, MC, GC, MLG, IMC	Correlações bivariadas de Pearson ou Kendall	TTE e MC ($r = 0,40$, $P < 0,01$), e MLG ($r = 0,56$, $P < 0,01$). PPO (W) e MC ($r = 0,45$, $P < 0,01$), e MLG ($r = 0,59$, $P < 0,01$) e IMC ($r = 0,35$, $P = 0,03$). PPO ($W \cdot kg^{-1}$) e MC ($r = -0,31$, $P = 0,04$), e GC ($r = -0,55$, $P < 0,01$) e IMC ($r = -0,35$, $P = 0,02$)
Bejder 2019 [4]	MM, CMJ, MVC, RFD, MT, IF, RSA (4 x 30 s separados por 1 min), HM, BV, $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ e tempo de competição	Coefficiente de correlação de Pearson e Regressão linear múltipla (<i>Backward</i>)	98% da variância ($P < 0,001$) no desempenho foi explicada pelo $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$), IF e MT do quadríceps femoral: XCO-MTB = $-0,217 \times \dot{V}O_{2\text{pico}}$ ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) - $0,201 \times IF$ + $0,012 \times MT$ + 85,4. A regressão linear múltipla demonstrou que parâmetros obtidos da RSA de 4 x 30 s explicaram 88% da variância do XCO-MTB ($P < 0,001$): XCO-MTB = $-5,7 \times MP_{\text{RSA}}$ + $5,0 \times PP_{\text{RSA}}$ + 55,9

Buchholtz 2022 [6]	YT, SBBT, DBBT, BAT e DHO	Coefficiente de correlação de Pearson	SBBT ($r = -0,57$, $P = 0,001$), quatro DBBT ($r = -0,51$ a $-0,78$, $P = 0,005$ a $0,0001$), BAT ($r = 0,87$, $P < 0,0001$) e DHO. Sem associações significativas entre os YT e DHO
Costa 2008 [7]	$\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$, PPO, LT1, LT2, índices de Wingate e posição final na classificação	Correlação de Spearman Rank	PPO e copa do mundo de XCO-MTB ($W \cdot kg^{-1}$: ρ (rho) = $-0,88$, $P < 0,05$; $W \cdot kg^{-0,79}$: ρ (rho) = $-0,81$, $P < 0,05$) e campeonato nacional ($W \cdot kg^{-1}$: ρ (rho) = $-0,88$, $P < 0,05$; $W \cdot kg^{-0,79}$: ρ (rho) = $-0,93$, $P < 0,01$). LT2 e copa do mundo de XCO-MTB ($W \cdot kg^{-0,79}$: ρ (rho) = $-0,83$, $P < 0,05$)
do Carmo 2021 [9]	TMG, SJ, CMJ, DJ30, DJ45, MPP, JS40, JS60, HS, MVIS, CE, GE, VT1, VT2, $\dot{V}O_{2pico}$, PPO, Wingate e tempo de competição	Coefficiente de correlação de Pearson e Regressão linear múltipla (<i>Stepwise</i>)	CE ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) ($r = 0,86$, $P < 0,001$), PO VT1 (W) ($r = -0,73$, $P = 0,01$), PO VT2 (W) ($r = -0,94$, $P < 0,001$), $\dot{V}O_{2pico}$ ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) ($r = -0,71$, $P = 0,01$), PPO (W) ($r = -0,91$, $P < 0,001$), PP Wingate ($r = -0,80$, $P < 0,001$), RPP Wingate ($r = -0,70$, $P = 0,01$), MP Wingate ($r = -0,85$, $P < 0,001$) e tempo de competição. TMG ($m \cdot s^{-1}$) (reto femoral, $r = -0,61$, $P = 0,04$ e bíceps femoral, $r = -0,59$, $P = 0,04$), DJ30 (cm) ($r = -0,59$, $P = 0,04$), JS40 (W) ($r = -0,65$, $P = 0,02$), JS60 (W) ($r = -0,62$, $P = 0,03$), MVIS (N) ($r = -0,59$, $P = 0,04$) e tempo de competição. Na regressão linear múltipla, a PO VT2 (W) explicou 87% do desempenho na competição ($P < 0,001$)
Engelbrecht 2018 [10]	PPO, LT2, OBLA, $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ e tempo final de competição (competição por etapas de 8 dias)	Correlação de Spearman Rank	$\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ absoluto e relativo sem correlação com o tempo de competição. LT2 (W) (ρ (rho) = $-0,80$, $P < 0,05$) e OBLA (W) (ρ (rho) = $-0,75$, $P < 0,05$) e o tempo final da competição
Gregory 2007 [12]	PPO, $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$, IAT e velocidade no contrarrelógio de XCO-MTB e tempo de subida no contrarrelógio de XCO-MTB	Coefficiente de correlação de Pearson	Velocidade no contrarrelógio XCO-MTB: PPO (W) ($r = 0,64$, $P < 0,05$), PPO ($W \cdot kg^{-1}$) ($r = 0,93$, $P < 0,05$); $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ ($L \cdot min^{-1}$) ($r = 0,66$, $P < 0,05$), $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) ($r = 0,80$, $P < 0,05$); IAT (W) ($r = 0,50$, $P > 0,05$), IAT ($W \cdot kg^{-1}$) ($r = 0,78$, $P < 0,05$). Tempo de subida no contrarrelógio XCO-MTB: PPO (W) ($r = -0,61$, $P < 0,05$), PPO ($W \cdot kg^{-1}$) ($r = -0,87$, $P < 0,05$); $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ ($L \cdot min^{-1}$) ($r = -0,67$, $P < 0,05$), $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) ($r = -0,72$, $P < 0,05$); IAT (W) ($r = -0,48$, $P > 0,05$), IAT ($W \cdot kg^{-1}$) ($r = -0,75$, $P < 0,05$)

Hays 2021 [14]	$\dot{V}O_{2\text{máx}}$, PPO, VT1, VT2, FV, MSST e classificação de competição (pontos de competição)	Coefficiente de correlação de Pearson e Regressão múltipla (<i>Forward stepwise</i>)	Desempenho no XCO-MTB e PPO ($W \cdot kg^{-1}$) ($r = 0,73$, $P < 0,05$), PPO (W) ($r = 0,78$, $P < 0,05$), VT2 (W) ($r = 0,83$, $P < 0,05$), VT1 (W) ($r = 0,65$, $P < 0,05$), $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) ($r = 0,51$, $P = 0,002$), PP no sexto sprint ($r = 0,87$, $P < 0,05$) do MSST, PP no primeiro sprint ($r = 0,41$, $P = 0,05$) do MSST, DeltaPP ($r = -0,564$, $P = 0,38$), força máxima de pedalada (N) ($r = 0,77$, $P < 0,05$), taxa máxima de pedalada (rpm) ($r = 0,45$, $P = 0,008$), PP ($r = 0,40$, $P < 0,05$). O DeltaPP foi de $30,0\% \pm 12,4\%$. A regressão múltipla revelou que o desempenho no XCO-MTB foi predito em $89,2\%$ ($r = 0,95$; $P < 0,001$; r^2 ajustado = $0,892$) pelo PP no sexto sprint ($\beta = 0,602$; $P < 0,001$), taxa máxima de pedalada (rpm) ($\beta = 0,309$; $P < 0,001$) e PPO ($W \cdot kg^{-1}$) ($\beta = 0,329$; $P < 0,001$). A predição do modelo aumentou de 75% com o único PP no sexto sprint para 82% ao adicionar a taxa máxima de pedalada (rpm) e $89,2\%$ com PPO ($W \cdot kg^{-1}$)
Hebisz 2017 [15]	$\dot{V}O_{2\text{máx}}$ e $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ no SITP	Coefficiente de correlação de Pearson	Tempo de competição simulada e $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ no SITP ($\% \dot{V}O_{2\text{máx}}$) ($r = -0,58$; $P < 0,05$) e $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ no SITP ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) ($r = -0,42$; $P < 0,05$)
Impellizzeri 2005 [16]	$\dot{V}O_{2\text{máx}}$, PPO, PO e $\dot{V}O_2$ no VT1 e VT2 e tempo de competição	Coefficiente de correlação de Pearson	Tempo de competição e $\dot{V}O_2$ no VT2 ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$: $r = -0,66$ e $mL \cdot kg^{-0,79} \cdot min^{-1}$: $r = -0,63$, $P < 0,05$), PO no VT2 ($W \cdot kg^{-1}$: $r = -0,63$ e $W \cdot kg^{-0,79}$: $r = -0,61$, $P < 0,05$). Sem correlação significativa entre VT1, $\dot{V}O_{2\text{máx}}$, PPO (absoluto ou relativo) e desempenho (grupo homogêneo de mountain bikers - diferença entre o tempo do primeiro e último atleta = 6 min)
Impellizzeri 2005 [17]	$\dot{V}O_{2\text{pico}}$, PPO, LT1, LT2 e tempo de competição	Coefficiente de correlação de Pearson e Correlação de Spearman Rank	Tempo de competição vs. valores absolutos: $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ $-0,66$, $P < 0,05$; PPO $-0,71$, $P < 0,01$; LT2 $-0,71$, $P < 0,01$ e LT1 $-0,73$, $P < 0,01$. Tempo de competição vs. valores MC 1: $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ $-0,62$, $P < 0,05$; PPO $-0,76$, $P < 0,01$; LT2 $-0,89$, $P < 0,001$ e LT1 $-0,86$, $P < 0,001$. Tempo de competição vs. valores MC 0,79: $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ $-0,68$, $P < 0,05$; PPO $-0,87$, $P < 0,001$; LT2 $-0,94$, $P < 0,001$ e LT1 $-0,90$, $P < 0,001$. (grupo heterogêneo de mountain bikers - diferença entre o tempo do primeiro e último atleta = ≈ 26 min)

Inoue 2012 [20]	Wingate (PP e MP), 5 x Wingate (PP e MP) e tempo de competição	Coefficiente de correlação de Pearson e Correlação de Spearman Rank	Tempo de competição vs. RPP Win5 ($r = -0,79$, $P = 0,006$) e RMP Win5 ($r = -0,63$, $P = 0,048$)
Inoue 2017 [18]	CP, PPO, $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ e tempo de competição	Coefficiente de correlação de Pearson e Correlação de Spearman Rank	Tempo de competição vs. valores MC 1: CP ($r = -0,64$, $P < 0,01$) e PPO ($r = -0,80$, $P < 0,001$). Tempo de competição vs. valores MC 0,79: CP ($r = -0,67$, $P < 0,01$) e PPO ($r = -0,77$, $P < 0,001$)
Inoue 2022 [19]	CE, GE, e tempo de competição	Coefficiente de correlação de Pearson	Tempo de competição e CE (W·L) ($r = -0,53$, $P = 0,0008$) e GE (%) ($r = -0,67$, $P = 0,0001$). Sem correlação significativa entre $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) e CE (W·L) ($r = -0,45$, $P = 0,08$) ou GE (%) ($r = -0,47$, $P = 0,07$)
Knechtle 2011 [24]	Variáveis de antropometria, treinamento, experiência competitiva e tempo de competição	Correlação de Spearman Rank e Regressão linear múltipla (<i>Forward</i>)	Tempo de competição e IMC (ρ (rho) = 0,29, $P = 0,012$), CB (ρ (rho) = 0,28, $P = 0,016$), \sum_{ub} (ρ (rho) = 0,38, $P = 0,0010$), \sum_{lb} (ρ (rho) = 0,25, $P = 0,0317$), \sum 8 dobras cutâneas (ρ (rho) = 0,36, $P = 0,0017$), %GC (ρ (rho) = 0,41, $P = 0,0003$), total de quilômetros pedalados por ano (ρ (rho) = -0,47, $P < 0,0001$), volume anual em MTB (ρ (rho) = -0,33, $P = 0,0043$) e ciclismo de estrada (ρ (rho) = -0,52, $P < 0,0001$), número de unidades de treinamento por semana (ρ (rho) = -0,48, $P < 0,0001$), distância por unidade no ciclismo de estrada (ρ (rho) = -0,33, $P = 0,0047$), velocidade média durante o treinamento no ciclismo de estrada (ρ (rho) = -0,33, $P = 0,0059$), melhor tempo pessoal no Swiss Bike Masters (ρ (rho) = 0,67, $P < 0,0001$). Análise de regressão linear múltipla: melhor tempo pessoal no Swiss Bike Masters ($P = 0,000$), total anual de quilômetros pedalados ($P = 0,004$) e quilômetros anuais de treinamento no ciclismo de estrada ($P = 0,017$) foram relacionados ao tempo de competição. O R^2 do modelo foi de 62%. Quando o melhor tempo pessoal foi a variável dependente (modelo de regressão separado), o total anual de quilômetros pedalados ($P = 0,002$) foi a única variável preditora

Machado 2002 [29]	LT2, PPO, Wingate (PP, MP, IF) e tempo de subida	Coefficiente de correlação de Pearson e Regressão múltipla (<i>Stepwise</i>)	Melhor tempo de subida e PPO ($W \cdot kg^{-1}$) ($r = -0,73$, $P < 0,05$) e LT2 ($W \cdot kg^{-1}$) ($r = -0,87$, $P < 0,05$) e % gordura corporal ($r = 0,72$, $P < 0,05$) e IF ($r = 0,81$, $P < 0,05$). Sem correlação significativa para Wingate (PP e MP). Regressão múltipla: variáveis que mais contribuíram para a explicação do tempo de subida foram LT2 ($W \cdot kg^{-1}$) ($r = -0,52$) associado ao IF ($r = 0,43$)
Mainardi 2015 [30]	$\dot{V}O_{2máx}$ e tempo de competição real, $\dot{V}O_{2máx}$ e tempo de competição simulada	Coefficiente de correlação de Pearson	Competição simulada e $\dot{V}O_{2máx}$ absoluto: Equações de Hawley e Noakes ($-0,90$, $P < 0,05$), Lamberts ($-0,90$, $P < 0,05$), ACSM-Reserva ($-0,88$, $P < 0,05$) e ACSM-PPO ($-0,91$, $P < 0,05$). Competição simulada e medida direta do $\dot{V}O_{2máx}$ relativo: ($r = 0,10$, IC95% $-0,35$ a $0,51$). Competição real e $\dot{V}O_{2máx}$ relativo: Hawley e Noakes ($-0,77$, $P < 0,05$), Lamberts ($-0,78$, $P < 0,05$), ACSM-Reserva ($-0,77$, $P < 0,05$) e ACSM-PPO ($-0,77$, $P < 0,05$). Competição real e medida direta do $\dot{V}O_{2máx}$ absoluto: ($r = 0,48$, IC95% $0,01$ a $0,78$)
Miller 2014 [34]	FTP, IP e tempo de competição	Modelos de regressão linear	IP ($W \cdot kg^{-1}$) ($r^2 = 0,786$, $P < 0,001$, erro 273,5 s) e FTP ($W \cdot kg^{-1}$) ($r^2 = 0,736$, $P < 0,001$, erro 303,6 s)
Miller 2015 [33]	CP, LT2, W' e tempo na competição	Modelos de regressão linear	CP ($W \cdot kg^{-1}$) ($r^2 = 0,943$, $P = 0,006$, erro 39,4 s), LT2 ($W \cdot kg^{-1}$) ($r^2 = 0,785$, $P = 0,046$, erro 76,3 s), W' (kJ) ($r^2 = 0,477$, $P = 0,197$, erro 118,9 s)
Mirizio 2021 [35]	LT1, LT2, PO2, PO4, D _{máx} , PPO, PO 6 s, PO 30 s, PO 60 s, PO 5 min, PO 10 min, CP, variáveis antropométricas, MVIS, SJ e tempo de competição	Correlação de Spearman Rank, Regressão múltipla (<i>Backward</i> e <i>Forward</i>)	Tempo de competição e PO2 (ρ (rho) = $-0,88$, $P < 0,01$), PO4 (ρ (rho) = $-0,95$, $P < 0,001$), PPO (ρ (rho) = $-0,92$, $P < 0,001$), PO 5 min (ρ (rho) = $-0,67$, $P < 0,05$), PO 10 min (ρ (rho) = $-0,77$, $P < 0,05$), D _{máx} (ρ (rho) = $-0,78$, $P < 0,01$) e CP (ρ (rho) = $-0,68$, $P < 0,05$). Todas as variáveis apresentadas em $W \cdot kg^{-1}$. A análise de regressão múltipla demonstrou que PO2, PO4 e PPO foram capazes de explicar 82% ($P = 0,03$) da variância no tempo total de competição. Sem correlação significativa entre variáveis antropométricas, SJ, MVIS e tempo de competição

Novak 2018 [37]	PPO, $\dot{V}O_{2\text{máx}}$, HGS, SDMT, perfil de potência e tempo no contrarrelógio de XCO-MTB	Regressão linear múltipla	O modelo de regressão com melhor ajuste incluiu $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ relativo à massa total do ciclismo ^(*) , PO 5 s (<i>rolling start</i>) relativo ^(*) , PO 30 s relativo ^(*) , HGS esquerda e SDMT (tempo de resposta para decisões corretas): (R^2 ajustado = 0,92; $P < 0,01$)
Novak 2018 [38]	$\dot{V}O_{2\text{máx}}$, HGS, SDMT, perfil de potência e velocidade média (m·s) de competição (MTB 4 horas)	Regressão linear múltipla	O modelo de regressão com melhor ajuste incluiu $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ relativo à massa total do ciclismo ^(*) , PO 60 s relativo ^(*) , HGS esquerda e SDMT (duas linhas): ($R^2 = 0,99$; $P < 0,01$)
Prins 2007 [41]	PPO, LT2, $\dot{V}O_{2\text{máx}}$, idade, MC, contrarrelógio de 1 km (descansado), contrarrelógio de 1 km (fatigado - após 1 volta (26 min) do protocolo de intensidade fixa variável), contrarrelógio de 1 km (fatigado - após 2 voltas (52 min) do protocolo de intensidade fixa variável)	Coeficiente de correlação de Pearson	Tempo de competição (<i>outdoor</i>): PPO (W) $r = -0,65$, $P > 0,05$, PPO ($W \cdot \text{kg}^{-1}$) $r = -0,83$, $P < 0,05$; LT2 (W) $r = -0,56$, $P > 0,05$, LT2 ($W \cdot \text{kg}^{-1}$) $r = -0,64$, $P > 0,05$; contrarrelógio de 1 km (s) (descansado) $r = 0,29$, $P > 0,05$, contrarrelógio de 1 km (s) (fatigado - após 1 volta) $r = 0,53$, $P > 0,05$, contrarrelógio de 1 km (s) (fatigado - após 2 voltas) $r = 0,59$, $P > 0,05$, idade ($r = 0,12$, $P > 0,05$), MC ($r = 0,07$, $P > 0,05$), $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ absoluto ($r = -0,35$, $P > 0,05$), $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ relativo ($r = -0,59$, $P > 0,05$). Tempo no contrarrelógio (<i>outdoor</i>): PPO (W) $r = -0,66$, $P > 0,05$, PPO ($W \cdot \text{kg}^{-1}$) $r = -0,83$, $P < 0,05$; LT2 (W) $r = -0,67$, $P > 0,05$, LT2 ($W \cdot \text{kg}^{-1}$) $r = -0,74$, $P < 0,05$; contrarrelógio de 1 km (s) (descansado) $r = 0,24$, $P > 0,05$, contrarrelógio de 1 km (s) (fatigado - após 1 volta) $r = 0,25$, $P > 0,05$, contrarrelógio de 1 km (s) (fatigado - após 2 voltas) $r = 0,46$, $P > 0,05$, idade ($r = 0,24$, $P > 0,05$), MC ($r = 0,07$, $P > 0,05$), $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ absoluto ($r = -0,34$, $P > 0,05$), $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ relativo ($r = -0,55$, $P > 0,05$)
Schneeweiss 2019 [45]	IAT, LT2, PPO, PO 10 s, PO 30 s, PO 60 s, PO 300 s e MP da competição simulada	Coeficiente de correlação de Pearson e Regressão múltipla (<i>Forward</i>)	MP da competição e IAT (W) ($r = 0,81$, $P < 0,01$), LT2 (W) ($r = 0,79$, $P < 0,01$), PPO (W) ($r = 0,91$, $P < 0,01$), PO 10 s (W) ($r = 0,75$, $P < 0,01$), PO 30 s (W) ($r = 0,85$, $P < 0,01$), PO 60 s (W) ($r = 0,84$, $P < 0,01$) e PO 300 s (W) ($r = 0,86$, $P < 0,01$). No modelo de regressão, o sexo, MC e PPO explicaram 86% (R^2 ajustado = 0,86; SEE = 17,2) da variância da MP da competição

Sewall 1995 [46]	$\dot{V}O_{2\text{máx}}$, LV1, características de treinamento e tempo de competição	Coefficiente de correlação de Pearson	Sem correlação significativa entre características fisiológicas, de treinamento e tempo de competição
Sorensen 2019 [47]	FTP, $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ e tempo de competição	Coefficiente de correlação de Pearson	FTP ($W \cdot kg^{-1}$) e tempo de competição ($r = -0,74$, $P < 0,01$). Sem correlação significativa entre tempo de competição e $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) ($r = -0,37$, $P > 0,05$) e FTP (W) ($r = -0,29$, $P > 0,05$)
Vaitkevičiūtė 2012 [48]	PO 10 s, Wingate de 30 s, $\dot{V}O_{2\text{máx}}$, PPO, pulso de oxigênio, AT, PV, HR, [La] e tempo de competição	Coefficiente de correlação de Pearson	PO 10 s ($W \cdot kg^{-1}$) ($r = -0,534$, $P < 0,05$), [La] ($r = -0,625$, $P < 0,05$), $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) ($r = -0,024$, $P > 0,05$), Wingate de 30 s ($W \cdot kg^{-1}$) ($r = -0,269$, $P > 0,05$) e tempo de competição

XCO-MTB = mountain bike cross-country Olímpico, MTB = mountain bike, IAT = limiar anaeróbio individual, $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ = consumo máximo de oxigênio, $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ = consumo de oxigênio de pico, $\dot{V}O_2$ = consumo de oxigênio, PO = potência, PPO = potência máxima alcançada em teste incremental máximo, PP = potência de pico, RPP = potência de pico relativa a massa corporal, MP = potência média, RMP = potência média relativa a massa corporal, IF = índice de fadiga, TTE = tempo até a exaustão, MC = massa corporal, GC = gordura corporal, MLG = massa livre de gordura, IMC = índice de massa corporal, MM = massa muscular, rpm = rotações por minuto, CB = circunferência do braço, IC95% = intervalo de confiança 95%, Σ = somatório, Σ_{ub} = somatório das dobras cutâneas da parte superior do corpo, Σ_{lb} = somatório das dobras cutâneas da parte inferior do corpo, CMJ = salto com contramovimento, MVC = contração voluntária máxima, RFD = taxa de desenvolvimento da força, MT = torque máximo, RSA = capacidade de sprint repetido, PP_{RSA} : potência de pico durante RSA, MP_{RSA} : potência média durante RSA, HM = massa de hemoglobina, BV = volume sanguíneo, YT = teste de equilíbrio em Y, SBBT = teste de equilíbrio estático na bicicleta, DBBT = teste de equilíbrio dinâmico na bicicleta, BAT = teste de agilidade na bicicleta, DHO = tempo para completar a trilha técnica de *downhill*, LT1 = limiar de lactato 1, VT1 = limiar ventilatório 1, LT2 = limiar de lactato 2, VT2 = limiar ventilatório 2, PO2 = concentração fixa de lactato sanguíneo de 2 mmol·L, PO4 = concentração fixa de lactato sanguíneo de 4 mmol·L, $D_{\text{máx}}$ = potência no limiar de lactato calculada pelo método $D_{\text{máx}}$, OBLA = início do acúmulo de lactato sanguíneo, CE = economia no ciclismo, GE = eficiência bruta, TMG = tensiomiografia, SJ = agachamento com salto, DJ30 = *drop jump* de 30 cm, DJ45 = *drop jump* de 45 cm, MPP = potência propulsiva média, JS40 = potência propulsiva média no agachamento com salto com 40% do peso corporal, JS60 = potência propulsiva média no agachamento com salto com 60% do peso corporal, HS = meio agachamento, MVIS = força isométrica voluntária máxima, FV = teste de força-velocidade, MSST = teste de sprint múltiplo, DeltaPP = diminuição percentual do PP do primeiro ao sexto sprint, SITP = protocolo de teste intervalado de sprint, CP = potência crítica, W' = capacidade/quantidade de trabalho que pode ser realizado acima da potência crítica, FTP = limiar de potência funcional, IP = potência intermitente, Win5 = 5 x 30 s Wingate, HGS = força de prensão manual, SDMT = tarefa de tomada de decisão específica para MTB, AT = limiar anaeróbio, PV = ventilação pulmonar, HR = frequência cardíaca, [La] = concentração de lactato após teste incremental máximo, (*) = massa corporal incluindo roupas de competição (capacete, sapatilha) e massa da bicicleta.

Fonte: O autor, 2025.

Ao monitorar atletas, é importante selecionar testes adequados às características exigidas pelo esporte, garantindo que sejam específicos, válidos e confiáveis para refletir as demandas energéticas da modalidade [8]. Tradicionalmente, os testes fisiológicos são realizados em laboratório, mas apresentam alto custo e acesso limitado para a maioria dos atletas. Como alternativa, os testes em campo têm se tornado uma opção viável e prática. No ciclismo, é importante destacar que a velocidade não é um bom indicador da intensidade do exercício, pois velocidades reduzidas geralmente estão associadas a subidas, enquanto velocidades máximas ocorrem em descidas íngremes, quando a potência exercida é mínima [5]. Nesse contexto, com os avanços tecnológicos, especialmente o uso amplamente difundido dos potenciômetros, é possível quantificar a intensidade, a carga e o desempenho no ciclismo profissional [44]. Além disso, esses avanços têm gerado inúmeras aplicações práticas, particularmente na elaboração de programas de treinamento, no planejamento nutricional e na avaliação específica do desempenho de cada ciclista em seu próprio contexto. Como consequência, isso favorece a ampliação da validade externa [39]. Uma das métricas utilizadas para avaliar o desempenho em esforços máximos de diferentes durações é a potência média máxima (*maximum mean power*, MMP), que reflete a capacidade máxima de desempenho do ciclista [49, 51]. O teste do perfil de potência foi desenvolvido para quantificar a MMP em diferentes tempos de exposição, que podem variar de segundos a várias horas, dependendo da disciplina praticada pelo ciclista. Este teste fornece uma avaliação abrangente do potencial aeróbio e anaeróbio do atleta [40, 43, 44].

A resistência à fadiga, também chamada de durabilidade ou resiliência fisiológica, pode ser definida como, o momento de início e a magnitude da deterioração nas características do perfil fisiológico ao longo do tempo durante exercícios prolongados. Alternativamente, refere-se à capacidade de atenuar o declínio no desempenho causado pela fadiga durante exercícios prolongados. Em outras palavras, trata-se da habilidade de sustentar altos valores de potência mesmo sob condições de fadiga [21, 32]. Jones [21] relata que as definições de resiliência em dicionários referem-se à capacidade de resistir ao declínio funcional após estressores agudos e/ou crônicos. Quando aplicada ao exercício de endurance, a durabilidade/resiliência pode, portanto, ser entendida como a capacidade de resistir à fadiga e manter o desempenho. Esse conceito tem ganhado destaque como um aspecto central para a compreensão e otimização do desempenho, especialmente em modalidades de endurance, como o ciclismo de estrada. No contexto competitivo do ciclismo de estrada, onde as provas frequentemente se estendem por horas e são caracterizadas por dinâmicas intensas, a durabilidade tem se mostrado um fator

decisivo para o sucesso, com os melhores ciclistas capazes de sustentar os maiores valores de MMP para diferentes durações de esforço [36, 50].

As variáveis fisiológicas tradicionais associadas ao desempenho de endurance não são estáticas, mas dinâmicas, podendo sofrer alterações substanciais durante exercícios prolongados e fatigantes. Essas mudanças apresentam grande variabilidade interindividual em sua magnitude. Por exemplo, a potência crítica (PC) pode diminuir em aproximadamente 10% após 2 horas de exercício de alta intensidade. No entanto, a extensão dessa redução varia amplamente entre os indivíduos, com alterações na PC variando de menos de 1% até 32% [21]. Dessa forma, o desempenho de endurance não depende apenas do estado fisiológico do atleta no início da prova, mas também está relacionado à sua durabilidade em relação às alterações nos índices aeróbios e anaeróbios durante a competição (Figura 1).

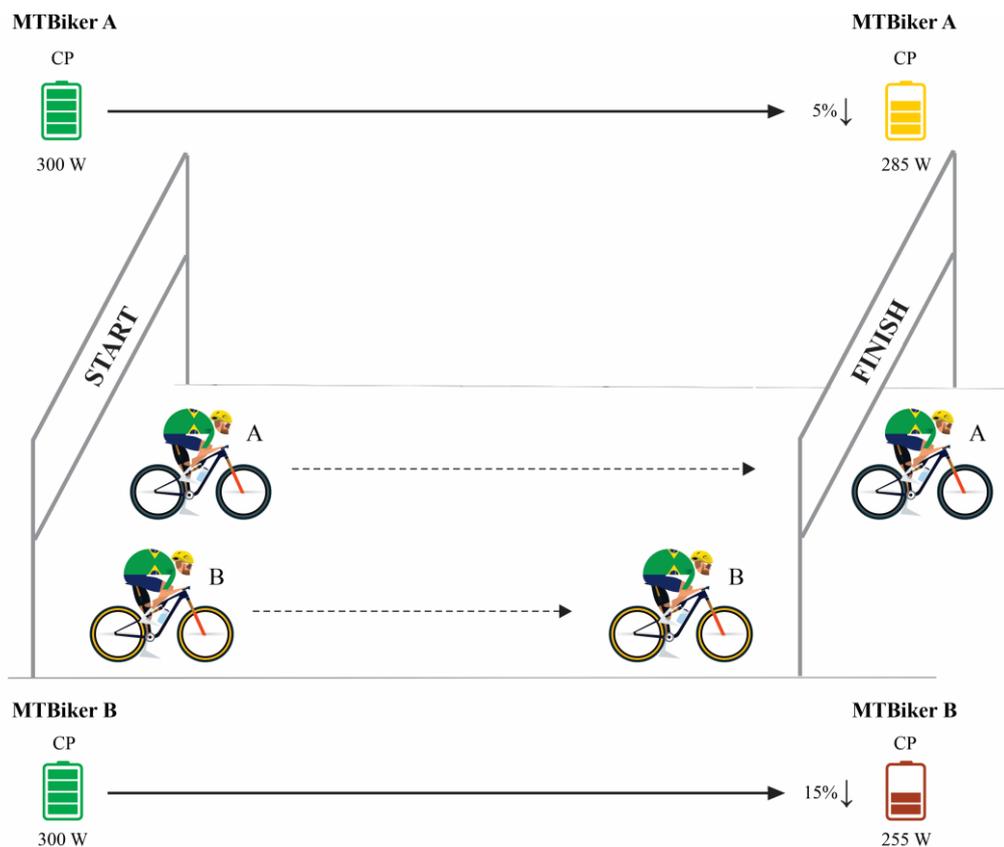


Figura 1. Representação visual do conceito de durabilidade. CP = potência crítica.
Fonte: Adaptado de Andrew M. Jones [21].

Há aproximadamente 34 anos, foi apresentado um modelo dos determinantes fisiológicos do desempenho de endurance. Esse modelo indicava que o desempenho era

determinado pelo $\dot{V}O_{2\text{máx}}$, pelos limiares metabólicos e pela economia/eficiência [22]. Em 2008, após 17 anos, o modelo foi revisado e ampliado para integrar múltiplos fatores fisiológicos que interagem como determinantes do desempenho de endurance [23]. Apesar de sua relevância para o entendimento dos fatores que influenciam o desempenho de endurance, o modelo foi recentemente criticado, destacando-se a necessidade de incluir uma nova variável [21]. O próprio Joyner [22] reconheceu que os conceitos relacionados aos fatores limitantes do desempenho de endurance requerem refinamento adicional. Nesse contexto, foi proposto adicionar o componente de durabilidade (resistência à fadiga) como o quarto parâmetro no modelo clássico de desempenho de endurance de Joyner e Coyle [23] (Figura 2) [21]. Essa inclusão destaca o importante papel da durabilidade na compreensão dos fatores que determinam o desempenho no ciclismo [26].

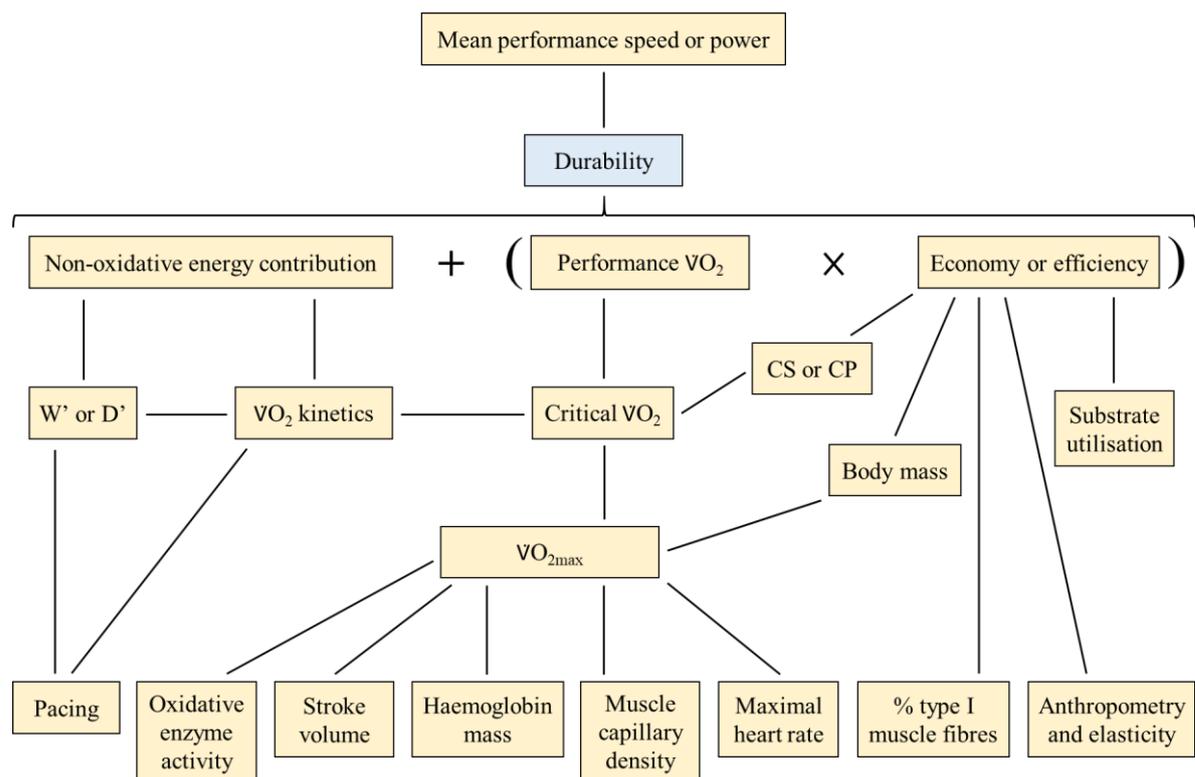


Figura 2. Representação contemporânea dos determinantes fisiológicos do desempenho de endurance. A atualização introduz o termo durabilidade, destacando que as principais variáveis do modelo não são estáticas, mas suscetíveis à deterioração ao longo do exercício. Portanto, a velocidade ou potência que pode ser sustentada durante o exercício de endurance é influenciada diretamente pela durabilidade. $\dot{V}O_2$ = consumo de oxigênio, $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ = consumo máximo de oxigênio, CS = velocidade crítica, CP = potência crítica, W' = capacidade/quantidade de trabalho que pode ser realizado acima da potência crítica, D' = distância que pode ser percorrida acima da velocidade crítica.

Fonte: Adaptado de Andrew M. Jones [21].

Em estudo recente, Leo et al. [25] investigaram o impacto da intensidade do trabalho acumulado prévio no declínio da potência em ciclistas de estrada de elite/nível internacional, comparando os efeitos de um exercício contínuo de intensidade moderada (IM) com um exercício intermitente de alta intensidade (IA). Nove ciclistas realizaram um teste de campo de 12 min na condição “descansado” durante dois *training camps* consecutivos. Os participantes completaram, em ordem aleatória, uma sessão de IM de 150 min ou uma sessão intermitente de IA de 150 min. Após cada sessão, realizaram um teste de campo de 12 min (12 min em fadiga). Os resultados mostraram que a potência absoluta e relativa no teste de 12 min na condição “descansado” não foi significativamente diferente entre os *training camps* ($P > 0,05$). No entanto, a potência no teste de 12 min realizado após a sessão de IA foi significativamente menor em comparação com a potência obtida após a sessão de IM ($P = 0,014$). Esses achados indicam que o declínio na potência é maior após IA do que após IM.

Nessa mesma linha de investigação, Mateo-March et al. [31] avaliaram os efeitos de diferentes graus de fadiga acumulada no melhor valor de potência de ciclistas profissionais, e investigaram se a capacidade de sustentar esse melhor valor de potência em fadiga poderia ser um indicador do nível competitivo. O estudo analisou o perfil de potência em esforços com duração de 10 s a 120 min, tanto em condições sem fadiga (após $0 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) quanto sob níveis crescentes de fadiga (após 15, 25, 35 e $45 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$). A amostra incluiu 112 ciclistas profissionais ($n = 66$ da categoria ProTeam (PT) e $n = 46$ da categoria WorldTour (WT)) durante oito temporadas. Os resultados revelaram uma deterioração significativa ($P < 0,001$) e progressiva em todos os valores de MMP, com declínios variando de $-1,6\%$ a $-3,0\%$ após $15 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ e de $-6,0\%$ a $-9,7\%$ após $45 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Comparados aos ciclistas WT, os ciclistas PT apresentaram quedas maiores nos valores de MMP sob condições de fadiga ($P < 0,001$). No entanto, não foram observadas diferenças significativas entre ciclistas WT e PT nos valores de MMP avaliados em condições sem fadiga (após $0 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$). Os achados reforçam a importância de considerar a influência da fadiga ao avaliar o perfil fisiológico de atletas de endurance, uma vez que, os valores de MMP demonstraram reduções significativas e progressivas após $15 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($\approx 1000 \text{ kJ}$, equivalente, por exemplo, a 1 hora de pedalada a 280 W ou 90 min a 190 W). Assim, prescrever cargas de treinamento com base em valores de MMP obtidos em condições de repouso pode levar à sobrecarga em condições de fadiga. Adicionalmente, avaliações realizadas em condições de repouso podem ser indicadores menos precisos do desempenho em comparação com aquelas realizadas sob fadiga. Em complemento, a capacidade de atenuar o declínio induzido pela fadiga nos valores de MMP é um fator determinante do desempenho no

ciclismo. No entanto, é importante destacar que a maioria dos métodos disponíveis para avaliar atletas de endurance não considera adequadamente a influência da fadiga [32].

Como destacado nesta breve introdução, as demandas fisiológicas das competições de XCO-MTB possuem características únicas, enquanto os testes fisiológicos são tradicionalmente realizados em laboratório e sob condições de repouso. Além disso, o que diferencia os melhores atletas de endurance dos demais não é apenas o valor das principais variáveis fisiológicas no início da competição, mas também da capacidade de mantê-las após horas de exercício exaustivo. Até o momento, não existe consenso sobre como avaliar, de maneira padronizada, as características únicas do XCO-MTB e a durabilidade em testes de campo. Nesse sentido, pesquisas direcionadas são necessárias para aprofundar a compreensão sobre a durabilidade, com importantes implicações tanto para a avaliação fisiológica de atletas, em estado “descansado” e sob fadiga, quanto para a predição de desempenho. Portanto, torna-se importante desenvolver estudos que avancem o conhecimento sobre a durabilidade no XCO-MTB.

Overview

Esta tese de doutorado é composta por três estudos que exploraram a relação e a interação entre a durabilidade e o nível de desempenho de atletas de mountain bike cross-country Olímpico, além de analisar a repetibilidade de testes realizados em campo. A estrutura da tese segue o formato de artigos científicos em sua versão final, visando à publicação em periódicos de relevância na área. Os potenciais periódicos para submissão incluem: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *European Journal of Sport Science*, *Journal of Sports Sciences*, *International Journal of Sports Medicine* e *Journal of Sports Science and Medicine*.

Justificativas

As justificativas para esta tese de doutorado estão listadas abaixo:

Estudo 1: Apesar de sua aplicabilidade prática, a repetibilidade, isto é, a variação observada em medidas ou testes repetidos realizados no mesmo sujeito, sob condições semelhantes e utilizando o mesmo dispositivo de testes intermitentes, do perfil de potência e da relação potência-duração através de sessões de testes específicos em campo com atletas de XCO-MTB permanece pouco explorada. Determinar a repetibilidade teste-reteste é importante para assegurar a precisão das medidas e identificar mudanças reais no desempenho de mountain bikers. Os resultados deste estudo poderão fornecer um embasamento científico sólido para

respaldar a utilização dessas ferramentas no monitoramento do treinamento e na avaliação do impacto de intervenções dietéticas e de treinamento, contribuindo para o avanço da ciência do esporte e para a prática profissional.

Estudo 2: O declínio na potência é reconhecido como um marcador importante da durabilidade no ciclismo, o que torna pertinente investigar o desempenho de atletas de XCO-MTB sob condições de fadiga. Avaliar o desempenho de mountain bikers em estado fatigado pode ser particularmente relevante, pois, assim como ciclistas de estrada profissionais, atletas de XCO-MTB que almejam sucesso em competições precisam não apenas gerar altas potências em estado “descansado”, mas também sustentar o desempenho mesmo após o acúmulo de fadiga. Estudar a interação entre durabilidade e nível de desempenho no XCO-MTB pode fornecer informações valiosas para diferenciar atletas de alto desempenho daqueles de menor desempenho e orientar treinadores e preparadores físicos na prescrição de treinamentos mais específicos para o desenvolvimento da durabilidade. No entanto, ainda existem lacunas no entendimento sobre como a durabilidade no perfil de potência pode ser utilizada como indicador do nível competitivo de atletas de XCO-MTB. Este estudo busca preencher essas lacunas, fornecendo insights sobre o impacto da fadiga no perfil de potência de mountain bikers e sua interação com diferentes níveis de desempenho.

Estudo 3: Ainda não está claro se testes realizados na condição fatigado possuem maior poder preditivo em comparação aos testes realizados na condição “descansado”, nem se a capacidade de sustentar maiores valores de potência em testes intermitentes sob condições de fadiga (durabilidade) pode ser considerada um indicador do nível competitivo de atletas de XCO-MTB. Nesse sentido, a avaliação de atletas através de testes intermitentes em condições de fadiga pode fornecer informações importantes para ampliar a compreensão sobre os determinantes do desempenho no XCO-MTB, identificar talentos e nortear a prescrição de treinamentos mais alinhados às demandas reais de competição. O enfoque em testes intermitentes sob diferentes condições fisiológicas (“descansado” e fatigado) é inovador, oferecendo uma perspectiva única sobre as diferenças entre atletas de alto e baixo desempenho. Isso pode contribuir para a otimização da preparação física de atletas dessa modalidade esportiva.

Perguntas de pesquisa

As perguntas de pesquisa para esta tese de doutorado são as seguintes:

Estudo 1: os testes intermitentes, o perfil de potência e a relação potência-duração apresentam repetibilidade suficiente para avaliar mudanças resultantes de intervenções dietéticas e de treinamento em mountain bikers?

Estudo 2: (i) qual é o efeito do protocolo de fadiga sobre o perfil de potência de mountain bikers? e (ii) a durabilidade no perfil de potência será capaz de discriminar o nível competitivo de mountain bikers?

Estudo 3: (i) testes intermitentes realizados na condição fatigado são melhores preditores do desempenho no XCO-MTB em comparação com os mesmos testes realizados na condição “descansado”?, (ii) o exercício prolongado prévio (protocolo de fadiga) reduz a potência de testes intermitentes? e (iii) a capacidade de manter valores mais elevados de potência em testes intermitentes sob condição de fadiga (durabilidade) pode diferenciar o nível competitivo de mountain bikers?

Objetivos da tese

A seguir, são apresentados os objetivos desta tese de doutorado:

Estudo 1: determinar a repetibilidade teste-reteste de testes intermitentes, do perfil de potência e da relação potência-duração realizados em campo em mountain bikers.

Estudo 2: (i) verificar o efeito do protocolo de fadiga no perfil de potência e (ii) verificar a interação da fadiga e do nível de desempenho no perfil de potência de mountain bikers.

Estudo 3: (i) verificar se testes intermitentes realizados na condição fatigado são melhores preditores do desempenho no XCO-MTB em comparação com os mesmos testes realizados na condição “descansado”, (ii) verificar se o exercício prolongado prévio (protocolo de fadiga) reduz a potência de testes intermitentes e (iii) investigar se a capacidade de manter valores mais elevados de potência em testes intermitentes sob condição de fadiga (durabilidade) pode diferenciar o nível competitivo de mountain bikers.

Hipóteses de pesquisa

As hipóteses de pesquisa testadas nos três estudos realizados para esta tese de doutorado são as seguintes:

Estudo 1: os testes intermitentes, o perfil de potência e a relação potência-duração serão repetíveis e poderão ser utilizados para examinar os efeitos de intervenções dietéticas e de treinamento.

Estudo 2: (i) haverá uma redução da potência no perfil de potência após protocolo de fadiga e (ii) a capacidade de sustentar melhor os valores de potência sob fadiga no perfil de potência será um indicador capaz de discriminar o nível competitivo de mountain bikers.

Estudo 3: (i) testes intermitentes na condição de fadiga apresentarão melhor predição do desempenho no XCO-MTB em comparação aos mesmos testes na condição “descansado”, (ii) haverá uma redução na potência dos testes intermitentes após exercício prolongado prévio (protocolo de fadiga) e (iii) a capacidade de manter valores mais elevados de potência em testes intermitentes sob condição de fadiga (durabilidade) será superior em mountain bikers de maior desempenho em comparação aos de menor desempenho.

REFERÊNCIAS

1. AHREND, M.; SCHNEEWEISS, P.; THEOBALD, U.; NIESS, A. M. *et al.* Comparison of laboratory parameters of a mountain bike specific performance test and a simulated race performance in the field. **Journal of Science and Cycling**, 5, n. 1, p. 3-9, 2016.
2. AHREND, M. D.; SCHNEEWEISS, P.; MARTUS, P.; NIESS, A. M. *et al.* Predictive ability of a comprehensive incremental test in mountain bike marathon. **BMJ Open Sport & Exercise Medicine**, 4, n. 1, p. e000293, 2018.
3. ARRIEL, R. A.; GRAUDO, J. A.; OLIVEIRA, J. L. D.; RIBEIRO, G. G. S. *et al.* The relative peak power output of amateur mountain bikers is inversely correlated with body fat but not with fat-free mass **Motriz. The Journal of Physical Education**, 26, n. 3, p. e10200034, 2020.
4. BEJDER, J.; BONNE, T. C.; NYBERG, M.; SJOBERG, K. A. *et al.* Physiological determinants of elite mountain bike cross-country Olympic performance. **Journal of Sports Sciences**, 37, n. 10, p. 1154-1161, May 2019.
5. BROKER, J. P. Cycling power: road and mountain. *In*: BURKE, E. R. (Ed.). **High-Tech Cycling** Champaign, IL: Human Kinetics, 2003. p. 147-174.
6. BUCHHOLTZ, K.; LAMBERT, M.; BURGESS, T. L. The ecological validity of traditional standing and novel bicycle balance and agility tests for predicting performance in mountain bikers. **Sports Medicine and Health Science**, 4, n. 4, p. 287-292, Dec 2022.
7. COSTA, V. P.; DE OLIVEIRA, F. Physiological variables to predict performance in cross-country mountain bike races. **Journal of Exercise Physiology Online**, 11, n. 6, p. 14-24, 2008.
8. CURRELL, K.; JEUKENDRUP, A. E. Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. **Sports Medicine**, 38, n. 4, p. 297-316, 2008.

9. DO CARMO, E. C.; BARROSO, R.; DO PRADO, D. M. L.; INOUE, A. *et al.* The laboratory-assessed performance predictors of elite cross-country marathon mountain bikers. **Kinesiology**, 53, n. 2, p. 257-265, 2021.
10. ENGELBRECHT, L.; TERBLANCHE, E. Physiological performance predictors in mountain bike multi-stage races. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, 58, n. 7-8, p. 951-956, Jul-Aug 2018.
11. GRANIER, C.; ABBISS, C. R.; AUBRY, A.; VAUCHEZ, Y. *et al.* Power Output and Pacing During International Cross-Country Mountain Bike Cycling. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 13, n. 9, p. 1243-1249, Oct 1 2018.
12. GREGORY, J.; JOHNS, D. P.; WALLS, J. T. Relative vs. absolute physiological measures as predictors of mountain bike cross-country race performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, 21, n. 1, p. 17-22, Feb 2007.
13. HAYS, A.; DEVYS, S.; BERTIN, D.; MARQUET, L. A. *et al.* Understanding the Physiological Requirements of the Mountain Bike Cross-Country Olympic Race Format. **Frontiers in Physiology**, 9, p. 1062, 2018.
14. HAYS, A.; NICOL, C.; BERTIN, D.; HARDOUIN, R. *et al.* Physiological and Mechanical Indices Serving the New Cross-Country Olympic Mountain Bike Performance. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 16, n. 7, p. 1008-1013, Jul 1 2021.
15. HEBISZ, R.; HEBISZ, P.; ZATON, M.; MICHALIK, K. Peak oxygen uptake in a sprint interval testing protocol vs. maximal oxygen uptake in an incremental testing protocol and their relationship with cross-country mountain biking performance. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, 42, n. 4, p. 371-376, Apr 2017.
16. IMPELLIZZERI, F. M.; MARCORÀ, S. M.; RAMPININI, E.; MOGNONI, P. *et al.* Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. **British Journal of Sports Medicine**, 39, n. 10, p. 747-751, Oct 2005.
17. IMPELLIZZERI, F. M.; RAMPININI, E.; SASSI, A.; MOGNONI, P. *et al.* Physiological correlates to off-road cycling performance. **Journal of Sports Sciences**, 23, n. 1, p. 41-47, Jan 2005.
18. INOUE, A.; GRECO, C. C.; POMPEU, F. A.; DESLANDES, A. C. *et al.* Predictive validity of critical power for mountain bike cross-country race performance. **Gazzetta Medica Italiana Archivio per le Scienze Mediche**, 176, n. 1-2, p. 10-15, 2017.
19. INOUE, A.; LATTARI, E.; DO CARMO, E. C.; RODRIGUES, G. M. *et al.* Correlation between economy/efficiency and mountain biking cross-country race performance. **European Journal of Sport Science**, 22, n. 11, p. 1641-1648, Nov 2022.
20. INOUE, A.; SA FILHO, A. S.; MELLO, F. C.; SANTOS, T. M. Relationship between anaerobic cycling tests and mountain bike cross-country performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, 26, n. 6, p. 1589-1593, Jun 2012.

21. JONES, A. M. The fourth dimension: physiological resilience as an independent determinant of endurance exercise performance. **Journal of Physiology**, 602, n. 17, p. 4113-4128, Sep 2024.
22. JOYNER, M. J. Modeling: optimal marathon performance on the basis of physiological factors. **Journal of Applied Physiology**, 70, n. 2, p. 683-687, Feb 1991.
23. JOYNER, M. J.; COYLE, E. F. Endurance exercise performance: the physiology of champions. **Journal of Physiology**, 586, n. 1, p. 35-44, Jan 1 2008.
24. KNECHTLE, B.; KNECHTLE, P.; ROSEMANN, T.; SENN, O. Personal best time and training volume, not anthropometry, is related to race performance in the 'Swiss Bike Masters' mountain bike ultramarathon. **Journal of Strength and Conditioning Research**, 25, n. 5, p. 1312-1317, May 2011.
25. LEO, P.; GIORGI, A.; SPRAGG, J.; GONZALEZ, B. M. *et al.* Impact of prior accumulated work and intensity on power output in elite/international level road cyclists—a pilot study. **German Journal of Exercise and Sport Research**, 2022.
26. LEO, P.; SPRAGG, J.; MUJIKKA, I. Power Profiling in Professional Road Cycling – the past, the present and the future. **Journal of Science and Cycling**, 10, n. 1, p. 1-3, 2021.
27. MACDERMID, P. W.; MORTON, R. H. A longitudinal analysis of start position and the outcome of World Cup cross-country mountain bike racing. **Journal of Sports Sciences**, 30, n. 2, p. 175-182, 2012.
28. MACDERMID, P. W.; STANNARD, S. Mechanical work and physiological responses to simulated cross country mountain bike racing. **Journal of Sports Sciences**, 30, n. 14, p. 1491-1501, 2012.
29. MACHADO, C. E. P.; CAPUTO, F.; LUCAS, R. D.; DENADAI, B. S. Physiological and anthropometrical factors associated with uphill off-road cycling performance. **Brazilian Journal of Science and Movement**, 10, p. 35-40, 2002.
30. MAINARDI, F.; INOUE, A.; POMPEU, F. A.; SANTOS, T. M. Predictive validity of VO₂max measurement and estimates in Mountain Bikers' performance. **Brazilian Journal of Sports Medicine**, 21, n. 1, p. 44-48, 2015.
31. MATEO-MARCH, M.; VALENZUELA, P. L.; MURIEL, X.; GANDIA-SORIANO, A. *et al.* The Record Power Profile of Male Professional Cyclists: Fatigue Matters. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 17, n. 6, p. 926-931, Jun 1 2022.
32. MAUNDER, E.; SEILER, S.; MILDENHALL, M. J.; KILDING, A. E. *et al.* The Importance of 'Durability' in the Physiological Profiling of Endurance Athletes. **Sports Medicine**, 51, n. 8, p. 1619-1628, Aug 2021.
33. MILLER, M. C.; MACDERMID, P. W. Predictive validity of critical power, the onset of blood lactate and anaerobic capacity for cross-country mountain bike race performance. **Sports and Exercise Medicine Open Journal**, 1, n. 4, p. 105-110, 2015.

34. MILLER, M. C.; MOIR, G. L.; STANNARD, S. R. Validity of using functional threshold power and intermittent power to predict cross-country mountain bike race outcome. **Journal of Science and Cycling**, 3, n. 1, p. 16-20, 2014.
35. MIRIZIO, G. G.; MUNOZ, R.; MUNOZ, L.; AHUMADA, F. *et al.* Race Performance Prediction from the Physiological Profile in National Level Youth Cross-Country Cyclists. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, 18, n. 11, May 21 2021.
36. MURIEL, X.; MATEO-MARCH, M.; VALENZUELA, P. L.; ZABALA, M. *et al.* Durability and repeatability of professional cyclists during a Grand Tour. **European Journal of Sport Science**, 22, n. 12, p. 1797-1804, Dec 2022.
37. NOVAK, A. R.; BENNETT, K. J. M.; FRANSEN, J.; DASCOMBE, B. J. A multidimensional approach to performance prediction in Olympic distance cross-country mountain bikers. **Journal of Sports Sciences**, 36, n. 1, p. 71-78, Jan 2018.
38. NOVAK, A. R.; BENNETT, K. J. M.; FRANSEN, J.; DASCOMBE, B. J. Predictors of performance in a 4-h mountain-bike race. **Journal of Sports Sciences**, 36, n. 4, p. 462-468, Feb 2018.
39. PASSFIELD, L.; HOPKER, J. G.; JOBSON, S.; FRIEL, D. *et al.* Knowledge is power: Issues of measuring training and performance in cycling. **Journal of Sports Sciences**, 35, n. 14, p. 1426-1434, Jul 2017.
40. PINOT, J.; GRAPPE, F. The record power profile to assess performance in elite cyclists. **International Journal of Sports Medicine**, 32, n. 11, p. 839-844, Nov 2011.
41. PRINS, L.; TERBLANCHE, E.; MYBURGH, K. H. Field and laboratory correlates of performance in competitive cross-country mountain bikers. **Journal of Sports Sciences**, 25, n. 8, p. 927-935, Jun 2007.
42. PRINZ, B.; SIMON, D.; TSCHAN, H.; NIMMERICHTER, A. Aerobic and Anaerobic Power Distribution During Cross-Country Mountain Bike Racing. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 16, n. 11, p. 1610-1615, Nov 1 2021.
43. QUOD, M. J.; MARTIN, D. T.; MARTIN, J. C.; LAURSEN, P. B. The power profile predicts road cycling MMP. **International Journal of Sports Medicine**, 31, n. 6, p. 397-401, Jun 2010.
44. SANDERS, D.; VAN ERP, T. The Physical Demands and Power Profile of Professional Men's Cycling Races: An Updated Review. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 16, n. 1, p. 3-12, Jan 1 2021.
45. SCHNEEWEISS, P.; SCHELLHORN, P.; HAIGIS, D.; NIESS, A. *et al.* Predictive Ability of a Laboratory Performance Test in Mountain Bike Cross-country Olympic Athletes. **International Journal of Sports Medicine**, 40, n. 6, p. 397-403, May 2019.

46. SEWALL, K. A.; FERNHALL, B. Physiological characteristics and their relationship to performance in off-road cycling. **Sports Medicine, Training and Rehabilitation: An International Journal**, 6, n. 2, p. 89-95, 1995.
47. SORENSEN, A.; AUNE, T. K.; RANGUL, V.; DALEN, T. The Validity of Functional Threshold Power and Maximal Oxygen Uptake for Cycling Performance in Moderately Trained Cyclists. **Sports (Basel)**, 7, n. 10, Oct 1 2019.
48. VAITKEVIČIŪTĒ, D.; MILAŠIUS, K. Physiological Correlates of Cycling Performance in Amateur Mountain Bikers. **Baltic Journal of Sport and Health Sciences**, 2, n. 85, p. 90-95, 2012.
49. VAN ERP, T.; HOOZEMANS, M.; FOSTER, C.; JJ, D. E. K. Case Report: Load, Intensity, and Performance Characteristics in Multiple Grand Tours. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 52, n. 4, p. 868-875, Apr 2020.
50. VAN ERP, T.; SANDERS, D.; LAMBERTS, R. P. Maintaining Power Output with Accumulating Levels of Work Done Is a Key Determinant for Success in Professional Cycling. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 53, n. 9, p. 1903-1910, Sep 1 2021.
51. VOGT, S.; SCHUMACHER, Y. O.; BLUM, A.; ROECKER, K. *et al.* Cycling power output produced during flat and mountain stages in the Giro d'Italia: a case study. **Journal of Sports Sciences**, 25, n. 12, p. 1299-1305, Oct 2007.

1 ESTUDO 1 - REPETIBILIDADE DE TESTES INTERMITENTES, DO PERFIL DE POTÊNCIA E DA RELAÇÃO POTÊNCIA-DURAÇÃO EM MOUNTAIN BIKERS

RESUMO

Fundamentação: A determinação da repetibilidade teste-reteste assegura medidas precisas e permite identificar mudanças reais no desempenho de mountain bikers. **Objetivo:** Determinar a repetibilidade teste-reteste de testes intermitentes, do perfil de potência e da relação potência-duração realizados em campo em mountain bikers. **Métodos:** Vinte e quatro atletas de XCO-MTB do sexo masculino (idade = $35,6 \pm 7,3$ anos, massa corporal = $71,4 \pm 7,5$ kg, estatura = $176,1 \pm 5,7$ cm, potência crítica (PC) = $4,0 \pm 0,6$ W·kg⁻¹, W' = $11,2 \pm 3,4$ kJ), realizaram testes intermitentes e o teste de perfil de potência em campo duas vezes com intervalo de 1 semana entre eles. A repetibilidade relativa foi determinada pelo coeficiente de correlação intraclasse (CCI) e a repetibilidade absoluta foi determinada pelo erro típico da medida (TEM). O limiar para determinar alterações acima da variação normal foi calculado como 2 vezes o TEM. **Resultados:** O CCI para os testes intermitentes foi considerado excelente ($> 0,90$). No teste de perfil de potência, para durações de esforço ≤ 1 min, o CCI foi considerado bom a excelente ($> 0,80$), já para durações de esforço > 1 min e trabalho total, foi considerado excelente ($> 0,90$). Para a PC e W' foi classificado de moderado a excelente ($\geq 0,50$). O TEM% variou de 1,6% a 5,7%, com exceção do W' ($\approx 18\%$). A menor variabilidade foi observada para o teste intermitente 30/15 e para durações de esforço > 1 min e trabalho total no teste de perfil de potência. Para a PC, o TEM% foi de $\approx 3,8\%$. O limite superior (2 x TEM%) da variabilidade normal teste-reteste variou entre 4,1% e 5,4% para os testes intermitentes e entre 9,2% e 11,4% para esforços curtos (≤ 1 min), entre 5,0% e 5,3% para esforços longos (> 1 min) e $\approx 3\%$ para o trabalho total no teste de perfil de potência. Já para a PC e W' foi de $\approx 7,6\%$ e 36% respectivamente. **Conclusão:** Todas as variáveis apresentaram repetibilidade relativa moderada a excelente e de forma geral baixa variabilidade teste-reteste, especialmente para os testes intermitentes (variação esperada de $\approx 2-3\%$) e para esforços longos e trabalho total no teste de perfil de potência (variação esperada de $\approx 2-3\%$).

Palavras-chave: erro típico da medida; coeficiente de variação; avaliação; XCO-MTB.

ABSTRACT

Rationale: Determining test-retest repeatability ensures accurate measurements and allows for the identification of real changes in mountain bikers' performance. **Objective:** To determine the test-retest repeatability of intermittent tests, the power profile, and the power-duration relationship performed in the field in mountain bikers. **Methods:** Twenty-four male XCO-MTB athletes (age = 35.6 ± 7.3 years, body mass = 71.4 ± 7.5 kg, height = 176.1 ± 5.7 cm, critical power (CP) = 4.0 ± 0.6 W·kg⁻¹, W' = 11.2 ± 3.4 kJ) performed intermittent tests and the power profile test in the field twice, with a 1-week interval between them. Relative repeatability was determined using the intraclass correlation coefficient (ICC), and absolute repeatability was determined using the typical error of measurement (TEM). The threshold to determine changes beyond normal variation was calculated as 2 times the TEM. **Results:** The ICC for the intermittent tests was considered excellent (> 0.90). In the power profile test, for effort durations ≤ 1 min, the ICC was considered good to excellent (> 0.80), while for effort durations > 1 min and total work, it was considered excellent (> 0.90). For CP and W', the classification ranged from moderate to excellent (≥ 0.50). The TEM% ranged from 1.6% to 5.7%, except for W' ($\approx 18\%$). The lowest variability was observed for the 30/15 intermittent test and for effort durations > 1 min and total work in the power profile test. For CP, the TEM% was $\approx 3.8\%$. The upper limit ($2 \times \text{TEM}\%$) of normal test-retest variability ranged from 4.1% to 5.4% for the intermittent tests, from 9.2% to 11.4% for short efforts (≤ 1 min), from 5.0% to 5.3% for long efforts (> 1 min), and $\approx 3\%$ for total work in the power profile test. For CP and W', it was $\approx 7.6\%$ and 36% , respectively. **Conclusion:** All variables showed moderate to excellent relative repeatability and generally low test-retest variability, especially for the intermittent tests (expected variation of $\approx 2\text{-}3\%$) and for long efforts and total work in the power profile test (expected variation of $\approx 2\text{-}3\%$).

Keywords: typical error of measurement; coefficient of variation; assessment; XCO-MTB.

INTRODUÇÃO

Competições de mountain bike cross-country Olímpico (XCO-MTB) muitas vezes são decididas pela capacidade de produzir repetidamente altos valores de potências por curtas durações [10, 30]. Nesse sentido, a habilidade de repetir esforços de alta intensidade intercalados com períodos reduzidos de recuperação é importante para atletas que desejam desempenhar bem na modalidade [14]. Portanto, as avaliações em atletas de XCO-MTB devem ser capazes de medir essa habilidade.

A avaliação da potência média máxima (MMP) com durações de 5 s a ≈ 2 horas, normalmente chamada de “perfil de potência” é utilizada como uma avaliação do desempenho em ciclistas [31]. O perfil de potência representa “uma assinatura” da capacidade física através da relação entre potência e tempo, pode ser utilizado para monitorar o desenvolvimento dos ciclistas [29] e para avaliar as demandas das competições de ciclismo [34, 38]. Essas avaliações são normalmente realizadas através de análises retrospectivas, extraindo durações variadas de situações de treinamento e competição [25, 39]. Entretanto, durante uma competição, os atletas raramente realizam um esforço máximo por um período fixo de tempo sendo difícil inferir que um esforço máximo foi concluído e que a capacidade de trabalho acima da potência crítica (W') está próxima de ser esgotada [19]. Vale ressaltar que, o número de esforços máximos que os ciclistas realizam é condicionado por vários fatores, como táticas da equipe, cronograma competitivo, ou programação de treinamento, que também podem variar ao longo da temporada [34].

Leo et al. [18] reportaram que, ao considerar apenas os dados de treinamento, os valores de MMP podem não representar adequadamente o verdadeiro potencial físico de ciclistas profissionais sub-23. Em recente estudo, a limitação estava relacionada a não possibilidade de discernir até que ponto a variabilidade no perfil de potência dentro de um determinado período era atribuível à variabilidade biológica inerente ou a fatores técnicos da modalidade [24]. Adicionalmente, Pallares et al. [28] reportaram o erro típico da medida (TEM) dos valores de MMP derivados apenas de sessões de treinamento (5,9% a 18,7%) e daqueles derivados de treinamentos e competições em conjunto para esforços curtos de 1 min, TEM = 14,3%. Esses resultados observados são elevados, indicando que testes específicos podem ser necessários para avaliar com precisão o desempenho máximo dos ciclistas em esforços mais curtos, mesmo durante a fase competitiva da temporada.

Testes de campo costumam ser uma abordagem favorável em relação aos testes de laboratório para determinar o perfil de potência e realizar testes intermitentes em atletas devido à facilidade de procedimento. Além disso, foi demonstrado que o perfil de potência produzido

ao longo de durações entre 1 e 14 min é menor quando concluído em ambientes fechados (*indoor*) em comparação com os valores produzidos na mesma duração do teste em campo (*outdoor*), em ciclistas de elite, e não podem ser usados de forma intercambiável [19]. Essas diferenças podem ser parcialmente atribuídas às formas de resistência ao deslocamento da bicicleta (aerodinâmica e rolagem), às variações na inclinação do terreno e às condições climáticas.

Treinadores e cientistas do esporte deveriam incluir testes em campo regularmente ao longo da temporada para avaliar o desempenho real dos ciclistas [13]. Apesar de sua aplicabilidade prática, a repetibilidade, isto é, a variação observada em medidas ou testes repetidos feitos no mesmo sujeito sob condições semelhantes, medidos pelo mesmo dispositivo [3] de testes intermitentes, do perfil de potência e da relação potência-duração através de sessões de testes específicos em campo em atletas de XCO-MTB permanece obscura. A análise da variabilidade intra-sujeito nos testes e retestes pode ser utilizada para detectar mudanças reais no desempenho de mountain bikers. Nesse contexto, compreender a variabilidade se torna importante, pois os efeitos de uma intervenção só podem ser considerados relevantes se superarem a própria variabilidade das medidas. Por exemplo, se um atleta aumenta sua potência crítica (PC) de 300 para 325 W e a variabilidade entre teste e reteste é de ± 12 W, essa melhora pode ser interpretada como uma mudança real no desempenho, e não apenas uma variação aleatória. Portanto, o objetivo do presente estudo foi determinar a repetibilidade teste-reteste de testes intermitentes, do perfil de potência e da relação potência-duração realizados em campo em mountain bikers. Nossa hipótese foi que os testes intermitentes, o perfil de potência e a relação potência-duração serão repetíveis e poderão ser utilizados para examinar os efeitos de intervenções dietéticas e de treinamento.

MÉTODOS

Desenho do estudo

Trata-se de um estudo de repetibilidade, no qual os participantes realizaram em ordem aleatória, três testes intermitentes (30/15, 10/20 e 3/2) e o teste de perfil de potência em campo duas vezes, com intervalo de recuperação de uma semana. Cada teste foi conduzido em horário semelhante do dia (variação de ± 2 h) e intervalos de recuperação de 48 horas foram aplicados entre cada teste. Antes dos testes, os atletas foram familiarizados com os diferentes protocolos. Durante o período entre os testes, os participantes foram orientados a realizar sessões de treinamento aeróbio de baixa intensidade (foi utilizada a percepção subjetiva de esforço (PSE) 10-11 na escala de Borg de 6-20) e duração de 60 min para evitar fadiga residual. Os

participantes completaram os testes e retestes durante o período preparatório específico da temporada (no qual não participaram de nenhuma competição) em campo e no mesmo local (estradas de terra com $\approx 0-3\%$ inclinação) utilizando as próprias mountain bikes, com rodas de 29 pol e pressão dos pneus com psi de livre escolha, a qual foi reproduzida em todos os testes. A potência produzida nos testes foi registrada por potenciômetro SIGEYI AXO (SIGEYI Tech Co., Guangzhou, China) acoplado à bicicleta do participante. Cada participante usou o mesmo potenciômetro durante todos os testes e retestes. Para assegurar medidas mais precisas, o ‘*zero-offset*’ foi realizado antes de cada teste usando a função de calibração do dispositivo de acordo com as recomendações do fabricante. As condições ambientais, incluindo temperatura e umidade relativa, foram registradas em todos os testes. Para minimizar variações decorrentes da influência da temperatura e umidade relativa, os testes não foram realizados se chovesse no dia ou se a temperatura estivesse acima de 35°C . Todos os atletas receberam instruções para abster-se de bebidas alcoólicas e qualquer medicamento por 24 horas, e evitar a ingestão de cafeína por 12 horas antes de todos os testes. Além disso, os participantes foram orientados a padronizar a ingestão alimentar (ou seja, a manter a mesma alimentação habitual, sem qualquer interferência do pesquisador) na noite anterior e nos dias dos testes, e a hidratar-se *ad libitum* somente com água.

Participantes

O cálculo do tamanho da amostra foi realizado por meio de uma ferramenta baseada na web (<https://wnarifin.github.io/ssc/ssicc.html>), conforme sugerido por Arifin [1]. O coeficiente de correlação intraclasse (CCI) mínimo aceitável foi estabelecido em 0,70, enquanto a repetibilidade esperada foi definida como $\text{CCI} = 0,90$ [36]. Foram consideradas duas medições (teste e reteste), adotando-se um nível de significância de 0,05 (bicaudal) e um poder de 80%. Como resultado, a amostra mínima necessária foi de 23 participantes. Entretanto, considerando uma taxa de abandono de $\approx 5\%$, foram recrutados de clubes de ciclismo e contatos na comunidade do mountain bike, 24 atletas de XCO-MTB do sexo masculino, com idade ≥ 18 anos, envolvidos em treinamento competitivo de pelo menos seis vezes por semana (≥ 10 horas semanais) e com experiência mínima de três anos em competições de XCO-MTB (veja as características descritivas na Tabela 1). Com base no nível competitivo e histórico de treinamento, os participantes foram classificados como nível 2: treinados e nível 3: altamente treinados, segundo McKay et al. [23]. Em qualquer caso de doença ou lesão os participantes foram excluídos da análise. Os participantes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido após explicação verbal e por escrito das atividades a serem realizadas e

entendimento completo dos possíveis riscos envolvidos em participar do estudo. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do Hospital Universitário Pedro Ernesto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (número do parecer: 5.774.538) e seguiu os princípios estabelecidos na declaração de Helsinki.

Medidas Antropométricas

As avaliações de massa corporal e estatura foram realizadas conforme as normas internacionais recomendadas pela *International Society for Advancement of Kinanthropometry* (ISAK) [26], utilizando uma balança e um estadiômetro acoplados (Welmy 110 CH, São Paulo, SP, Brasil). O percentual de gordura corporal foi estimado por meio de uma das equações propostas por Jackson e Pollock [15], baseada em três dobras cutâneas específicas para o sexo masculino. As mensurações das dobras cutâneas foram realizadas com um adipômetro CESCORF (Porto Alegre, RS, Brasil).

Tabela 1. Características dos atletas (n = 24).

Variáveis	Média ± DP
Idade (anos)	35,6 ± 7,3
Massa corporal (kg)	71,4 ± 7,5
Estatura (cm)	176,1 ± 5,7
Gordura corporal (%)	10,7 ± 4,6
Potência crítica (W)	281 ± 29,9
Potência crítica (W·kg ⁻¹)	4,0 ± 0,6
W' (kJ)	11,2 ± 3,4

DP = desvio padrão, W' = capacidade/quantidade de trabalho que pode ser realizado acima da potência crítica.

Fonte: O autor, 2025.

Testes intermitentes

Procedimento gerais

Antes dos testes, os participantes realizaram aquecimento de 20 min com PSE correspondente aos escores 10-11 na escala de Borg de 6-20 [6]. Os atletas foram instruídos a ajustar as marchas para produzir a maior potência possível para cada esforço. Além disso, os participantes puderam ficar de pé sempre que necessário e manter qualquer cadência durante

todos os testes. Os dados de potência produzida durante os testes e retestes foram transmitidos para um dispositivo Garmin (Edge 520/530, Garmin Ltd, Schaffhausen, Switzerland) e então coletados da plataforma Garmin Connect (<https://connect.garmin.com/>) para uma planilha do Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EUA) para organização e análises exploratórias iniciais. Foram calculados, a potência média de todas as repetições e o trabalho total. O trabalho total completado foi calculado pela soma do trabalho produzido (kJ) durante cada repetição.

Teste 30/15

Para medir a capacidade de realizar esforço caracterizado por curta duração e alta intensidade (HIIT curto), o teste 30/15 consistiu em 3 séries de 13 repetições de 30 s de esforço máximo, intercaladas com 15 s de recuperação ativa entre repetições e 3 min entre séries. Os atletas foram instruídos a produzir a maior potência possível em todas as séries [32, 33]. Durante os períodos de recuperação, os participantes foram instruídos a manter uma intensidade de ≈ 50 -100 W.

Teste 10/20

Para medir a capacidade de realizar *sprints* repetidos (*repeated-sprint ability* (RSA)), foi aplicado teste incluindo 3 séries de 30 repetições de 10 s com esforço máximo, intercaladas por 20 s de recuperação ativa entre repetições e 3 min entre as séries [10]. Os atletas foram encorajados a produzir a maior potência possível em todas as séries. Durante os períodos de recuperação, os participantes foram instruídos a manter intensidade entre ≈ 50 -100 W.

Teste 3/2

Para medir a capacidade de realizar esforço caracterizado por longa duração e alta intensidade (HIIT longo), foi aplicado teste consistindo de 1 série de 8 repetições de 3 min de esforço máximo, intercaladas por 2 min de recuperação passiva (0 W) entre as repetições [8]. Os atletas foram instruídos a produzir a maior potência possível em todas as oito repetições.

Teste de perfil de potência

Antes do início do teste, os participantes realizaram um aquecimento de 20 min na PSE 10-11 na escala de Borg de 6-20. O teste de perfil de potência consistiu na realização de sete esforços máximos (6 s, 6 s, 15 s, 30 s, 1:00 min:s, 4:00 min:s e 10:00 min:s), com períodos de recuperação ativa de 54 s, 2:54 min:s, 3:45 min:s, 5:30 min:s, 8:00 min:s e 10:00 min:s,

respectivamente [27]. O primeiro esforço de 6 s foi realizado partindo da inércia e de pé e os esforços restantes foram realizados partindo em movimento. Os atletas foram instruídos a ajustar as marchas para produzir a maior potência média possível para cada esforço. Durante os períodos de recuperação, os participantes mantiveram uma intensidade entre ≈ 50 -100 W. Os participantes foram orientados a manter uma cadência auto selecionada e puderam ficar de pé sempre que necessário durante cada esforço. Os dados de potência produzida durante os testes e retestes foram transmitidos para um dispositivo Garmin (Edge 520/530, Garmin Ltd, Schaffhausen, Switzerland) e então coletados da plataforma Garmin Connect (<https://connect.garmin.com/>) para uma planilha do Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EUA) para organização e análises exploratórias iniciais. De acordo com Quod et al. [31], a partir dos dois esforços de 6 s, foi registrada a MMP de 5 s e o trabalho total completado durante os esforços máximos (5 s, 15 s, 30 s, 1 min, 4 min e 10 min) foi calculado pela soma do trabalho produzido (kJ) durante cada esforço.

Determinação da relação potência-duração (PC e W')

A potência produzida durante os esforços máximos de 1 min, 4 min e 10 min do teste de perfil de potência foi utilizada para estimar a PC e a capacidade/quantidade de trabalho que pode ser realizado acima da potência crítica (W') [31]. Os valores de potência foram plotados em relação ao inverso do tempo $1/t$ (t = duração em segundos) para linearizar a relação potência-duração. O intercepto da linha de regressão com o eixo y representa a PC e a inclinação da linha de regressão representa o W' [31]. As durações de esforço (1, 4 e 10 min) utilizadas neste estudo foram as mesmas empregadas por Quod et al. [31] em ciclistas altamente treinados para calcular a PC e o W'. Já esforços com durações similares (1, 5 e 20 min) foram adotados recentemente para calcular a relação potência-duração em ciclistas profissionais [28, 36].

Análise estatística

O teste de Shapiro-Wilk foi aplicado para verificar uma distribuição Gaussiana em todos os dados. As variáveis foram descritas pela média \pm desvio padrão (DP). A repetibilidade relativa foi determinada pelo coeficiente de correlação intraclasse modelo *two-way mixed effects, absolute agreement, single rater/measurement* (CCI(A,1), de acordo com as definições de McGraw & Wong [22], sendo considerado como o mais apropriado para estudos de teste-reteste [17]. O CCI foi interpretado como “pobre” se abaixo de 0,50, “moderado” se entre 0,50 a 0,75, “bom” se entre 0,75 a 0,90 e excelente se acima de 0,90 [17]. A repetibilidade absoluta foi determinada com o erro típico da medida (TEM). Um TEM menor indica uma melhor

repetibilidade absoluta. O TEM foi calculado como o DP das diferenças (DPd) entre teste e reteste dividido pela raiz de 2 ($TEM = DPd/\sqrt{2}$) [11]. A mudança na média (média do reteste - média do teste) e o TEM são expressos em unidades diferentes: (W, $W \cdot kg^{-1}$, kJ e $kJ \cdot kg^{-1}$). O TEM também foi expresso em porcentagem (TEM%), que expressa a variabilidade da medida como um coeficiente de variação (CV) e foi calculado através da divisão do TEM pela média dos dados do teste e reteste e multiplicado o resultado por 100 ($TEM\% = TEM/média \times 100$). O limiar para determinar alterações acima da variação normal foi calculado como 2 vezes o TEM [35]. Os gráficos de Bland-Altman, o cálculo do viés sistemático (com DP) e os limites de concordância de 95% ($LoA = viés \pm 1,96 \times DP$) foram usados para interpretar a direção das diferenças [5]. As análises foram realizadas utilizando o SPSS (versão 25.0; IBM SPSS, Chicago, IL, EUA) e uma planilha personalizada do Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EUA) baixada em www.sportsci.org [12]. Todas as figuras foram criadas utilizando o GraphPad Prism (versão 8.3.0, GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA). O nível de significância adotado foi $P \leq 0,05$ bicaudal.

RESULTADOS

Todos os valores descritivos, mudança na média, CCI (IC95%), TEM, TEM% e 2 x TEM são apresentados na Tabela 2.

Repetibilidade entre teste e reteste

O CCI foi interpretado baseado nos intervalos de confiança de 95%, supondo que o verdadeiro valor do CCI esteja em algum ponto entre o limite inferior e superior. Neste sentido, o CCI variou entre bom a excelente. O CCI para as variáveis 30/15, 10/20 e 3/2 (em W, $W \cdot kg^{-1}$ e kJ) foi considerado excelente, porque mesmo no pior cenário, o verdadeiro CCI ainda foi maior que 0,90. Já para as variáveis 5 s, 15 s, 30 s e 1 min (em W, $W \cdot kg^{-1}$), o CCI foi considerado de bom a excelente. Para as variáveis 4 min, 10 min (em W, $W \cdot kg^{-1}$) e trabalho total (em kJ, $kJ \cdot kg^{-1}$), o CCI foi considerado excelente. A PC (em W, $W \cdot kg^{-1}$), apresentou CCI classificado de bom a excelente, enquanto o CCI do W' (kJ), variou de moderado a excelente. Todas as variáveis apresentaram de forma geral baixa variabilidade teste-reteste (TEM% variando de 1,6% a 5,7%), com exceção do W' ($\approx 18\%$). A menor variabilidade foi observada para o teste intermitente 30/15 e para durações de esforço > 1 min e trabalho total no teste de perfil de potência. Para a variável PC, o TEM% foi de $\approx 3,8\%$. O limite superior (2 x TEM%) da variabilidade normal teste-reteste variou entre 4,1% e 5,4% para os testes intermitentes (30/15, 10/20 e 3/2) e entre 9,2% e 11,4% para esforços curtos (≤ 1 min), entre 5,0% e 5,3% para

esforços longos (> 1 min) e $\approx 3\%$ para o trabalho total no teste de perfil de potência. Os limites superiores da variação teste-reteste foram de $\approx 7,6\%$ para PC e 36% para W' (Tabela 2).

Potencial viés sistemático

O viés e os limites de concordância (superior e inferior) entre a média teste-reteste versus a diferença entre teste-reteste de cada variável são demonstrados nas Figuras 1, 2 e 3. As variáveis com menor viés foram o teste intermitente 3/2, as durações de esforço de 15 s, 4 min, 10 min e trabalho total do teste de perfil de potência, a PC e W'.

Tabela 2. Repetibilidade dos testes intermitentes, do perfil de potência e da relação potência-duração (n = 24).

Variáveis	Teste	Reteste	CM	CCI (IC95%)	CCI (P-Valor)	TEM (IC95%)	TEM % (IC95%)	2 x TEM (%)
30/15 (W)	359,3 ± 47,1	355,6 ± 45,3	-3,71	0,99 (0,97 a 0,99)	< 0,001	7,6 (5,9 a 10,6)	2,1 (1,6 a 3,0)	4,2
30/15 (W·kg ⁻¹)	5,1 ± 0,9	5,0 ± 0,8	-0,05	0,99 (0,98 a 1,00)	< 0,001	0,10 (0,08 a 0,15)	2,1 (1,6 a 2,9)	4,1
30/15 (kJ)	420,3 ± 55,1	416,0 ± 53,0	-4,34	0,99 (0,97 a 0,99)	< 0,001	8,9 (6,9 a 12,4)	2,1 (1,6 a 3,0)	4,2
10/20 (W)	481,8 ± 64,9	479,5 ± 67,8	-2,39	0,98 (0,96 a 0,99)	< 0,001	13,1 (10,2 a 18,3)	2,7 (2,1 a 3,8)	5,4
10/20 (W·kg ⁻¹)	6,8 ± 1,1	6,8 ± 1,1	-0,04	0,99 (0,97 a 0,99)	< 0,001	0,18 (0,14 a 0,25)	2,7 (2,1 a 3,7)	5,3
10/20 (kJ)	433,7 ± 58,4	431,6 ± 61,0	-2,15	0,98 (0,96 a 0,99)	< 0,001	11,8 (9,1 a 16,5)	2,7 (2,1 a 3,8)	5,4
3/2 (W)	304,0 ± 37,2	304,6 ± 34,8	0,67	0,98 (0,95 a 0,99)	< 0,001	7,3 (5,7 a 10,3)	2,4 (1,9 a 3,4)	4,8
3/2 (W·kg ⁻¹)	4,3 ± 0,6	4,3 ± 0,6	0,01	0,99 (0,97 a 0,99)	< 0,001	0,10 (0,08 a 0,14)	2,3 (1,8 a 3,2)	4,6
3/2 (kJ)	437,7 ± 53,6	438,7 ± 50,2	0,97	0,98 (0,95 a 0,99)	< 0,001	10,5 (8,2 a 14,8)	2,4 (1,9 a 3,4)	4,8
5 s (W)	878,3 ± 142,7	871,3 ± 146,3	-6,92	0,94 (0,87 a 0,98)	< 0,001	47,8 (37,2 a 67,1)	5,5 (4,2 a 7,7)	10,9
5 s (W·kg ⁻¹)	12,4 ± 1,9	12,3 ± 1,9	-0,11	0,93 (0,84 a 0,97)	< 0,001	0,69 (0,53 a 0,96)	5,6 (4,3 a 7,8)	11,1
15 s (W)	751,7 ± 111,7	752,4 ± 113,3	0,67	0,95 (0,89 a 0,98)	< 0,001	34,6 (26,9 a 48,5)	4,6 (3,6 a 6,4)	9,2
15 s (W·kg ⁻¹)	10,6 ± 1,6	10,6 ± 1,6	0,01	0,95 (0,89 a 0,98)	< 0,001	0,49 (0,38 a 0,68)	4,6 (3,6 a 6,4)	9,2
30 s (W)	616,8 ± 96,2	628,0 ± 94,6	11,25	0,93 (0,83 a 0,97)	< 0,001	35,6 (27,6 a 49,9)	5,7 (4,4 a 8,0)	11,4
30 s (W·kg ⁻¹)	8,7 ± 1,4	8,9 ± 1,3	0,15	0,93 (0,84 a 0,97)	< 0,001	0,50 (0,39 a 0,70)	5,7 (4,4 a 8,0)	11,4
1 min (W)	464,3 ± 77,4	470,1 ± 57,1	5,83	0,93 (0,83 a 0,97)	< 0,001	25,3 (19,7 a 35,5)	5,4 (4,2 a 7,6)	10,8
1 min (W·kg ⁻¹)	6,6 ± 1,3	6,6 ± 1,0	0,08	0,94 (0,87 a 0,98)	< 0,001	0,37 (0,29 a 0,51)	5,6 (4,3 a 7,8)	11,1
4 min (W)	334,3 ± 36,7	334,2 ± 35,6	-0,04	0,97 (0,94 a 0,99)	< 0,001	8,5 (6,6 a 12,0)	2,5 (2,0 a 3,6)	5,1
4 min (W·kg ⁻¹)	4,7 ± 0,6	4,7 ± 0,7	0,01	0,98 (0,96 a 0,99)	< 0,001	0,12 (0,09 a 0,17)	2,5 (2,0 a 3,5)	5,0
10 min (W)	293,6 ± 31,6	294,9 ± 32,1	1,29	0,97 (0,93 a 0,99)	< 0,001	7,6 (5,9 a 10,7)	2,6 (2,0 a 3,6)	5,2
10 min (W·kg ⁻¹)	4,2 ± 0,6	4,2 ± 0,6	0,02	0,98 (0,96 a 0,99)	< 0,001	0,11 (0,09 a 0,15)	2,6 (2,0 a 3,7)	5,3
Trabalho tot. (kJ)	318,4 ± 33,8	319,8 ± 32,6	1,43	0,99 (0,97 a 1,00)	< 0,001	5,0 (3,9 a 7,0)	1,6 (1,2 a 2,2)	3,1
Trabalho tot. (kJ·kg ⁻¹)	4,5 ± 0,6	4,5 ± 0,6	0,02	0,99 (0,99 a 1,00)	< 0,001	0,07 (0,05 a 0,10)	1,6 (1,2 a 2,2)	3,1
PC (W)	281,1 ± 28,4	280,7 ± 31,4	-0,31	0,94 (0,85 a 0,97)	< 0,001	10,6 (8,3 a 14,9)	3,8 (2,9 a 5,3)	7,6
PC (W·kg ⁻¹)	4,0 ± 0,5	4,0 ± 0,6	-0,001	0,96 (0,91 a 0,98)	< 0,001	0,15 (0,12 a 0,21)	3,9 (3,0 a 5,4)	7,7
W' (kJ)	11,1 ± 3,9	11,4 ± 2,8	0,36	0,79 (0,50 a 0,91)	< 0,001	2,0 (1,6 a 2,8)	18,1 (14,0 a 25,3)	36,1

Os valores são apresentados em média ± DP, CCI = coeficiente de correlação intraclasse, IC95% = intervalo de confiança 95%, TEM = erro típico da medida, Tot = total, CM = mudança na média, PC = potência crítica, W' = capacidade/quantidade de trabalho que pode ser realizado acima da potência crítica.

Fonte: O autor, 2025.

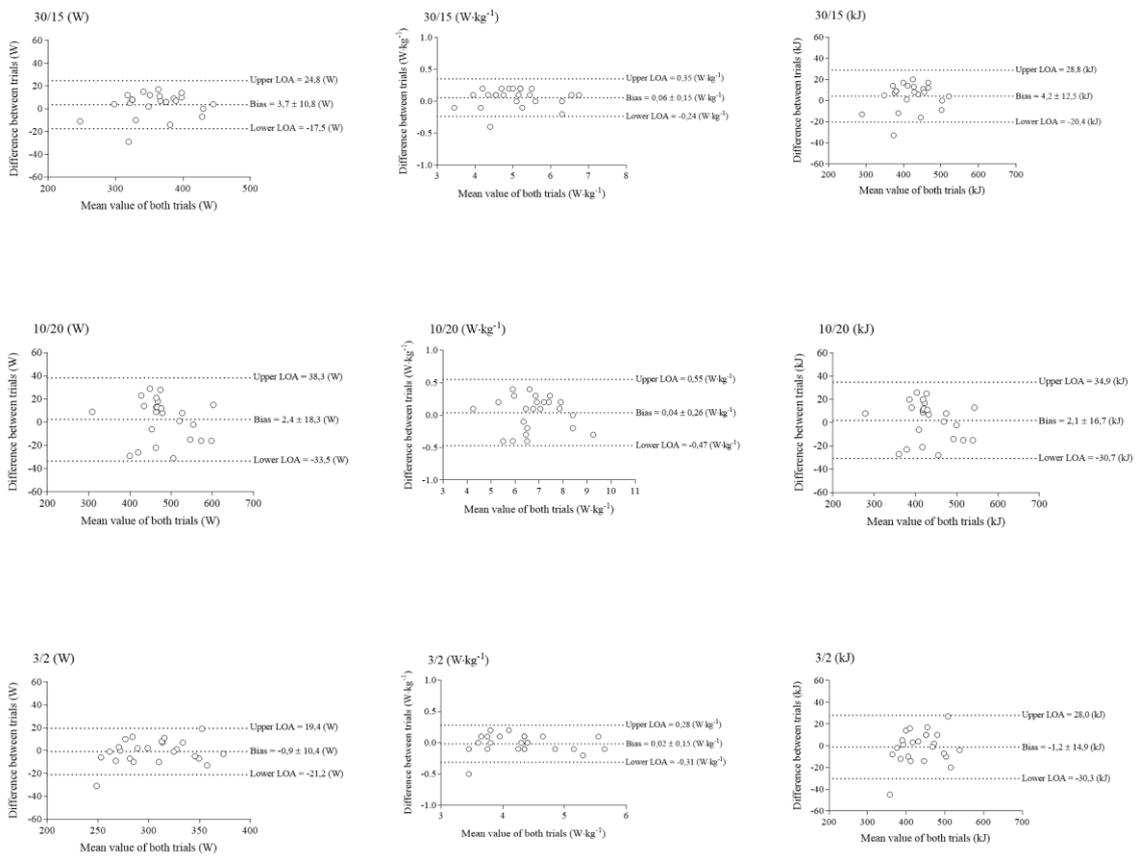


Figura 1. Gráficos de Bland-Altman exibindo a concordância entre teste e reteste dos testes intermitentes 30/15, 10/20 e 3/2. LOA = limites de concordância.

Fonte: O autor, 2025.

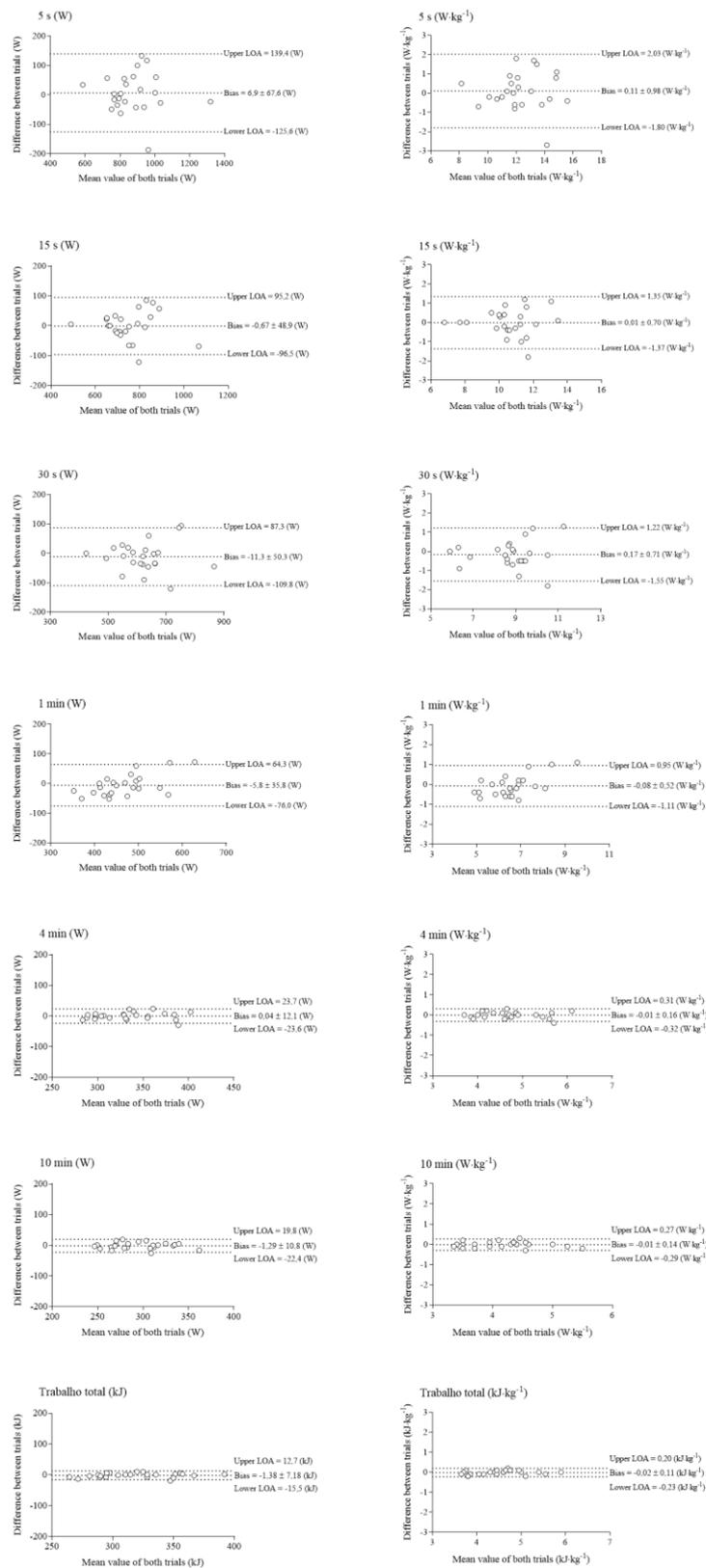


Figura 2. Gráficos de Bland-Altman exibindo a concordância entre teste e reteste para diferentes durações de esforço e trabalho total do teste de perfil de potência. LOA = limites de concordância.

Fonte: O autor, 2025.

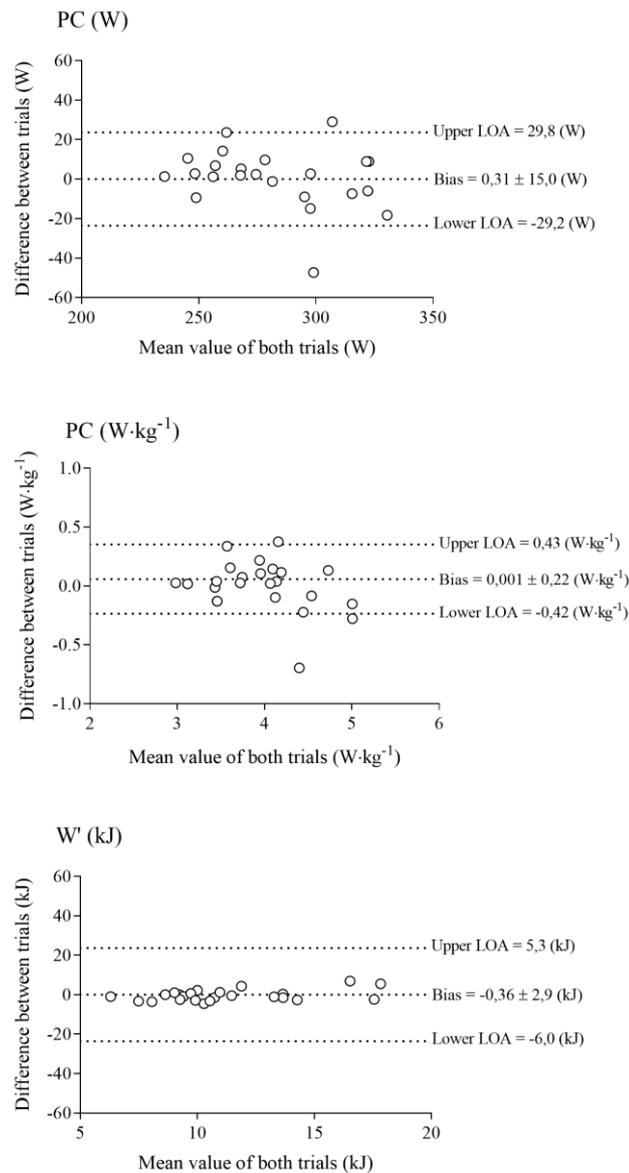


Figura 3. Gráficos de Bland-Altman exibindo a concordância entre teste e reteste da PC e W'. LOA = limites de concordância. PC = potência crítica, W' = capacidade/quantidade de trabalho que pode ser realizado acima da potência crítica. Fonte: O autor, 2025.

DISCUSSÃO

Este estudo examinou a repetibilidade teste-reteste de testes intermitentes, do perfil de potência e da relação potência-duração realizados em campo em mountain bikers. O principal achado, conforme hipotetizado, foi a baixa variabilidade teste-reteste, especialmente para os

testes intermitentes (30/15, 10/20 e 3/2) e para esforços longos (> 1 min) e trabalho total no teste de perfil de potência (variação esperada de $\approx 2-3\%$ e variação acima da esperada de $\approx 3-6\%$, Tabela 2). Até onde sabemos, este é o primeiro estudo a determinar a repetibilidade de testes intermitentes, do perfil de potência e da relação potência-duração em mountain bikers.

Apesar da natureza dos testes intermitentes 30/15, 10/20 e 3/2 realizados no presente estudo, envolverem esforços repetidos em vez de um único esforço, a repetibilidade relativa (CCI) foi considerada excelente, variando de 0,98 a 0,99 (Tabela 2). Estes resultados foram superiores aos do estudo que examinou a repetibilidade durante um teste de sprint repetido (5 x 6 s) em cicloergômetro (CCI de 0,89 para o trabalho total realizado) [21]. A diferença encontrada pode ser devida ao tipo de participante de cada estudo, atletas de XCO-MTB vs. jogadoras de futebol feminino bem treinadas. Até o momento, a falta de estudos abordando a repetibilidade dos testes intermitentes 30/15, 10/20 e 3/2 dificulta a comparação entre diferentes estudos.

Os valores de CCI obtidos para o teste de perfil de potência e PC são maiores comparados com aqueles medidos recentemente em ciclistas de estrada profissionais [36]. Valenzuela et al. [36] reportaram valores de 0,76 a 0,88. Os valores de CCI do presente estudo variaram entre 0,93 a 0,99 para o perfil de potência e PC. O W' apresentou CCI de 0,79, sendo a variável com menor repetibilidade relativa (Tabela 2). Estas discrepâncias podem ser explicadas parcialmente pelas diferenças entre os desenhos de estudo. Valenzuela et al. [36], avaliaram em ciclistas profissionais a variabilidade intra-sujeito em diferentes temporadas (≈ 4 temporadas consecutivas), enquanto neste estudo foi utilizado o intervalo de 1 semana entre os testes. Além disso, as diferenças observadas podem ser devidas a alterações de condicionamento físico, ao uso de potenciômetros diferentes para um determinado ciclista devido a mudanças no patrocínio e fatores ambientais onde foram coletados os dados. Ao analisar a repetibilidade de testes realizados em subida (≈ 10 min e 14% de inclinação média) em mountain bikers, Machado et al. [20] reportaram um CCI de 0,84. No presente estudo, o CCI para a duração de 10 min no teste de perfil de potência foi superior a 0,90. Esta diferença nos valores de CCI pode ser parcialmente atribuída às diferentes inclinações dos terrenos (14% vs. $\approx 0-3\%$), bem como ao modelo, tipo e definição utilizados para o cálculo do CCI. Karsten et al. [16] compararam a PC e W' determinada em laboratório com aquela modelada a partir de três experimentos realizados em campo com durações de esforço máximas de 12 min, 7 min e 3 min. Os CCI para PC foram 0,99, 0,96 e 0,99 para os experimentos 1 a 3, respectivamente. Já para W' , os CCIs foram 0,16, 0,028 e 0,63 para os experimentos 1 a 3, respectivamente. Os resultados de PC foram similares aos encontrados no presente estudo, entretanto, os valores de

W' foram diferentes. Pesquisas anteriores questionaram a repetibilidade do W' [9, 16, 40]. Neste estudo, o W' apresentou uma menor repetibilidade relativa (Tabela 2), o que pode comprometer a aplicação prática deste parâmetro no monitoramento do desempenho. Os valores de W' diferem entre os experimentos, 12 ± 3 kJ no experimento 1 e 20 ± 5 kJ no experimento 3. O W' do presente estudo (≈ 11 kJ) foi similar ao experimento 1, mas diferente do experimento 3. Esta discrepância talvez possa ser explicada parcialmente devido ao W' do experimento 3 ser calculado a partir de dados de treinamento e competições.

Um coeficiente de variação $\leq 10\%$ foi sugerido de forma arbitrária como critério padrão utilizado para estabelecer um nível aceitável de repetibilidade entre teste e reteste [2]. Os valores de TEM% para os testes intermitentes, perfil de potência e PC observados (Tabela 2) estão abaixo de 10%, sendo considerados, portanto, confiáveis e repetíveis. Estudos que tenham investigado a repetibilidade absoluta dos testes intermitentes 30/15, 10/20 e 3/2 para fins de comparação não foram encontrados. No entanto, um estudo que avaliou a repetibilidade durante um teste de sprint repetido (5 x 6 s) em cicloergômetro reportou um CV de 2,8% para o trabalho total realizado e de 2,7% para a média da potência de pico [21]. Esses valores são semelhantes aos achados do presente estudo, que apresentou um TEM% de ≈ 2 -3% (Tabela 2). Mesmo considerando o limite superior (2 x TEM%) da variabilidade normal teste-reteste para os testes intermitentes, os valores de 4,1% e 5,4% ficaram abaixo do critério de 10%, confirmando assim a baixa variabilidade.

Ao analisar os dados do perfil de potência, o TEM% e conseqüentemente 2 x TEM% diminuíram à medida que a duração do esforço aumentou, especialmente para durações acima de 1 minuto (TEM% $\approx 2,6\%$, vs. 4,6-5,7% para esforços ≤ 1 min). O trabalho total foi a variável com melhor repetibilidade (TEM% = 1,6%, Tabela 2). Este resultado demonstra que a soma do trabalho produzido durante cada esforço no teste de perfil de potência possui a menor variabilidade teste-reteste. Nossos resultados se assemelham em parte aos de Valenzuela et al. [36] que descreveram a variabilidade intra-sujeito dos valores de potência média máxima alcançadas para diferentes durações (de 10 s a 30 min) em diferentes temporadas. A menor variabilidade observada foi para esforços longos (>1 min, TEM% = 3,2% a 3,7%). Para os esforços ≤ 1 min o TEM% variou de 5,5% a 5,9%. Os limites superiores de variação esperada foram $< 12\%$ para esforços curtos (≤ 1 min) e $< 8\%$ para esforços longos. No presente estudo, para os esforços menores que 1 min, o 2 x TEM% também foi $< 12\%$, entretanto, para esforços maiores que 1 min foi $< 6\%$. Ao comparar os valores de potência média máxima (1, 5 e 20 min de duração) obtidos durante dois períodos diferentes da temporada (preparatório, incluindo apenas dados de treinamento e específico, incluindo dados de treinamento e competições) com

a potência obtida através de três contrarrelógios de 1, 5 e 20 min em ciclistas de estrada profissionais, Pallares et al. [28] reportaram diferenças significativas ($P < 0,05$) e $TEM\% > 7\%$ para todas as durações de esforço no período preparatório e 1 min no período específico, mas sem diferenças para esforços ≥ 5 min de duração ($P > 0,05$, $TEM\% < 5\%$). Considerando apenas as durações do perfil de potência similares as utilizadas no presente estudo (ou seja 30 s, 1 min, 5 min e 10 min) para fins comparativos, Muriel et al. [24] corroboram nossos achados ao demonstrarem que o $TEM\%$ diminui com o aumento da duração do esforço. Apesar dos estudos apresentarem diferenças metodológicas, os achados em conjunto reforçam a baixa variabilidade do teste de perfil de potência, principalmente para esforços > 1 min. A maior variabilidade observada em esforços com duração ≤ 1 min pode estar relacionada à influência da técnica na execução desses esforços máximos de curta duração. Quod et al. [31] investigaram diferenças nos valores de potência produzidos em laboratório com aqueles produzidos durante competições. Ciclistas altamente treinados foram avaliados em sua capacidade máxima de produzir potência em durações de 5 s, 15 s, 30 s, 1 min, 4 min e 10 min. Não foram encontradas diferenças significativas entre os resultados do perfil de potência realizado em laboratório e campo para durações de 1 min a 10 min e trabalho total, o que confirma em parte com os nossos resultados de menor variabilidade para essas variáveis. Porém, o estudo reporta de observações não publicadas, que o $TEM\%$ da potência para cada uma das durações de esforço foi de $3,6 \pm 0,8\%$ (2,3 a 4,5%). O presente estudo encontrou valores superiores $4,4\% \pm 1,5\%$ (2,5% a 5,7%). As diferenças podem ser devidas ao local de realização dos testes (em laboratório vs. campo em situações “não controladas” (isto é, extração de dados de competição) vs. determinada em campo em situações “controladas” (isto é, esforços máximos planejados para um determinado protocolo de teste) [16].

O presente estudo encontrou $TEM\%$ para PC de $\approx 3,8\%$ (Tabela 2), sendo semelhante aos resultados de Pallares et al. [28] que reportaram valores de 3,8% derivado de dados coletados durante o período específico da temporada em ciclistas profissionais. Valores percentuais similares (3,5%) foram reportados por Karsten et al. [16] durante o experimento 3, onde as maiores potências de 3 min, 7 min e 12 min foram extraídas de dados de treinamento e competição. Porém, foram maiores que o CV (2,4%) da PC do experimento 1, em que a PC compreendeu esforços máximos de 12 min, 7 min e 3 min com recuperação de 30 min entre os esforços. As diferenças podem ser devidas aos diferentes métodos utilizados para calcular a PC. No estudo de Valenzuela et al. [36] o $TEM\%$ da PC foi de 3,3 (IC95% = 3,0 a 3,7) e $2 \times TEM\%$ de 6,6%. Esses resultados são semelhantes aos nossos, considerando o intervalo de confiança de 95%. O W' demonstrou ser a variável com menor nível de repetibilidade absoluta ($TEM\%$

de $\approx 18\%$). Karsten et al. [16] reportaram CV médio para W' de $\approx 45\%$ para os experimentos 1 e 2 e $\approx 17\%$ para o experimento 3. Pallares et al. [28] demonstraram que o W' apresenta alta variabilidade ($\approx 36\%$). Esses resultados em conjunto demonstram que a repetibilidade deste parâmetro da relação potência-duração em testes de campo é questionável. Uma possível explicação para a maior variabilidade do W' pode estar relacionada à capacidade do atleta de realizar trabalho acima da PC, que pode ser mais sensível a fatores como fadiga, condição física momentânea, capacidade de recuperação e outros aspectos externos, como nutrição, qualidade do sono e estado emocional. Entretanto, empregando uma abordagem similar à deste estudo, Quod et al. [31] utilizaram as durações de 1 min, 4 min e 10 min para calcular a PC e W' e não encontraram diferença significativa entre os resultados de PC e W' de laboratório e campo. As diferenças entre os estudos para W' são multifatoriais, podendo ser devidas a questões relacionadas ao ciclismo em terrenos planos e inclinados, ao tipo de terreno (asfalto ou terra) bem como a posição adotada na bicicleta (sentado ou em pé).

Além das potenciais explicações para os diferentes resultados entre os estudos citados anteriormente, também devem ser levados em consideração o nível de condicionamento dos atletas (amadores vs. profissionais, moderadamente treinados vs. altamente treinados), o local de realização dos testes (no presente estudo, estradas com $\approx 0-3\%$ inclinação vs. $5-6\%$ inclinação vs. várias competições com os vários cenários táticos, formatos diferentes, grande combinação de velocidades, cadência, relação de marchas, direção do vento e condições de vácuo), além das diferentes bicicletas (estrada vs. mountain bike), diferentes locais para medição da potência (pedivela vs. ergômetro com freio eletromagnético aplicando fricção na roda traseira da bicicleta vs. cicloergômetro customizado com frenagem aérea) e diminuição das oscilações laterais da bicicleta no laboratório e à redução associada na capacidade do ciclista de aplicar força perpendicular aos pedais durante a aceleração [4].

Embora os testes e retestes tenham sido realizados em campo, os resultados dos gráficos de Bland-Altman demonstraram alto nível de concordância. Em particular, o teste intermitente 3/2 resultou num elevado nível de concordância (LoA $-21,2$ a $19,4$ W). Uma menor concordância foi observada para os esforços ≤ 1 min (na duração de 5 s por exemplo, LoA $-125,6$ a $139,4$ W, Figura 2). Os valores de concordância para PC (LoA $-29,2$ a $29,8$ W) e W' (LoA $-6,0$ a $5,3$ kJ) foram semelhantes aos encontrados por Karsten et al. [16] (LoA -26 a 29 W para PC e -6 a 7 kJ para W'). De forma geral, os valores de concordância sugerem que os testes utilizados neste estudo são confiáveis.

A capacidade de produzir repetidamente esforços curtos e máximos com breves períodos de recuperação é um importante requisito para o desempenho no XCO-MTB [14]. O

treinamento de sprint repetido (RST), de HIIT curto e HIIT longo geralmente são foco em programas de treinamento [7]. Esses protocolos demonstram eficácia não apenas como ferramentas para melhorar o desempenho aeróbio [8], mas também para a avaliação e análise dos efeitos de intervenções, conforme observado nos resultados do presente estudo. Nesse sentido, os testes intermitentes e de perfil de potência realizados em campo, assim como a relação potência-duração podem ser incorporados às rotinas diárias de treinamento, diminuindo a necessidade de acesso e utilização de equipamentos laboratoriais.

Limitações

O presente estudo tem algumas limitações. 1) Os testes não foram conduzidos utilizando uma bicicleta padronizada. Entretanto, para minimizar possíveis diferenças, todas as bicicletas possuíam tamanhos de rodas semelhantes (29 polegadas). A realização dos testes com as próprias bicicletas dos atletas proporcionou maior conforto, controle e familiaridade durante a pilotagem, o que contribuiu para aumentar a validade ecológica do estudo. 2) Os testes foram realizados em campo e não em laboratório, o que potencialmente introduziu fatores de confusão, como a variabilidade induzida pelas condições ambientais e de terreno. Entretanto, os testes intermitentes e de perfil de potência foram realizados em condições ambientais semelhantes (temperatura média no teste = $16,7 \pm 5,1^{\circ}\text{C}$ e no reteste = $16,3 \pm 4,6^{\circ}\text{C}$; umidade relativa do ar média no teste = $82 \pm 8,7\%$ e no reteste = $80,9 \pm 7,2\%$). Vale ressaltar que as temperaturas no teste e no reteste estavam fora do intervalo ($< 5^{\circ}\text{C}$ e $> 35^{\circ}\text{C}$) onde foi observada redução no desempenho (potência) de ciclistas profissionais [37]. Além disso, os atletas realizaram os testes e retestes no mesmo local (estradas de terra com $\approx 0\text{-}3\%$ inclinação). 3) Outra limitação deste estudo foi a utilização dos potenciômetros SIGEYI. Até onde sabemos, nenhum estudo validou os valores de potência do potenciômetro SIGEYI contra o SRM padrão-ouro. Entretanto, o fabricante dos potenciômetros SIGEYI reporta uma precisão de $\pm 1\%$ (<https://www.sigeyi.cn/>), o que sugere que, mesmo que não haja validação direta em relação ao SRM padrão-ouro, esses potenciômetros têm uma margem de erro bastante reduzida em relação aos valores medidos. Essa precisão é um indicativo de que os potenciômetros podem fornecer resultados confiáveis e consistentes. Além disso, foi realizada a calibração antes de cada teste, o que contribuiu para mitigar possíveis desvios ou variações nos potenciômetros. Embora seja importante reconhecer a limitação da falta de estudos de validação específicos, os potenciômetros SIGEYI ainda podem fornecer resultados confiáveis, especialmente considerando a precisão declarada pelo fabricante e a calibração prévia realizada antes de cada teste.

Aplicação prática

Os testes intermitentes (30/15, 10/20 e 3/2), os esforços de maior duração (> 1 min) e trabalho total no teste de perfil de potência e a relação potência-duração (ou seja, PC) nos mostram potencial para se tornarem parâmetros importantes para avaliação, monitoramento e para examinar os efeitos de intervenções dietéticas e de treinamento em mountain bikers, utilizando a própria bicicleta de mountain bike equipada com potenciômetro em condições de campo, fora do ambiente laboratorial. O conhecimento da variação esperada nos testes intermitentes, no perfil de potência e na relação potência-duração pode permitir a estimativa de uma possível alteração no desempenho, ao auxiliar na identificação dos valores que se encontrariam além da variação esperada. Por exemplo, uma melhora de $\approx 2-3\%$ nos testes intermitentes entre a primeira e segunda avaliação após um período de treinamento seria considerado dentro da variação esperada, enquanto um aumento $> \approx 4-6\%$ seria considerado acima da variação esperada (ou seja, > 2 vezes o TEM%). Da mesma forma, um aumento de $\approx 5-6\%$ (esforços curtos ≤ 1 min) e $\approx 2-3\%$ (esforços longos > 1 min e trabalho total) no teste de perfil de potência estariam dentro da variação esperada. Entretanto, uma melhora $> \approx 9-12\%$ para esforços ≤ 1 min e $> \approx 3-6\%$ para esforços > 1 min e trabalho total estariam acima da variação esperada. Para a PC e W' , um aumento de $\approx 3,8\%$ e $\approx 18\%$ respectivamente estariam dentro da variação esperada, enquanto um aumento $> \approx 7,6\%$ para PC e $> 36\%$ para W' estariam acima da variação esperada.

CONCLUSÃO

O CCI foi considerado excelente para os testes intermitentes, variou de bom a excelente para o teste de perfil de potência, dependendo da duração do esforço e foi classificado de moderado a excelente para a PC e W' . Além disso, o TEM% apresentou baixa variabilidade entre testes e retestes, com exceção para o W' . Estes achados sugerem que os testes intermitentes, o teste de perfil de potência e a PC são repetíveis para avaliar o desempenho de mountain bikers, com maior precisão para os testes intermitentes (variação esperada de $\approx 2-3\%$) e para esforços de maior duração e trabalho total no teste de perfil de potência (variação esperada de $\approx 2-3\%$).

REFERÊNCIAS

1. ARIFIN, W. N. A web-based sample size calculator for reliability studies. **Education in Medicine Journal**, 10, n. 3, p. 67-76, 2018.
2. ATKINSON, G.; NEVILL, A. M. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. **Sports Medicine**, 26, n. 4, p. 217-238, Oct 1998.
3. BARTLETT, J. W.; FROST, C. Reliability, repeatability and reproducibility: analysis of measurement errors in continuous variables. **Ultrasound in Obstetrics & Gynecology**, 31, n. 4, p. 466-475, Apr 2008.
4. BERTUCCI, W.; TAIAR, R.; GRAPPE, F. Differences between sprint tests under laboratory and actual cycling conditions. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, 45, n. 3, p. 277-283, Sep 2005.
5. BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **Lancet**, 1, n. 8476, p. 307-310, Feb 8 1986.
6. BORG, E.; KAIJSER, L. A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, 16, n. 1, p. 57-69, Feb 2006.
7. BUCHHEIT, M.; LAURSEN, P. B. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. **Sports Medicine**, 43, n. 10, p. 927-954, Oct 2013.
8. BUCHHEIT, M.; LAURSEN, P. B. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. **Sports Medicine**, 43, n. 5, p. 313-338, May 2013.
9. DEKERLE, J.; BRICKLEY, G.; HAMMOND, A. J.; PRINGLE, J. S. *et al.* Validity of the two-parameter model in estimating the anaerobic work capacity. **European Journal of Applied Physiology**, 96, n. 3, p. 257-264, Feb 2006.
10. HAYS, A.; NICOL, C.; BERTIN, D.; HARDOUIN, R. *et al.* Physiological and Mechanical Indices Serving the New Cross-Country Olympic Mountain Bike Performance. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 16, n. 7, p. 1008-1013, Jul 1 2021.
11. HOPKINS, W. G. Measures of reliability in sports medicine and science. **Sports Medicine**, 30, n. 1, p. 1-15, Jul 2000.
12. HOPKINS, W. G. Spreadsheets for analysis of validity and reliability. **Sportscience**, 19, p. 36-42, 2015.
13. HOPKINS, W. G.; SCHABORT, E. J.; HAWLEY, J. A. Reliability of power in physical performance tests. **Sports Medicine**, 31, n. 3, p. 211-234, 2001.

14. INOUE, A.; SA FILHO, A. S.; MELLO, F. C.; SANTOS, T. M. Relationship between anaerobic cycling tests and mountain bike cross-country performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, 26, n. 6, p. 1589-1593, Jun 2012.
15. JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. **British Journal of Nutrition**, 40, n. 3, p. 497-504, Nov 1978.
16. KARSTEN, B.; JOBSON, S. A.; HOPKER, J.; STEVENS, L. *et al.* Validity and reliability of critical power field testing. **European Journal of Applied Physiology**, 115, n. 1, p. 197-204, Jan 2015.
17. KOO, T. K.; LI, M. Y. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. **Journal of Chiropractic Medicine**, 15, n. 2, p. 155-163, Jun 2016.
18. LEO, P.; SPRAGG, J.; MUJIKA, I.; MENZ, V. *et al.* Power Profiling in U23 Professional Cyclists During a Competitive Season. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 16, n. 6, p. 881-889, Jun 1 2021.
19. LIPSKI, E. S.; SPINDLER, D. J.; HESSELINK, M. K. C.; MYERS, T. D. *et al.* Differences in Performance Assessments Conducted Indoors and Outdoors in Professional Cyclists. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 17, n. 7, p. 1054-1060, Jul 1 2022.
20. MACHADO, C. E. P.; CAPUTO, F.; LUCAS, R. D.; DENADAI, B. S. Physiological and anthropometrical factors associated with uphill off-road cycling performance. **Brazilian Journal of Science and Movement**, 10, p. 35-40, 2002.
21. MCGAWLEY, K.; BISHOP, D. Reliability of a 5 x 6-s maximal cycling repeated-sprint test in trained female team-sport athletes. **European Journal of Applied Physiology**, 98, n. 4, p. 383-393, Nov 2006.
22. MCGRAW, K. O.; WONG, S. P. Forming inferences about some intraclass correlation coefficients. **Psychological Methods**, 1, n. 1, p. 30-46, 1996.
23. MCKAY, A. K. A.; STELLINGWERFF, T.; SMITH, E. S.; MARTIN, D. T. *et al.* Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 17, n. 2, p. 317-331, Feb 1 2022.
24. MURIEL, X.; HERNANDEZ-BELMONTE, A.; MATEO-MARCH, M.; VALENZUELA, P. L. *et al.* Is the Record Power Profile Repeatable? A Practical Analysis and Interpretation in Professional Cyclists. **Journal of Strength and Conditioning Research**, 37, n. 5, p. 1131-1134, May 1 2023.
25. MURIEL, X.; MATEO-MARCH, M.; VALENZUELA, P. L.; ZABALA, M. *et al.* Durability and repeatability of professional cyclists during a Grand Tour. **European Journal of Sport Science**, 22, n. 12, p. 1797-1804, Dec 2022.

26. NORTON, K.; OLDS, T. **Anthropometrica**. Sidney, Australia: University of New South Wales Press, 1996.
27. NOVAK, A. R.; BENNETT, K. J. M.; FRANSEN, J.; DASCOMBE, B. J. Predictors of performance in a 4-h mountain-bike race. **Journal of Sports Sciences**, 36, n. 4, p. 462-468, Feb 2018.
28. PALLARES, J. G.; HERNANDEZ-BELMONTE, A.; VALENZUELA, P. L.; MURIEL, X. *et al.* Field-Derived Maximal Power Output in Cycling: An Accurate Indicator of Maximal Performance Capacity? **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 17, n. 11, p. 1558-1564, Nov 1 2022.
29. PINOT, J.; GRAPPE, F. A six-year monitoring case study of a top-10 cycling Grand Tour finisher. **Journal of Sports Sciences**, 33, n. 9, p. 907-914, 2015.
30. PRINZ, B.; SIMON, D.; TSCHAN, H.; NIMMERICHTER, A. Aerobic and Anaerobic Power Distribution During Cross-Country Mountain Bike Racing. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 16, n. 11, p. 1610-1615, Nov 1 2021.
31. QUOD, M. J.; MARTIN, D. T.; MARTIN, J. C.; LAURSEN, P. B. The power profile predicts road cycling MMP. **International Journal of Sports Medicine**, 31, n. 6, p. 397-401, Jun 2010.
32. RONNESTAD, B. R.; HANSEN, J.; NYGAARD, H.; LUNDBY, C. Superior performance improvements in elite cyclists following short-interval vs effort-matched long-interval training. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, 30, n. 5, p. 849-857, May 2020.
33. RONNESTAD, B. R.; HANSEN, J.; VEGGE, G.; MUJIK, I. Short-term performance peaking in an elite cross-country mountain biker. **Journal of Sports Sciences**, 35, n. 14, p. 1392-1395, Jul 2017.
34. SANDERS, D.; HEIJBOER, M. Physical demands and power profile of different stage types within a cycling grand tour. **European Journal of Sport Science**, 19, n. 6, p. 736-744, Jul 2019.
35. SMITH, T. B.; HOPKINS, W. G. Variability and predictability of finals times of elite rowers. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 43, n. 11, p. 2155-2160, Nov 2011.
36. VALENZUELA, P. L.; MATEO-MARCH, M.; MURIEL, X.; ZABALA, M. *et al.* Between-Seasons Variability of Cyclists' Peak Performance: A Longitudinal Analysis of "Real-World" Power Output Data in Male Professional Cyclists. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 18, n. 10, p. 1141-1144, Oct 1 2023.
37. VALENZUELA, P. L.; MATEO-MARCH, M.; ZABALA, M.; MURIEL, X. *et al.* Ambient Temperature and Field-Based Cycling Performance: Insights From Male and Female Professional Cyclists. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 17, n. 7, p. 1025-1029, Jul 1 2022.

38. VAN ERP, T.; HOOZEMANS, M.; FOSTER, C.; JJ, D. E. K. Case Report: Load, Intensity, and Performance Characteristics in Multiple Grand Tours. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 52, n. 4, p. 868-875, Apr 2020.
39. VAN ERP, T.; SANDERS, D.; LAMBERTS, R. P. Maintaining Power Output with Accumulating Levels of Work Done Is a Key Determinant for Success in Professional Cycling. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 53, n. 9, p. 1903-1910, Sep 1 2021.
40. VANDEWALLE, H.; VAUTIER, J. F.; KACHOURI, M.; LECHEVALIER, J. M. *et al.* Work-exhaustion time relationships and the critical power concept. A critical review. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, 37, n. 2, p. 89-102, Jun 1997.

2 ESTUDO 2 - PERFIL DE POTÊNCIA EM MOUNTAIN BIKERS: A INFLUÊNCIA DA FADIGA E DO NÍVEL DE DESEMPENHO

RESUMO

Fundamentação: O declínio na potência é um marcador importante da durabilidade no ciclismo, tornando relevante avaliar o desempenho de atletas de XCO-MTB sob fadiga. **Objetivos:** (i) verificar o efeito do protocolo de fadiga no perfil de potência e (ii) verificar a interação da fadiga e do nível de desempenho no perfil de potência de mountain bikers. **Métodos:** Participaram 25 atletas de XCO-MTB, os quais realizaram testes nas condições “descansado” e fatigado com pelo menos 48 h de intervalo. Nas duas condições, foi realizado o teste de perfil de potência em campo. O teste na condição fatigado foi precedido por um protocolo de fadiga que consistia em 5 repetições de 8 min a 105-110% da potência crítica. Após um intervalo de 72 h testes individuais contrarrelógio foram realizados em pista de XCO-MTB. Os testes foram realizados em ordem aleatória. Os atletas foram divididos em dois grupos (alto e baixo desempenho, HP e LP) de acordo com o tempo do contrarrelógio individual. **Resultados:** Os valores de potência em todas as durações (5 s a 10 min) e o trabalho total (kJ e $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) foram significativamente menores ($P < 0,0001$, tamanho de efeito pequeno a moderado) na condição fatigado comparado a condição “descansado”. Os grupos HP e LP, demonstraram redução percentual na potência em todas as durações e no trabalho total. Entretanto, com exceção da duração de esforço de 15 s, o grupo LP mostrou um declínio percentual significativamente maior ($\approx 14\%$ a $\approx 20\%$, $P < 0,05$ a $P < 0,01$, tamanho de efeito grande) quando comparado ao grupo HP ($\approx 4\%$ a $\approx 8\%$). **Conclusão:** A fadiga acumulada reduziu a potência do teste de perfil de potência. Mountain bikers de melhor desempenho possuem capacidade superior de sustentar valores de potência sob fadiga.

Palavras-chave: potência crítica; ciclismo *off-road*; resiliência fisiológica; resistência à fadiga.

ABSTRACT

Rationale: The decline in power output is an important marker of durability in cycling, making it relevant to assess the performance of XCO-MTB athletes under fatigue. **Objectives:** (i) to verify the effect of the fatigue protocol on the power profile and (ii) to examine the interaction between fatigue and performance level on the power profile of mountain bikers. **Methods:** Twenty-five XCO-MTB athletes participated in the study, performing tests in the “fresh” and fatigued conditions with at least 48 hours of recovery between them. In both conditions, the power profile test was performed in the field. The test in the fatigued condition was preceded by a fatigue protocol consisting of 5 repetitions of 8 min at 105-110% of critical power. After a 72-hour interval, individual time trial tests were performed on an XCO-MTB track. The tests were performed in a randomized order. The athletes were divided into two groups (high and low performance, HP and LP) based on their individual time trial results. **Results:** Power output values across all durations (5 s to 10 min) and total work (kJ and $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) were significantly lower ($P < 0.0001$, small to moderate effect size) in the fatigued condition compared to the “fresh” condition. Both the HP and LP groups showed a percentage reduction in power output across all durations and in total work. However, with the exception of the 15 s effort duration, the LP group showed a significantly greater percentage decline ($\approx 14\%$ to $\approx 20\%$, $P < 0.05$ to $P < 0.01$, large effect size) compared to the HP group ($\approx 4\%$ to $\approx 8\%$). **Conclusion:** Accumulated fatigue reduced power output in the power profile test. Higher-performing mountain bikers have a superior ability to sustain power output values under fatigue.

Keywords: critical power; off-road cycling; physiological resilience; fatigue resistance.

INTRODUÇÃO

O desempenho no ciclismo de estrada e no mountain bike (MTB) é determinado por indicadores fisiológicos “tradicionais”. No entanto, essas variáveis são comumente medidas na condição “descansado”, não levando em consideração a influência da fadiga no desempenho. Nesse sentido, evidências apoiam a importância da resistência à fadiga [14], também chamada de durabilidade ou resiliência fisiológica [11, 18] como um importante determinante do desempenho em atletas de *endurance*, principalmente ciclistas profissionais [16, 18, 39].

O perfil de potência quantifica a potência para um determinado tempo de exposição, que pode variar de um segundo a várias horas, dependendo da disciplina que o ciclista realiza, refletindo dessa forma o potencial anaeróbio e aeróbio [27, 30, 33]. O perfil de potência identifica os pontos fortes e fracos do ciclista, eliminando a opinião subjetiva; representa “uma assinatura” da capacidade física através da relação entre potência e tempo; permite a determinação de diferentes intensidades de treinamento; pode identificar eventos em que se espera que o indivíduo obtenha maior sucesso; pode ser utilizado para monitorar o desenvolvimento dos ciclistas [28] e para descrever as demandas das provas de ciclismo [32, 38]. Leo et al. [14] demonstraram que o perfil de potência de ciclistas da categoria sub-23 diminuiu após 1000-2000 kJ de trabalho, enquanto nos melhores ciclistas profissionais isso só acontece após 3000 kJ de trabalho. Recente estudo [39] demonstrou que, ciclistas escaladores com pior desempenho parecem não possuir a capacidade de produzir alta potência após uma grande quantidade de trabalho realizado (30-50 kJ·kg⁻¹), havendo redução na potência de 20 min da condição “descansado” para o fatigado. Nos escaladores de melhor desempenho esta redução foi de ≈4%, enquanto que nos escaladores de pior desempenho foi de ≈8%. Isso destaca a importância de não apenas ser capaz de produzir alta potência em estado “descansado”, mas também ser capaz de manter essa potência com níveis acumulados de trabalho realizado, ou seja, em fadiga.

Estudos ressaltaram a importância de considerar a fadiga ao avaliar o perfil de potência de atletas de *endurance* [16, 39], indicando que o declínio de potência em esforços variando de 1 s a 30 min pode servir como um marcador importante para medir a durabilidade no ciclismo de estrada [14, 39]. Deve-se notar, entretanto, que a maioria dos métodos disponíveis para avaliar atletas de *endurance* não leva em conta a influência da fadiga, que provavelmente aumentará com a duração do esforço [18].

As competições de MTB geralmente tem duração de 1,5 h para o *cross-country* Olímpico (XCO-MTB) e 4 h para o *cross-country* maratona (XCM-MTB). O XCO-MTB possui características particulares como alterações constantes de potência, sendo a capacidade de

manter a potência mecânica durante repetidos esforços de alta intensidade [9] uma qualidade importante. Por exemplo, acelerar após curvas ou obstáculos que retardam a velocidade. Os momentos decisivos no XCO-MTB ocorrem no início e principalmente durante as subidas íngremes como também no final da competição e, portanto, o esforço para vencer a competição geralmente é realizado após uma quantidade substancial de energia utilizada. Nesse contexto, pode ser útil avaliar o desempenho de um atleta de XCO-MTB em estado fatigado, porque, assim como um ciclista de estrada profissional, um mountain biker que deseja vencer uma competição deve ser capaz de produzir altas potências em estado “descansado”, mas também após grande quantidade de trabalho realizado, ou seja, com fadiga acumulada [39].

Nesse sentido, avaliar os atletas de XCO-MTB em condições de fadiga pode trazer informações importantes para a criação de estratégias mais eficientes de treinamento. No entanto, nenhuma pesquisa ainda relatou se a capacidade de sustentar maiores valores de potência em fadiga no perfil de potência pode ser um indicador do nível competitivo de atletas de XCO-MTB. Portanto, os objetivos do presente estudo foram: (i) verificar o efeito do protocolo de fadiga no perfil de potência e (ii) verificar a interação da fadiga e do nível de desempenho no perfil de potência de mountain bikers. As seguintes hipóteses foram formuladas: (i) haverá uma redução da potência no perfil de potência após protocolo de fadiga e (ii) a capacidade de sustentar melhor os valores de potência sob fadiga no perfil de potência será um indicador capaz de discriminar o nível competitivo de mountain bikers.

MÉTODO

Desenho do estudo

Este estudo transversal exigiu quatro sessões de testes para concluir a coleta de dados. Os participantes realizaram a estratificação de risco, assinaram o termo de consentimento, passaram pelas medidas antropométricas e pelo teste de potência crítica (PC). Os participantes foram avaliados em duas condições, com um intervalo mínimo de 48 horas entre elas: “descansado” e fatigado. Em ambas as condições, foi aplicado o teste de perfil de potência em campo, com a ordem das condições sendo aleatorizada. Além disso, os participantes realizaram um contrarrelógio individual em uma pista de XCO-MTB, 72 horas após o último teste (Figura 1). Os testes foram realizados em horários semelhantes do dia, com uma variação de ± 2 horas. Os testes na condição fatigado foram realizados imediatamente após um protocolo de fadiga com intensidade acima da PC. Antes de iniciar os testes, os participantes foram familiarizados com todos os protocolos. No intervalo entre os testes, os participantes realizaram sessões de treinamento aeróbio de baixa intensidade, com uma percepção subjetiva de esforço (PSE) de

10-11 na escala de Borg de 6-20 e com duração de 60 min, para minimizar a possibilidade de fadiga residual.

Os participantes realizaram os testes em campo durante o período preparatório específico da temporada (no qual não participaram de nenhuma competição), nas condições “descansado” e fatigado no mesmo local (estradas de terra com inclinação de $\approx 0-3\%$). Os testes foram conduzidos com as próprias mountain bikes dos participantes, equipadas com rodas de 29 polegadas, e a pressão dos pneus foi escolhida livremente, sendo mantida em todos os testes para garantir a consistência. Em todos os testes, a potência foi mensurada utilizando o potenciômetro SIGEYI AXO (SIGEYI Tech Co., Guangzhou, China) acoplado à bicicleta de cada participante, sendo que cada um utilizou o mesmo dispositivo em todos os testes. Para garantir maior precisão nas medidas, os participantes foram instruídos a realizar o ‘*zero-offset*’ antes de cada teste utilizando a função de calibração do Garmin (Edge 520/530, Garmin Ltd, Schaffhausen, Switzerland). No contrarrelógio individual, os participantes também utilizaram suas próprias bicicletas. As condições ambientais, como temperatura e umidade relativa, foram registradas em todos os testes e no contrarrelógio. Para minimizar variações decorrentes da influência destas condições, os testes não foram realizados em dias de chuva ou quando a temperatura excedesse 35°C. Todos os participantes foram instruídos a evitar o consumo de bebidas alcoólicas e qualquer medicação por 24 horas, além de se abster da ingestão de cafeína por 12 horas antes de cada teste e do contrarrelógio individual de XCO-MTB, mantendo seus preparativos habituais para competições. Eles também foram orientados a padronizar a ingestão alimentar (ou seja, a manter a mesma alimentação habitual, sem qualquer interferência do pesquisador) na noite anterior, durante os dias dos testes em ambas as condições e no contrarrelógio, além de se hidratar *ad libitum*, apenas com água.

Para determinar o nível de desempenho, os participantes foram classificados em ordem crescente com base no tempo total do contrarrelógio individual. Em seguida, foram divididos em tercís, sendo o primeiro tercil classificado como grupo de alto desempenho (HP) e o terceiro tercil como grupo de baixo desempenho (LP). Os atletas do segundo tercil foram excluídos da análise para assegurar uma comparação adequada entre grupos com diferentes níveis de desempenho.

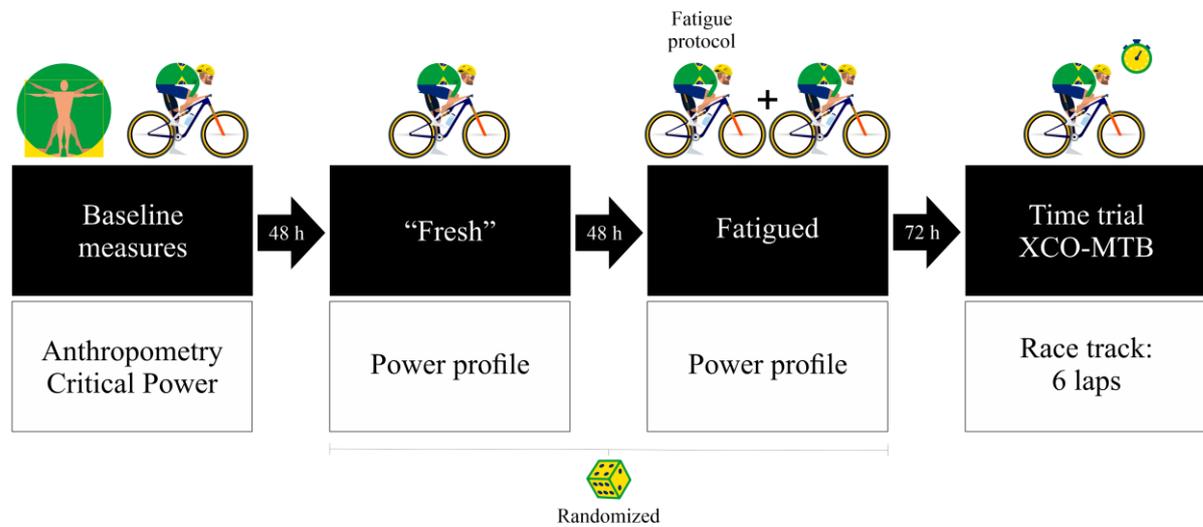


Figura 1. Representação esquemática do desenho do estudo.

Fonte: O autor, 2025.

Participantes

O tamanho da amostra ($n = 24$) foi determinado *a priori* usando o pacote estatístico G*Power 3.1.9.7 (Universidade de Düsseldorf, Düsseldorf, Alemanha) considerando um poder de 0,80 e alfa de 0,05 (ver Anexo C). Entretanto, para compensar possíveis desistências, foram recrutados 25 atletas masculinos de XCO-MTB (≥ 18 anos) por meio de treinadores, clubes de ciclismo e contatos pessoais na comunidade do mountain bike. Todos os participantes estavam em treinamento competitivo ≥ 6 vezes por semana, com duração de pelo menos 10 horas semanais, e possuíam experiência mínima de 3 anos em competições de XCO-MTB. As características descritivas dos participantes estão apresentadas na Tabela 1. Com base no nível competitivo e histórico de treinamento, os participantes foram classificados como nível 2: treinados e nível 3: altamente treinados, de acordo com os critérios de McKay et al. [19]. Qualquer participante que apresentasse doença ou lesão foi excluído da análise. Os participantes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido após receberem explicações verbais e por escrito sobre o protocolo experimental e compreenderem completamente os possíveis riscos envolvidos em sua participação. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do Hospital Universitário Pedro Ernesto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (parecer número: 5.774.538) e seguiu os princípios estabelecidos na declaração de Helsinki.

Tabela 1. Características dos atletas.

Variáveis	HP (n = 9)	LP (n = 9)	Total (n = 25)
Idade (anos)	34,8 ± 5,9	36,2 ± 8,1	35,8 ± 7,2
Massa corporal (kg)	67,3 ± 4,5*	77,2 ± 7,6	71,2 ± 7,4
Estatura (cm)	175,9 ± 4,7	176,6 ± 7,5	176,4 ± 5,7
Gordura corporal (%)	7,9 ± 2,4*	14,0 ± 4,8	10,5 ± 4,6
Potência crítica (W)	310,8 ± 21,9**	266,0 ± 19,2	283,8 ± 30,9
Potência crítica (W·kg ⁻¹)	4,6 ± 0,4***	3,5 ± 0,3	4,0 ± 0,6
W' (kJ)	10,7 ± 2,7	13,8 ± 5,7	12,6 ± 4,6
Experiência no XCO-MTB (anos)	10,6 ± 7,0	7,6 ± 6,8	9,5 ± 6,4
Treinamento por semana (horas)	12,3 ± 2,2	10,8 ± 0,9	11,5 ± 1,6

Nota: Os dados são apresentados como média ± desvio padrão. HP = alto desempenho, LP = baixo desempenho, W' = capacidade/quantidade de trabalho que pode ser realizado acima da potência crítica, XCO-MTB = mountain bike cross-country Olímpico. Diferença significativa entre os grupos HP e LP: * $P < 0,01$, ** $P < 0,001$, *** $P < 0,0001$.

Fonte: O autor, 2025.

Medidas Antropométricas

A massa corporal e a estatura foram medidas com uma balança e um estadiômetro integrados (Welmy 110 CH, São Paulo, SP, Brasil), enquanto as dobras cutâneas foram medidas com um adipômetro CESCORF (Porto Alegre, RS, Brasil). O percentual de gordura corporal foi estimado por meio de uma equação de três dobras específicas para o sexo masculino [10].

Teste de potência crítica

O teste de potência crítica foi composto por três esforços máximos realizados ao ar livre em estrada de terra com inclinação de $\approx 0-3\%$, com durações de 12, 7 e 3 min, e um período de recuperação ativa de 30 min entre cada esforço [12]. O intervalo de recuperação de 30 min foi adotado para permitir a reconstituição da capacidade de trabalho acima da potência crítica (W') [34]. Entre os esforços máximos, os participantes foram orientados a não ultrapassar uma PSE de 10-11 na escala de Borg de 6-20 antes de avançar para o esforço seguinte. Antes de cada esforço, foram incentivados a alcançar a maior potência possível e instruídos a manter uma cadência entre 80 e 100 rotações por minuto (rev·min⁻¹). Antes do início do teste, os participantes realizaram um aquecimento de 20 min com uma PSE de 10-11 na escala de Borg de 6-20. Eles receberam feedback em tempo real sobre a potência, tempo e cadência. Os esforços de 12, 7 e 3 min foram registrados utilizando o dispositivo Garmin (Edge 520/530,

Garmin Ltd, Schaffhausen, Switzerland). Os dados foram baixados para plataforma Garmin Connect (<https://connect.garmin.com/>) onde foram identificadas as potências médias correspondentes a cada duração de esforço (12, 7 e 3 min). Estes dados foram extraídos e posteriormente analisados em uma planilha do Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EUA) para determinar a PC e W' através do modelo matemático linear potência – 1/tempo: $Potência = CP + (W' \cdot 1/tempo)$ [5].

Teste de perfil de potência

O teste de perfil de potência consistiu na realização de sete esforços máximos (6 s, 6 s, 15 s, 30 s, 1:00 min:s, 4:00 min:s e 10:00 min:s), com períodos de recuperação ativa de 54 s, 2:54 min:s, 3:45 min:s, 5:30 min:s, 8:00 min:s e 10:00 min:s, respectivamente [24]. O primeiro esforço de 6 s foi realizado partindo da inércia e de pé e os esforços restantes foram realizados partindo em movimento. Os participantes foram orientados a ajustar as marchas para produzir a maior potência possível em cada esforço. Durante os períodos de recuperação, mantiveram uma intensidade entre $\approx 50-100$ W. Eles foram instruídos a manter uma cadência auto-selecionada e puderam ficar de pé quando necessário durante cada esforço. Antes de iniciar o teste, os participantes realizaram um aquecimento de 20 min com uma PSE 10-11 na escala de Borg de 6-20. Os dados de potência gerados durante o teste foram transmitidos para um dispositivo Garmin (Edge 520/530, Garmin Ltd, Schaffhausen, Switzerland) e, em seguida, transferidos da plataforma Garmin Connect (<https://connect.garmin.com/>) para uma planilha do Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EUA), onde foram organizados e submetidos a análises exploratórias iniciais. Conforme descrito por Quod et al. [30], a partir dos dois esforços de 6 s, foi registrada a potência de 5 s e o trabalho total realizado durante os esforços máximos (5 s, 15 s, 30 s, 1 min, 4 min e 10 min) foi calculado pela soma do trabalho produzido (kJ) em cada esforço. Ao final do teste, os participantes forneceram um escore da PSE na escala de Borg de 6-20 [3] e um escore da percepção de fadiga em escala numérica de 11 pontos, variando de 0 a 10 [20].

Protocolo de fadiga

O teste na condição “descansado” foi conduzido sem que os atletas realizassem, no mesmo dia, qualquer treinamento prévio de longa duração ou alta intensidade. Imediatamente antes de iniciar o teste na condição fatigado, os participantes realizaram um protocolo de fadiga composto por 20 min a 50-70% da PC, seguido de 5 repetições de 8 min a 105-110% da PC. Cada esforço de 8 min foi intercalado por 8 min de recuperação ativa, durante os quais os

participantes foram instruídos a não exceder uma PSE de 10-11 na escala de Borg de 6-20 antes de continuar com o próximo esforço. Posteriormente, os participantes pedalarão por 40 min em uma intensidade que não ultrapassasse uma PSE de 10-11 na escala de Borg de 6-20, visando à recuperação do W' [36]. Durante o protocolo de fadiga, eles foram orientados a manter uma cadência auto-selecionada, evitar o consumo de cafeína e se hidratar *ad libitum* apenas com água [36]. Ao término do teste de perfil de potência realizado após o protocolo de fadiga, os participantes relataram um escore de PSE na escala de Borg de 6-20 [3] e um escore de percepção de fadiga em uma escala numérica de 11 pontos, variando de 0 a 10 [20]. Antes de cada teste nas condições “descansado” e fatigado, os participantes forneceram um escore da sensação de bem-estar nas pernas em uma escala de 1 a 9 [31]. O bem-estar nas pernas representa a percepção do atleta sobre o quão boas (fortes) ou pesadas (fracas) suas pernas estão antes da realização dos testes, sendo: 1 = muito, muito boa, 2 = muito boa, 3 = boa, 4 = um pouco boa, 5 = normal, 6 = um pouco pesada, 7 = pesada, 8 = muito pesada e 9 = muito, muito pesada.

Teste de desempenho (contrarrelógio individual)

Para superar as limitações inerentes às competições de largada em massa, como a dificuldade em recuperar o tempo perdido devido a acidentes ou à lentidão de competidores em trechos de *single track*, optou-se por realizar um contrarrelógio individual em uma pista de XCO-MTB especificamente organizado para este estudo. O perfil do percurso foi registrado com um GPS Garmin Edge 530 (Garmin Ltd, Schaffhausen, Switzerland). Os participantes realizaram seis voltas em um trajeto considerado tecnicamente fácil, com o objetivo de reduzir a influência das habilidades técnicas no desempenho final. Cada volta tinha uma extensão de 2,3 km e altimetria de 123,7 m, resultando em um ganho de elevação acumulado de 742 m (Figura 2).

Os atletas foram orientados a completar o contrarrelógio individual no menor tempo possível, com a troca de marchas, cadência e posição (sentado ou em pé) a critério individual. Para aquecimento e familiarização com o percurso, cada atleta realizou duas voltas no trajeto de cross-country com intensidade auto-selecionada. O tempo, a frequência cardíaca (Edge 520/530, Garmin Ltd, Schaffhausen, Switzerland) e a potência SIGEYI AXO (SIGEYI Tech Co., Guangzhou, China) foram monitorados continuamente a cada volta durante o contrarrelógio individual. Na Tabela 2 estão descritas as características do contrarrelógio individual de XCO-MTB. Antes do contrarrelógio individual, os participantes foram orientados a realizar o ‘*zero-offset*’ do potenciômetro utilizando a função de calibração do dispositivo

Garmin (Edge 520/530, Garmin Ltd, Schaffhausen, Switzerland). A hidratação *ad libitum* foi permitida apenas com água. Adotamos o tempo total para completar o contrarrelógio individual como indicador de desempenho.

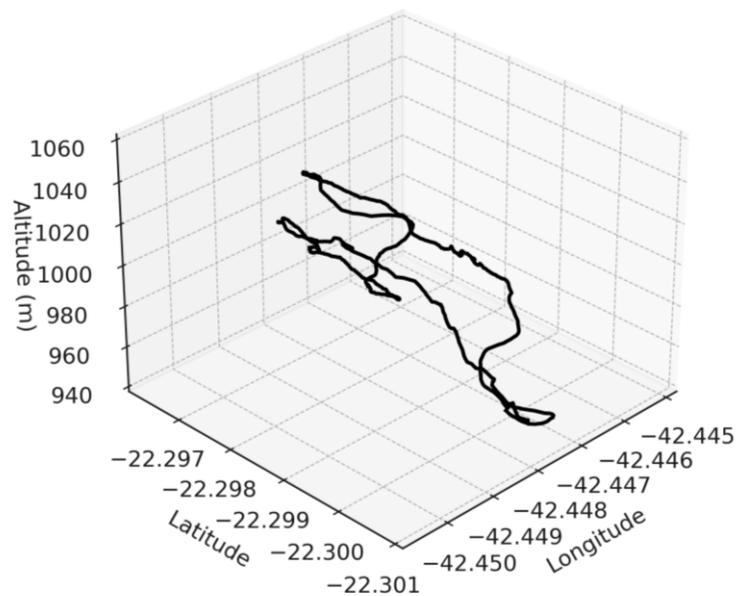
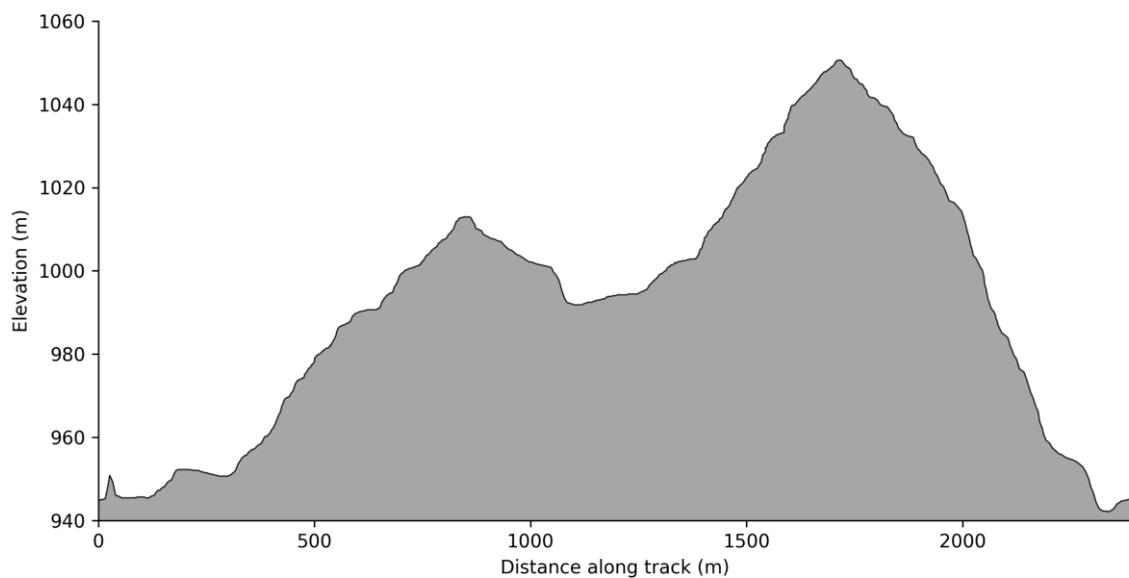
A**B**

Figura 2. Perfil do percurso do contrarrelógio individual de XCO-MTB. (A) Mostra uma representação tridimensional e (B) uma representação bidimensional.

Fonte: O autor, 2025.

Determinação da durabilidade

Os perfis de potência (“descansado” e fatigado) foram criados a partir dos valores de potência absoluta (W) e relativa à massa corporal ($W \cdot kg^{-1}$) considerando as durações de 5 s, 15 s, 30 s, 1 min, 4 min e 10 min. A durabilidade dos grupos HP e LP foi avaliada com base na diferença de potência entre as condições “descansado” e fatigado. Os valores de potência (5 s, 15 s, 30 s, 1 min, 4 min e 10 min) na condição fatigado foram expressos como uma porcentagem dos respectivos valores de potência na condição “descansado”. Por exemplo, se a potência de 10 min “descansado” for 350 W e fatigado for 320 W, o declínio percentual para 10 min seria: $(320 - 350) / 350 \times 100 = -8,6\%$. Um declínio menor, como -5% por exemplo, indica maior durabilidade.

Análise estatística

A normalidade dos dados foi verificada por meio do teste de Shapiro-Wilk. O teste de Levene foi utilizado para verificar a homogeneidade das variâncias entre os grupos HP e LP. Quando o pressuposto de homogeneidade das variâncias foi violado, as análises foram corrigidas utilizando o teste *t* de Welch, que é apropriado para situações de desigualdade de variâncias. As variáveis foram descritas como média \pm desvio padrão (DP). O teste *t* pareado foi utilizado para verificar o efeito do protocolo de fadiga na potência absoluta e relativa à massa corporal do perfil de potência, considerando todos os 25 participantes. Foram conduzidos testes *t* para amostras independentes a fim de comparar a idade, as variáveis antropométricas, PC, W', experiência competitiva, horas de treinamento por semana, características do contrarrelógio individual e o declínio percentual nos valores de potência do perfil de potência entre os grupos HP e LP.

Foi realizada uma ANOVA fatorial de medidas repetidas 2 x 2, utilizando o estado de fadiga (dois níveis: “descansado” e fatigado) como fator intra-sujeitos e o grupo (dois níveis: HP e LP) como fator entre-sujeitos. Quando uma interação significativa foi identificada, foi realizada uma análise post-hoc com ajuste de Bonferroni para todas as comparações pareadas, a fim de identificar as diferenças exatas entre as variáveis e minimizar o risco de erro Tipo I. A esfericidade foi verificada pelo teste de Bartlett e quando esta não foi assumida, aplicou-se a correção de Greenhouse-Geisser. Quando os dados não apresentaram distribuição normal, a ANOVA fatorial de medidas repetidas, os testes *t* pareados e os testes *t* para amostras independentes foram utilizados, conforme recomendado por Norman [23].

Os tamanhos de efeito para as diferenças entre os grupos HP e LP, e entre as condições “descansado” e fatigado, foram relatados como *g* de Hedges (Hedges’*g*), apropriado por ser não

enviesado e ajustado para amostras pequenas ($n < 20$) [13]. Os tamanhos de efeito foram interpretados da seguinte forma: $< 0,2$, trivial; $0,2-0,6$, pequeno; $0,6-1,2$, moderado; $1,2-2,0$, grande; $2,0-4,0$, muito grande; $> 4,0$, quase perfeito [6]. As análises foram realizadas no SPSS (versão 25.0; IBM SPSS, Chicago, IL, EUA). Com exceção das Figuras 1 e 2, todas as demais foram geradas no GraphPad Prism (versão 8.3.0, GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA). O nível de significância adotado foi de $P < 0,05$ bicaudal.

RESULTADOS

Características do contrarrelógio individual

Os resultados do contrarrelógio individual de XCO-MTB, mostraram diferenças significativas entre os grupos HP e LP no tempo para completar o contrarrelógio, na cadência média, potência média em W e $W \cdot \text{kg}^{-1}$ e na potência normalizada em W e $W \cdot \text{kg}^{-1}$ (Tabela 2).

“Descansado” versus fatigado

A temperatura e a umidade permaneceram estáveis durante todos os testes. No teste “descansado”, a temperatura foi de $15,7 \text{ }^\circ\text{C} \pm 4,6 \text{ }^\circ\text{C}$, enquanto no teste fatigado foi de $16,9 \text{ }^\circ\text{C} \pm 4,9 \text{ }^\circ\text{C}$ ($P = 0,119$). A umidade relativa foi de $83,5\% \pm 8,4\%$ no teste “descansado” e $81,1\% \pm 8,9\%$ no teste fatigado ($P = 0,257$).

A quantidade de trabalho acumulado realizado durante o protocolo de fadiga considerando todos os 25 participantes foi de $1310 \text{ kJ} \pm 162 \text{ kJ}$, o que equivale a $18,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \pm 2,8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

A Figura 3 apresenta o efeito do protocolo de fadiga sobre a potência absoluta e relativa à massa corporal do perfil de potência, considerando todos os 25 participantes. Os valores de potência em todas as durações (5 s a 10 min) e o trabalho total (kJ e $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) foram significativamente menores ($P < 0,0001$, tamanho de efeito pequeno a moderado) na condição fatigado comparado a condição “descansado”. A fadiga acumulada causou redução percentual de $-8,8 \pm 7,7\%$, $-10,6 \pm 7,2\%$, $-13,2 \pm 9,5\%$, $-15,3 \pm 9,5\%$, $-10,2 \pm 7,2\%$, $-9,0 \pm 7,7\%$ e $-10,2 \pm 6,6\%$ da potência nas durações de 5 s, 15 s, 30 s, 1 min, 4 min, 10 min e trabalho total respectivamente. Em complemento, todos os testes na condição fatigado apresentaram %PC menor comparados a condição “descansado” ($P < 0,0001$). O %PC para as durações de 5 s, 15 s, 30 s, 1 min, 4 min e 10 min na condição “descansado” foi $321,7 \pm 52,0\%$, $278,2 \pm 43,4\%$, $231,7 \pm 30,4\%$, $175,1 \pm 19,7\%$, $121,3 \pm 8,6\%$, $106,5 \pm 5,5\%$ e para a condição fatigado, $292,6 \pm 49,5\%$, $248,7 \pm 42,4\%$, $200,1 \pm 26,3\%$, $147,6 \pm 19,5\%$, $108,8 \pm 10,8\%$, $96,8 \pm 8,4\%$ respectivamente.

Um efeito de interação significativo foi observado para os valores de potência expressos em unidades absolutas e relativas a massa corporal em todas as durações de esforço ($P = 0,005$), exceto para a duração de 15 s (em W, $P = 0,138$ e $W \cdot kg^{-1}$, $P = 0,273$). Entretanto, foi observado efeito principal da condição (“descansado” vs. fatigado, $P < 0,0001$ para a duração de 15 s). Em análises post hoc, a condição “descansado” apresentou maiores valores de potência para as durações de 5 s, 30 s, 1 min, 4 min, 10 min ($P < 0,05$ a $P < 0,0001$) e trabalho total ($P < 0,01$) e nos dois grupos (HP e LP) quando comparado a condição fatigado (Figura 4). O tamanho de efeito encontrado variou de $g = 0,32$ a $1,39$, pequeno a grande para as durações entre 5 s e 10 min. Para o trabalho total (em kJ e $kJ \cdot kg^{-1}$), o tamanho de efeito apresentado ficou entre $g = 0,62$ e $1,52$, moderado a grande. De forma geral, observa-se que para o grupo LP nas diferentes durações de esforço e trabalho total, os tamanhos de efeito são maiores, comparado ao grupo HP, tanto para os valores expressos em unidades absolutas, quanto relativas a massa corporal.

A duração 5 s (W) do grupo HP na condição fatigado não apresentou distribuição normal ($P = 0,04$). Mesmo essa variável não apresentando distribuição normal, nós optamos por aplicar o teste paramétrico devido ao pressuposto de esfericidade ter sido atendido [2], além de ser reportado como apropriado por Norman [23].

Tabela 2. Resultados do contrarrelógio individual de XCO-MTB.

Variáveis	HP (n = 9)	LP (n = 9)	Total (n = 25)
Tempo CRI (min:s)	64:33 ± 3:22***	80:45 ± 5:37	72:24 ± 8:03
Distância total CRI (km)	13,9	13,9	13,9
Subida total CRI (m)	742	742	742
FC média CRI (% FC máx)	92,9 ± 1,4	91,3 ± 2,8	92,2 ± 2,1
Cadência média CRI (rpm)	73,8 ± 3,6*	67,9 ± 3,6	70,4 ± 4,8
Potência média CRI (W)	240,4 ± 14,3**	204,6 ± 19,8	220,7 ± 24,6
Potência média CRI ($W \cdot kg^{-1}$)	3,6 ± 0,3***	2,7 ± 0,2	3,1 ± 0,5
Potência média CRI (% PC)	77,5 ± 3,7	76,9 ± 5,3	77,9 ± 4,8
NP CRI (W)	289,0 ± 14,8**	244,3 ± 22,8	264,8 ± 29,0
NP CRI ($W \cdot kg^{-1}$)	4,3 ± 0,4***	3,2 ± 0,3	3,8 ± 0,6
NP CRI (% PC)	93,2 ± 4,3	91,8 ± 5,3	93,4 ± 5,1

Nota: Os dados são apresentados como média ± desvio padrão. HP = alto desempenho, LP = baixo desempenho, CRI = contrarrelógio individual, XCO-MTB = mountain bike cross-country Olímpico, FC = frequência cardíaca, rpm = rotações por minuto, PC = potência crítica, NP = potência normalizada. Diferença significativa entre os grupos HP e LP: * $P < 0,01$, ** $P < 0,001$, *** $P < 0,0001$.

Fonte: O autor, 2025.

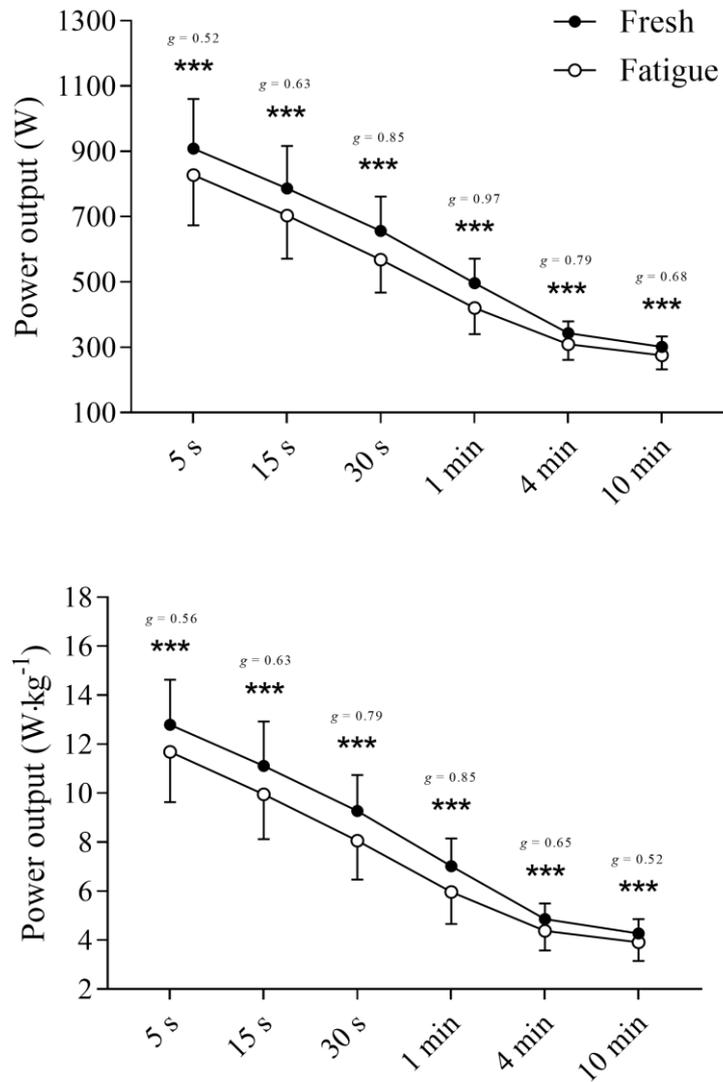


Figura 3. Diferenças na potência absoluta e relativa do perfil de potência entre as condições “descansado” e fatigado. Os tamanhos de efeito são relatados como g de Hedges. Diferença significativa entre “descansado” e fatigado: $***P < 0,0001$.

Fonte: O autor, 2025.

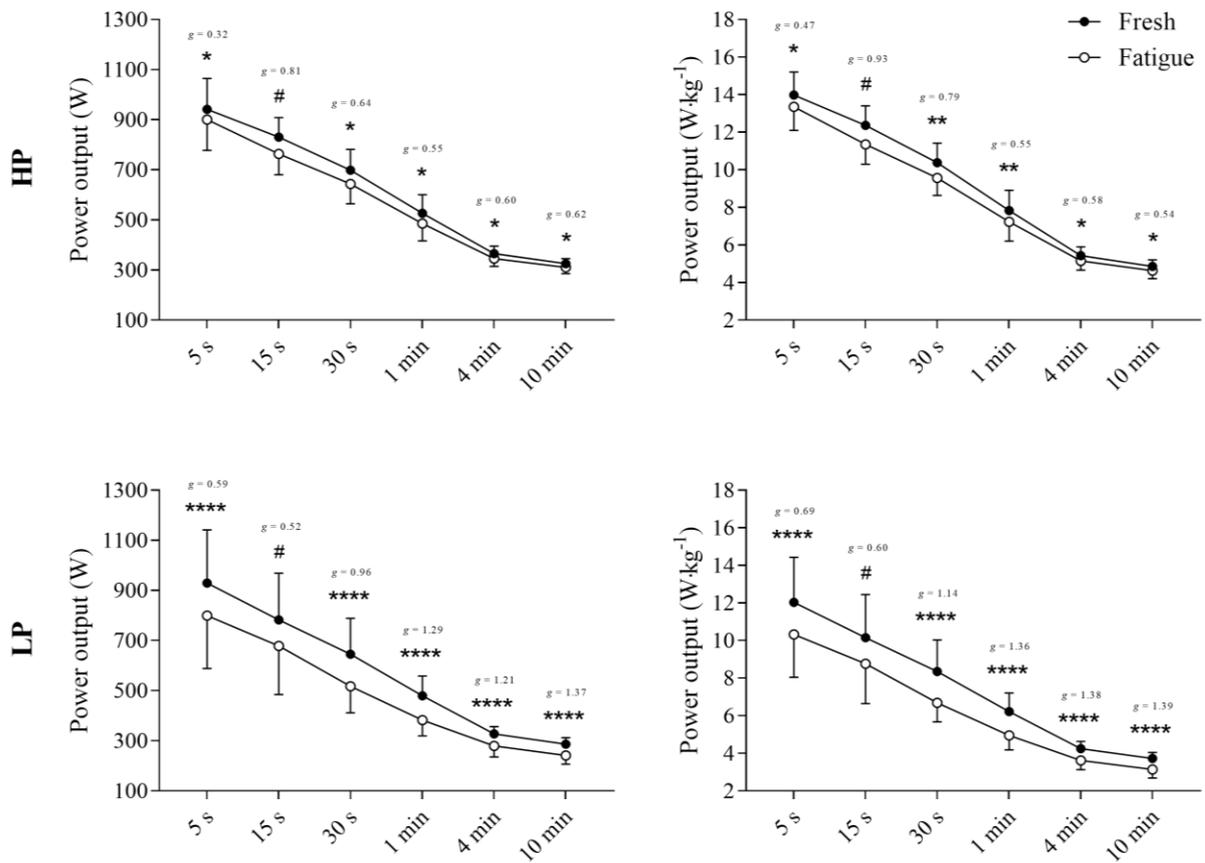


Figura 4. Diferenças na potência absoluta e relativa do perfil de potência entre as condições “descansado” e fatigado dos grupos HP e LP. Os tamanhos de efeito são relatados como g de Hedges. HP = alto desempenho, LP = baixo desempenho. Diferença significativa entre “descansado” e fatigado: * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$, **** $P < 0,0001$. Efeito principal da condição (“descansado” vs. fatigado) para a duração de 15 s: # $P < 0,0001$.
Fonte: O autor, 2025.

Alteração do bem-estar das pernas, PSE e percepção de fadiga

Não foi identificado um efeito de interação significativo entre os grupos HP e LP ($P = 0,955$) na comparação do bem-estar das pernas, PSE e percepção de fadiga. Entretanto, houve um efeito principal significativo para a condição “descansado” e fatigado ($P = 0,0003$). O bem-estar das pernas no perfil de potência não apresentou diferença significativa entre as condições “descansado” e fatigado ($P = 0,224$), com um tamanho de efeito pequeno ou trivial. Porém, tanto a PSE quanto a percepção de fadiga foram significativamente maiores na condição fatigado ($P < 0,001$ e $P < 0,0001$ respectivamente), com um tamanho de efeito grande (Tabela 3).

Tabela 3. Respostas de bem-estar das pernas, PSE e percepção de fadiga.

Variáveis		“Descansado”	Interp.	Fatigado	Interp.	<i>g</i>	Interp.
Bem-estar das pernas (a.u.)	HP	3,6 ± 1,1	< Um pouco boa	3,9 ± 2,0	Um pouco boa	0,20	Trivial
	LP	3,3 ± 0,9	< Um pouco boa	4,1 ± 1,5	Um pouco boa	0,59	Peq.
PSE (a.u.)	HP	14,3 ± 1,4*	< Difícil	17,1 ± 1,8	Muito difícil	1,65	Grande
	LP	14,6 ± 2,3*	< Difícil	17,7 ± 1,9	Muito difícil	1,41	Grande
Percepção de fadiga (a.u.)	HP	4,3 ± 1,5**	< Mod. fatigado	7,4 ± 2,2	Muito fatigado	1,58	Grande
	LP	4,4 ± 2,1**	< Mod. fatigado	7,7 ± 1,7	Muito fatigado	1,64	Grande

Nota: Os dados são apresentados como média ± desvio padrão. HP = alto desempenho, LP = baixo desempenho, PSE = percepção subjetiva de esforço, a.u. = unidades arbitrárias, *g* = *g* de Hedges, Interp. = interpretação, Peq. = pequeno, Mod. fatigado = moderadamente fatigado. Diferença significativa entre as condições “descansado” e fatigado: **P* < 0,001, ***P* < 0,0001.

Fonte: O autor, 2025.

HP versus LP

A quantidade de trabalho acumulado realizado durante o protocolo de fadiga no grupo HP foi de $1395 \text{ kJ} \pm 174 \text{ kJ}$, o que equivale a $20,8 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1} \pm 2,8 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ e no grupo LP foi de $1268 \text{ kJ} \pm 132 \text{ kJ}$, o que equivale a $16,5 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1} \pm 2,0 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Houve uma redução percentual na potência em todas as durações e no trabalho total para ambos os grupos. No entanto, com exceção da duração de esforço de 15 s, o grupo LP mostrou um declínio percentual significativamente maior ($P < 0,05$ a $P < 0,01$, tamanho de efeito grande) comparado ao grupo HP (Figura 5). No grupo HP, a fadiga acumulada causou redução percentual de $-4,4 \pm 2,0\%$, $-8,3 \pm 1,9\%$, $-7,8 \pm 2,1\%$, $-7,8 \pm 1,5\%$, $-5,3 \pm 3,0\%$, $-4,7 \pm 2,8\%$ e $-5,4 \pm 2,1\%$ da potência nas durações de 5 s, 15 s, 30 s, 1 min, 4 min, 10 min e trabalho total respectivamente. Já no grupo LP, o exercício prévio provocou redução percentual de $-14,1 \pm 8,7\%$, $-13,7 \pm 7,6\%$, $-18,8 \pm 9,8\%$, $-19,6 \pm 9,8\%$, $-14,8 \pm 9,1\%$, $-15,8 \pm 9,0\%$ e $-16,1 \pm 7,3\%$ da potência nas durações de 5 s, 15 s, 30 s, 1 min, 4 min, 10 min e trabalho total respectivamente.

Observou-se um efeito de interação significativo para os valores de potência expressos em unidades absolutas e relativas em ambos os grupos ($P = 0,005$), com exceção da duração de 15 s (em W, $P = 0,138$ e em $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$, $P = 0,273$). Em análises post hoc, o grupo LP mostrou menores valores de potência expressos em unidades absolutas para as durações de 4 min e 10 min nas duas condições (“descansado” e fatigado) quando comparado ao grupo HP, tamanho de efeito de $g = 1,19$ a $2,12$, moderado a muito grande (Figura 6). Não houve diferença significativa para a duração de 5 s (W) entre os dois grupos nas duas condições, tamanho de efeito de $g = 0,07$ a $0,55$, trivial a pequeno. Para as durações de 30 s (W) e 1 min (W), as diferenças entre HP e LP só foram significativas na condição fatigado ($P < 0,05$ e $P < 0,01$, respectivamente), tamanho de efeito de $g = 1,28$ e $1,49$, grande (Figura 6). O trabalho total (em kJ) apresentou diferença significativa entre os dois grupos, tanto na condição “descansado” ($P = 0,014$), tamanho de efeito de $g = 1,24$, grande, quanto na fatigado ($P = 0,0005$), tamanho de efeito de $g = 1,95$, grande. Já para os valores de potência expressos em unidades relativas a massa corporal, o grupo LP mostrou menores valores de potência para as durações de 5 s, 30 s, 1 min, 4 min e 10 min nas duas condições ($P < 0,05$ a $P < 0,0001$, tamanho de efeito de $g = 0,97$ a $3,20$, moderado a muito grande) quando comparado ao grupo HP (Figura 6). O trabalho total (em $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) mostrou diferença significativa entre HP e LP, tanto na condição “descansado” ($P < 0,0001$), tamanho de efeito de $g = 2,81$, muito grande, quanto na fatigado ($P < 0,0001$), tamanho de efeito de $g = 3,28$, muito grande. Em linhas gerais, observa-se que para a condição fatigado nas diferentes durações de esforço e trabalho total, os tamanhos de efeito

são maiores, comparado a condição “descansado”, tanto para os valores expressos em unidades absolutas, quanto relativas a massa corporal.

A redução percentual da potência na duração de 4 min e no trabalho total do grupo LP não seguiu uma distribuição normal ($P < 0,05$). Embora estas variáveis não apresentem distribuição normal, optamos pelo uso de teste paramétrico com base na semelhança entre o valor da média (4 min = -14,8% e trabalho total = -16,1%) e da mediana (4 min = -11,0% e trabalho total = -13,1%), além de ser reportado como apropriado por Norman [23]. As demais variáveis confirmaram a normalidade dos dados ($P > 0,05$).

O grupo HP apresentou maior %PC na duração de 10 min na condição fatigado em comparação ao grupo LP ($P < 0,05$). Para as demais durações e condições, não foram observadas diferenças significativas entre os grupos. O %PC para as durações de 5 s, 15 s, 30 s, 1 min, 4 min e 10 min para HP foram $303,5 \pm 36,6\%$, $267,7 \pm 22,1\%$, $224,7 \pm 21,2\%$, $169,5 \pm 21,1\%$, $117,6 \pm 8,1\%$, $105,0 \pm 4,9\%$ respectivamente e para LP foram $348,2 \pm 68,4\%$, $293,3 \pm 62,9\%$, $241,3 \pm 45,2\%$, $179,5 \pm 22,3\%$, $123,0 \pm 7,2\%$, $107,7 \pm 6,0\%$ respectivamente na condição “descansado”. Para a condição fatigado, o %PC nas durações de 5 s, 15 s, 30 s, 1 min, 4 min e 10 min no grupo HP foram $290,1 \pm 35,7\%$, $245,8 \pm 23,8\%$, $207,2 \pm 20,9\%$, $156,3 \pm 20,0\%$, $111,3 \pm 8,3\%$, $100,1 \pm 5,0\%$ respectivamente e para o grupo LP foram $299,9 \pm 70,3\%$, $253,9 \pm 63,8\%$, $193,8 \pm 31,4\%$, $143,1 \pm 17,0\%$, $104,8 \pm 13,0\%$, $90,7 \pm 10,6\%$ respectivamente.

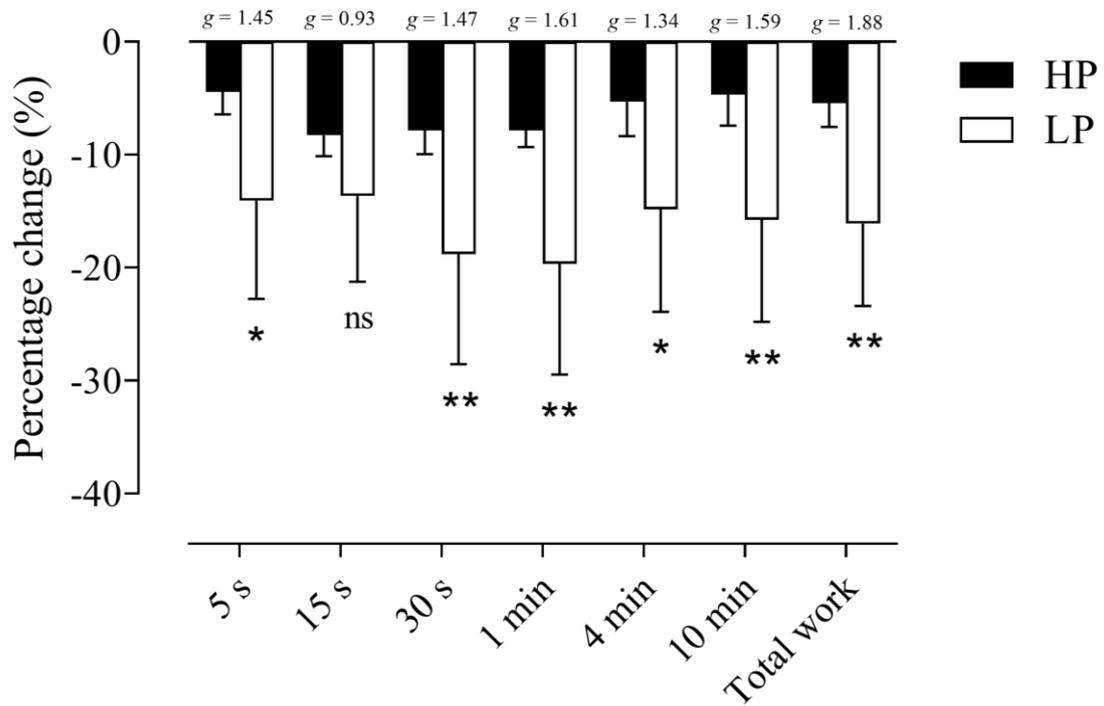


Figura 5. Diferenças no declínio da potência do perfil de potência entre os grupos HP e LP. As mudanças são expressas como uma redução percentual da potência em comparação com o estado “descansado”. Os tamanhos de efeito são relatados como g de Hedges. HP = alto desempenho, LP = baixo desempenho, ns = não significativo. Diferença significativa entre HP e LP: * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$.

Fonte: O autor, 2025.

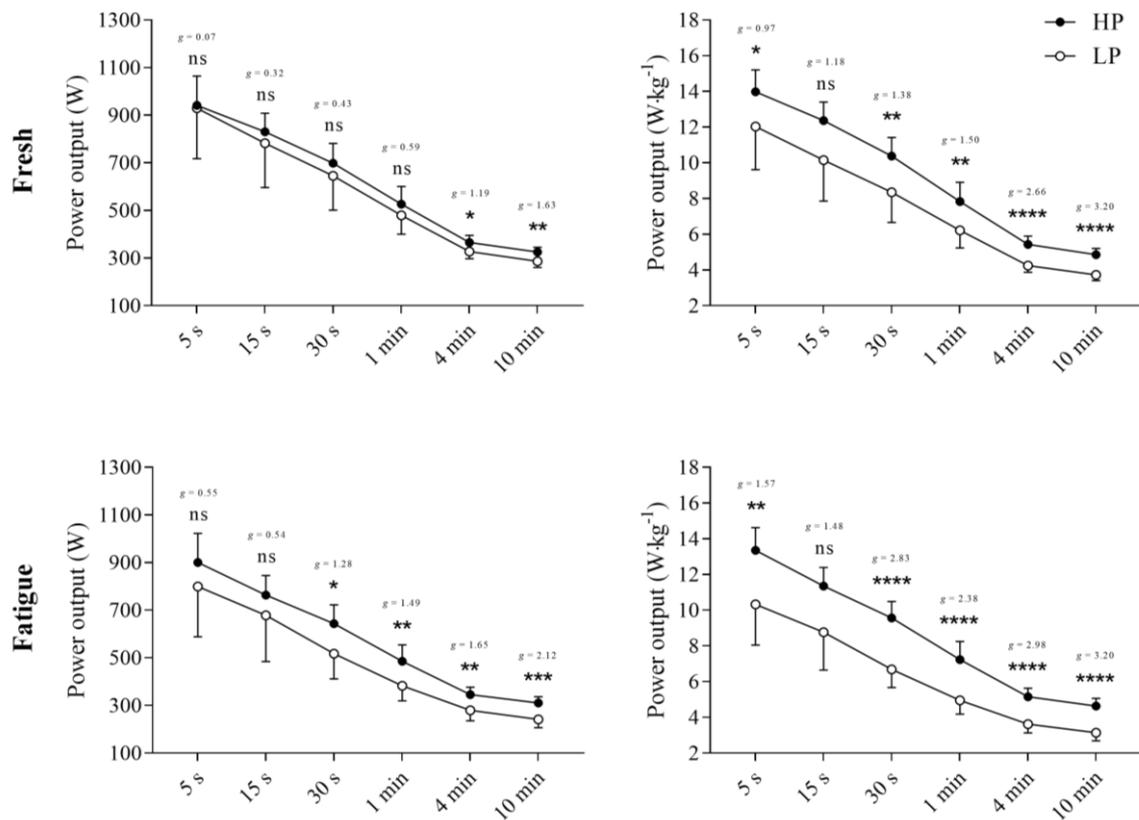


Figura 6. Diferenças na potência absoluta e relativa do perfil de potência entre os grupos HP e LP nas condições “descansado” e fatigado. Os tamanhos de efeito são relatados como *g* de Hedges. HP = alto desempenho, LP = baixo desempenho, ns = não significativo. Diferença significativa entre HP e LP: * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$, **** $P < 0,0001$.
Fonte: O autor, 2025.

DISCUSSÃO

Os objetivos deste estudo foram, verificar o efeito do protocolo de fadiga no perfil de potência e verificar a interação da fadiga e do nível de desempenho no perfil de potência de mountain bikers. Os principais achados, conforme hipotetizados, foram: (i) ocorreu redução na potência em todas as durações (5 s a 10 min) e no trabalho total (kJ e kJ·kg⁻¹) do perfil de potência após protocolo de fadiga (ou seja, após o acúmulo de fadiga) e (ii) a capacidade de resistir à fadiga no perfil de potência foi superior em mountain bikers de melhor desempenho em comparação aos de pior desempenho. Com exceção da duração de esforço de 15 s, o grupo HP mostrou um declínio percentual significativamente menor (tamanho de efeito grande) quando comparado ao grupo LP, sugerindo que a habilidade de minimizar a queda de potência provocada pela fadiga em diferentes durações de esforço é um fator importante para o sucesso de mountain bikers.

Contrarrelógio individual

Durante o contrarrelógio individual de XCO-MTB, foi observado que a frequência cardíaca (FC) média alcançou $\approx 92\%$ da FC máxima (Tabela 2), confirmando os resultados de outros estudos com atletas de XCO-MTB, que reportaram uma FC média de $\approx 90\%$ da máxima durante competições [7, 9]. Este resultado indica que os atletas empenharam-se ao máximo para concluir o contrarrelógio no menor tempo possível. Em complemento, os atletas completaram o contrarrelógio individual de XCO-MTB com uma potência normalizada¹ (NP) que correspondeu a $\approx 93\%$ da PC. Resultados parcialmente semelhantes foram relatados por Smyth & Muniz-Pumares [35], em corredores de maratona recreacionais. Esses autores mostraram que corredores mais rápidos (tempo para finalizar a maratona em ≈ 150 min) completaram a maratona a 93% da velocidade crítica (VC, análogo à potência crítica), enquanto corredores com tempos de conclusão superiores a 300 min completaram a maratona a 78,9% da VC. Em nosso estudo, o grupo LP completou o contrarrelógio de XCO-MTB com a NP ligeiramente ($\approx 1\%$) menor comparado ao grupo HP, porém sem diferença significativa entre os grupos. Essa diferença entre os estudos pode ser explicada pelo tipo de modalidade (XCO-MTB vs. corrida) e tempo de conclusão (< 90 min vs. > 300 min).

“Descansado” versus fatigado

O protocolo de fadiga (140 min com esforços no domínio de intensidade severo) reduziu significativamente a potência em todas as durações (5 s a 10 min) e o trabalho total (kJ e $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) do perfil de potência (Figura 3). Nossos achados são semelhantes aos resultados do estudo de Stevenson et al. [37]. Esses autores demonstraram que a potência na transição de intensidade moderada para pesada (determinada pelo primeiro limiar ventilatório, LV1) diminuiu significativamente ($P < 0,0001$) após duas horas de ciclismo a 90% da potência estimada no LV1 (“descansado” = 217 ± 42 W vs. fatigado = 196 ± 42 W). Em complemento, ao utilizar um protocolo de ciclismo intermitente de 4 horas com alta ingestão de carboidrato ($100 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$), Ørtenblad et al. [25] mostraram uma redução de 10% na potência em um teste de 6 min máximo e redução de 6% na potência máxima de 6 s, em ciclistas de estrada de elite. Em atletas de XCO-MTB, Prins et al. [29] mostraram que o tempo em um contrarrelógio de 1 km realizado na condição fatigado (≈ 88 s) foi significativamente mais lento ($P < 0,05$) comparado ao mesmo teste realizado na condição “descansado” (≈ 83 s). Esses resultados em conjunto, mostram uma

¹Reflete a variabilidade da intensidade de uma atividade ao atribuir maior peso aos períodos de maior potência, fornecendo uma medida ajustada que representa melhor o impacto fisiológico do esforço.

deterioração aguda no desempenho após protocolo de fadiga em comparação com estado “descansado”.

Esta investigação, considerando todos os 25 participantes, revelou um decréscimo percentual médio da potência em todas as durações e no trabalho total de ≈ 9 a $\approx 15\%$. Estes valores superam o erro típico de medida observado para as durações de 5 s a 10 min e trabalho total ($\approx 1,5-6,0\%$, estudo 1 da presente tese). Isto elimina a possibilidade de erros de medida ou de variabilidade biológica como possíveis fatores de confusão.

Exceto para duração de 10 min na condição fatigado, a potência medida durante as durações do teste de perfil de potência foi superior à potência medida na PC. Adicionalmente, o %PC diminuiu com a fadiga em todas as durações, indicando que a fadiga compromete a capacidade de gerar potência. As durações ≤ 30 s apresentaram %PC acima de 200% e as durações ≥ 1 min apresentaram %PC $> 100\%$. Isso sugere que o teste de perfil de potência foi realizado no domínio de intensidade severo.

Alteração do bem-estar das pernas, PSE e percepção de fadiga

Foi observado que ambos os grupos experimentam uma mudança similar na percepção de bem-estar das pernas em decorrência da fadiga. A ausência de diferença significativa pode indicar que fatores que regulam a percepção de bem-estar das pernas, respondem de forma semelhante ao esforço, independentemente da capacidade de desempenho do atleta. O efeito trivial para HP ($g = 0,20$) e pequeno para LP ($g = 0,59$) demonstra e confirma que a variação na percepção de bem-estar das pernas não foi substancial entre as condições “descansado” e fatigado, sugerindo que o intervalo entre as condições foi adequado para garantir a recuperação dos atletas. A PSE foi significativamente maior no estado fatigado para ambos os grupos (tamanho de efeito grande), indicando que a fadiga acumulada, em virtude do protocolo de fadiga, tem um impacto pronunciado na percepção de esforço (Tabela 3). Da mesma forma, a percepção de fadiga aumentou significativamente no estado fatigado nos dois grupos, sendo interpretada como muito fatigado com tamanho de efeito grande ($g = 1,58$ para HP e $g = 1,64$ para LP). Para treinadores e atletas, essas respostas ressaltam a importância de monitorar o estado de fadiga e PSE durante a preparação física. O bem-estar das pernas, a PSE e a percepção de fadiga podem ser usadas como indicadores de quando diminuir a carga de treinamento para prevenir o risco de overtraining e otimizar o desempenho ao longo do tempo [8, 20].

HP versus LP

No presente estudo, demonstramos pela primeira vez que a durabilidade no perfil de potência foi superior em mountain bikers de melhor desempenho em comparação aos de pior desempenho. Os valores de potência expressos em unidades absolutas na condição “descansado” foram significativamente maiores no grupo HP apenas nas durações de 4 min e 10 min (Figura 6). Entretanto, na condição fatigado, o grupo HP apresentou valores significativamente maiores ao grupo LP já a partir da duração de esforço de 30 s. Uma possível explicação para esse achado pode estar relacionada à maior capacidade do grupo HP de sustentar a produção de potência sob condições de fadiga em uma gama mais ampla de durações de esforço, evidenciando uma melhor durabilidade. Em linhas gerais, os valores de potência relativa à massa corporal, na condição “descansado” e na condição fatigado foram maiores nos atletas do grupo HP em comparação com o grupo LP, tanto para esforços de curta duração (≤ 1 min) quanto de longa duração (> 1 min) (Figura 6). Ao considerar o tamanho de efeito, observamos que na condição fatigado, a diferença entre os grupos HP e LP é ampliada, confirmando que o grupo HP tem uma melhor capacidade de resistir à fadiga. No grupo HP, as reduções de potência foram relativamente menores, variando entre $\approx 4\%$ e $\approx 8\%$, com as durações de 15 s, 30 s e 1 min mostrando a maior queda ($\approx 8\%$). Para o grupo LP, as reduções percentuais na potência foram mais acentuadas, variando entre $\approx 14\%$ e $\approx 20\%$, especialmente nas durações de 30 s e 1 min ($\approx 19\text{-}20\%$). Isso indica que esforços de diferentes durações são particularmente desafiadores para atletas de menor desempenho em estado fatigado.

Nossos achados estão em linha com estudo prévio de Leo et al. [14], que compararam o perfil de potência (5, 10, 15 e 30 s e 1, 2, 5, 12 e 30 min) nas condições “descansado” e fatigado entre ciclistas de estrada com diferentes níveis de desempenho (sub-23 vs. profissionais). Esses autores demonstraram que os ciclistas de estrada profissionais apresentaram valores mais altos de potência relativa à massa corporal no perfil de potência após determinada quantidade de trabalho total acumulada (1000-3000 kJ), ou seja, sob fadiga, em comparação com ciclistas sub-23 ($P \leq 0,001\text{-}0,049$). Isto sugere que a durabilidade é um fator distintivo importante para o sucesso entre ciclistas jovens e ciclistas profissionais. Adicionalmente, Mateo-March et al. [16] analisaram perfis de potência em 112 ciclistas de estrada profissionais, com o objetivo de determinar a influência da fadiga no perfil de potência e se a fadiga poderia afetar de maneira diferente ciclistas com níveis de desempenho distintos (*WorldTour* vs. *ProTour*). Foram analisadas as potências para esforços com durações de 10 s a 120 min sem fadiga (após $0 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) e com níveis crescentes de fadiga (após 15, 25, 35 e $45 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$). Os autores reportaram não haver diferenças consistentes entre ciclistas *WorldTour* e *ProTour* nos valores de potência

avaliados em condições sem fadiga. No entanto, os ciclistas do *ProTour* apresentaram uma maior diminuição nos valores de potência em condições de fadiga ($P < 0,001$) comparados aos ciclistas do *WorldTour*. Além disso, essas diferenças aumentaram com o acúmulo de fadiga (após $15 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, diminuição de -1,8% a -2,9% [*WorldTour*] vs. -1,1% a -4,4% [*ProTour*] e após $45 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ de -4,7% a -8,8% [*WorldTour*] vs. -7,6% a -11,6% [*ProTour*]). Nossos resultados corroboram esses achados, demonstrando uma redução nos valores de potência e uma diferenciação entre os grupos HP e LP após trabalho acumulado realizado superior a 1000 kJ ou $\approx 15 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Em conjunto, esses resultados destacam a importância de considerar a fadiga ao avaliar o perfil de potência e ressaltam a capacidade de atenuar a queda nos valores de potência induzida pela fadiga como um fator determinante chave do desempenho no ciclismo [16].

Com exceção da duração de 5 s no grupo HP ($\downarrow \approx 4\%$), o decréscimo percentual médio (Figura 5) da potência nas durações de 15 s, 30 s, 1 min, 4 min, 10 min e trabalho total apresentado pelo grupo HP ($\approx 8\%$, $\approx 8\%$, $\approx 8\%$, $\approx 5\%$, $\approx 5\%$ e $\approx 5\%$, respectivamente) e nas durações de 5 s, 15 s, 30 s, 1 min, 4 min, 10 min e trabalho total do grupo LP ($\approx 14\%$, $\approx 14\%$, $\approx 19\%$, $\approx 20\%$, $\approx 15\%$, $\approx 16\%$ e $\approx 16\%$, respectivamente) excede o erro típico de medida observado (5 s $\approx 5,5\%$, 15 s $\approx 4,5\%$, 30 s $\approx 6,0\%$, 1 min $\approx 5,5\%$, 4 min $\approx 2,5\%$, 10 min $\approx 2,5\%$ e trabalho total $\approx 1,5\%$, estudo 1 da presente tese). Isto indica que as reduções observadas na potência resultaram do acúmulo da fadiga, em vez de serem causadas por erros de medida ou variabilidade biológica.

Ao observar os valores %PC, o desempenho do grupo LP sob fadiga em esforços longos (i.e., 10 min) é comprometido, sugerindo que a durabilidade deve ser melhorada. Para as durações ≤ 30 s, os %PC estão acima de 200%. A única exceção é no grupo LP na condição fatigado, para 30 s (193,8%). Para as durações ≥ 1 min, os %PC estão acima de 100% em ambas as condições e grupos, exceto no grupo LP na condição fatigado, para 10 min (90,7%). De maneira geral, as durações de esforço do teste de perfil de potência foram realizadas no domínio de intensidade severo. Em adição, o grupo LP quando fatigado é capaz de operar no domínio severo em esforços ≤ 4 min, mas a fadiga acumulada reduz a capacidade de manter esse nível de esforço em durações maiores (i.e., 10 min). O fato de todas as durações, exceto os 10 min do grupo LP em condição fatigada, estarem no domínio severo destaca a capacidade dos atletas de sustentar intensidades elevadas mesmo sob fadiga. No entanto, a saída do grupo LP do domínio severo nos 10 min fatigados evidencia uma limitação na durabilidade em esforços prolongados.

Mecanismos

Embora não tenha sido o foco desta investigação, especula-se que o declínio na potência após o protocolo de fadiga, ou seja, a fadiga acumulada, esteja relacionado a diferentes aspectos, incluindo a redução na eficiência gross [22, 26], deficiência na ingestão de carboidratos [4], depleção de glicogênio muscular [21] e baixa resistência à fadiga mental [15]. Devido à intensidade realizada estar acima da PC, ou seja, no domínio de intensidade severo, a redução da potência nas diferentes durações de esforço do teste de perfil de potência pode também estar associada ao esgotamento completo do W' e pela obtenção de um estado metabólico muscular crítico ou “intolerável”. Esse estado envolve baixa concentração de fosfocreatina (PCr), redução do pH, aumento de fosfato inorgânico (Pi) e íons de hidrogênio, (H^+), além do atingimento do $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ [1].

Limitações

Algumas limitações estão presentes neste estudo: 1) Não houve controle sobre possíveis variáveis de confusão, como a motivação dos atletas. No entanto, foi solicitado que os atletas seguissem rigorosamente as orientações de intensidade em cada teste. Por exemplo, quando instruídos a gerar a maior potência possível, essa recomendação deveria ser seguida. 2) Todos os participantes foram informados sobre a importância da calibração (*'zero-offset'*) e receberam instruções para realizá-la antes de cada teste, mas este procedimento não foi monitorado. 3) Apenas atletas do sexo masculino participaram do estudo, destacando a necessidade de explorar essas mudanças também em atletas do sexo feminino. Assim, os resultados não podem ser estendidos para mulheres no XCO-MTB. 4) Não é possível afirmar se os resultados obtidos aqui se aplicam diretamente a atletas de elite ou a contextos onde ocorre ingestão de carboidratos durante o exercício.

Aplicação prática

Uma resistência superior à fadiga (durabilidade) é um pré-requisito importante para o XCO-MTB, ou seja, a capacidade de manter uma alta potência para esforços de curta (≤ 1 min) e longa duração (> 1 min) após o acúmulo de fadiga. Após seguir o mesmo protocolo de fadiga, os mountain bikers de melhor desempenho exibiram uma redução menor na potência em comparação com os atletas de pior desempenho. As diferenças observadas entre os grupos (HP e LP) sugerem que os mountain bikers de pior desempenho devem não apenas melhorar seu perfil de potência para esforços de curta e longa duração, mas também considerar o desenvolvimento da durabilidade. Por exemplo, realizar treinamento intervalado de alta

intensidade logo após uma sessão prolongada de exercício (2 a 4 horas), incluir treinos longos com intensidade progressiva à medida que a fadiga se desenvolve, praticar esforços em ritmo de competição, além de sessões de sprints repetidos com recuperação parcial e treinos de longa duração [17]. Estas estratégias podem contribuir para o desenvolvimento da durabilidade, ajudando os atletas a sustentar níveis elevados de potência mesmo sob fadiga acumulada.

CONCLUSÃO

Este estudo revelou que a fadiga acumulada reduziu a potência em todas as durações (5 s a 10 min) e o trabalho total (kJ e $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) do perfil de potência. Os mountain bikers de melhor desempenho demonstraram uma capacidade superior de sustentar valores de potência sob fadiga em comparação aos de pior desempenho.

REFERÊNCIAS

1. BLACK, M. I.; JONES, A. M.; BLACKWELL, J. R.; BAILEY, S. J. *et al.* Muscle metabolic and neuromuscular determinants of fatigue during cycling in different exercise intensity domains. **Journal of Applied Physiology**, 122, n. 3, p. 446-459, Mar 1 2017.
2. BLANCA, M. J.; ARNAU, J.; GARCIA-CASTRO, F. J.; ALARCON, R. *et al.* Non-normal Data in Repeated Measures ANOVA: Impact on Type I Error and Power. **Psicothema**, 35, n. 1, p. 21-29, Feb 2023.
3. BORG, E.; KAIJSER, L. A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, 16, n. 1, p. 57-69, Feb 2006.
4. CLARK, I. E.; VANHATALO, A.; THOMPSON, C.; JOSEPH, C. *et al.* Dynamics of the power-duration relationship during prolonged endurance exercise and influence of carbohydrate ingestion. **Journal of Applied Physiology**, 127, n. 3, p. 726-736, Sep 1 2019.
5. HILL, D. W. The critical power concept. A review. **Sports Medicine**, 16, n. 4, p. 237-254, Oct 1993.
6. HOPKINS, W. G.; MARSHALL, S. W.; BATTERHAM, A. M.; HANIN, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 41, n. 1, p. 3-13, Jan 2009.
7. IMPELLIZZERI, F. M.; MARCORA, S. M. The physiology of mountain biking. **Sports Medicine**, 37, n. 1, p. 59-71, 2007.
8. INOUE, A.; DOS SANTOS BUNN, P.; DO CARMO, E. C.; LATTARI, E. *et al.* Internal Training Load Perceived by Athletes and Planned by Coaches: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Sports Medicine Open**, 8, n. 1, p. 35, Mar 4 2022.

9. INOUE, A.; SA FILHO, A. S.; MELLO, F. C.; SANTOS, T. M. Relationship between anaerobic cycling tests and mountain bike cross-country performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, 26, n. 6, p. 1589-1593, Jun 2012.
10. JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. **British Journal of Nutrition**, 40, n. 3, p. 497-504, Nov 1978.
11. JONES, A. M. The fourth dimension: physiological resilience as an independent determinant of endurance exercise performance. **Journal of Physiology**, 602, n. 17, p. 4113-4128, Sep 2024.
12. KARSTEN, B.; JOBSON, S. A.; HOPKER, J.; STEVENS, L. *et al.* Validity and reliability of critical power field testing. **European Journal of Applied Physiology**, 115, n. 1, p. 197-204, Jan 2015.
13. LAKENS, D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. **Frontiers in Psychology**, 4, p. 863, Nov 26 2013.
14. LEO, P.; SPRAGG, J.; MUJIK, I.; GIORGI, A. *et al.* Power Profiling, Workload Characteristics, and Race Performance of U23 and Professional Cyclists During the Multistage Race Tour of the Alps. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 16, n. 8, p. 1089-1095, Aug 1 2021.
15. MARTIN, K.; STAIANO, W.; MENASPA, P.; HENNESSEY, T. *et al.* Superior Inhibitory Control and Resistance to Mental Fatigue in Professional Road Cyclists. **PLoS One**, 11, n. 7, p. e0159907, 2016.
16. MATEO-MARCH, M.; VALENZUELA, P. L.; MURIEL, X.; GANDIA-SORIANO, A. *et al.* The Record Power Profile of Male Professional Cyclists: Fatigue Matters. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 17, n. 6, p. 926-931, Jun 1 2022.
17. MATOMAKI, P.; HEINONEN, O. J.; NUMMELA, A.; LAUKKANEN, J. *et al.* Durability is improved by both low and high intensity endurance training. **Frontiers in Physiology**, 14, p. 1128111, 2023.
18. MAUNDER, E.; SEILER, S.; MILDENHALL, M. J.; KILDING, A. E. *et al.* The Importance of 'Durability' in the Physiological Profiling of Endurance Athletes. **Sports Medicine**, 51, n. 8, p. 1619-1628, Aug 2021.
19. MCKAY, A. K. A.; STELLINGWERFF, T.; SMITH, E. S.; MARTIN, D. T. *et al.* Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 17, n. 2, p. 317-331, Feb 1 2022.
20. MICKLEWRIGHT, D.; ST CLAIR GIBSON, A.; GLADWELL, V.; AL SALMAN, A. Development and Validity of the Rating-of-Fatigue Scale. **Sports Medicine**, 47, n. 11, p. 2375-2393, Nov 2017.

21. NIELSEN, J.; JENSEN, R.; ORTENBLAD, N. Assessments of individual fiber glycogen and mitochondrial volume percentages reveal a graded reduction in muscle oxidative power during prolonged exhaustive exercise. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, 34, n. 2, p. e14571, Feb 2024.
22. NOORDHOF, D. A.; OFSTENG, S. J.; NIRENBERG, L.; HAMMARSTROM, D. *et al.* Performance-Determining Variables in Long-Distance Events: Should They Be Determined From a Rested State or After Prolonged Submaximal Exercise? **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 16, n. 5, p. 647-654, May 1 2021.
23. NORMAN, G. Likert scales, levels of measurement and the "laws" of statistics. **Advances in Health Sciences Education. Theory and Practice**, 15, n. 5, p. 625-632, Dec 2010.
24. NOVAK, A. R.; BENNETT, K. J. M.; FRANSEN, J.; DASCOMBE, B. J. Predictors of performance in a 4-h mountain-bike race. **Journal of Sports Sciences**, 36, n. 4, p. 462-468, Feb 2018.
25. ORTENBLAD, N.; ZACHARIASSEN, M.; NIELSEN, J.; GEJL, K. D. Substrate utilization and durability during prolonged intermittent exercise in elite road cyclists. **European Journal of Applied Physiology**, 124, n. 7, p. 2193-2205, Jul 2024.
26. PASSFIELD, L.; DOUST, J. H. Changes in cycling efficiency and performance after endurance exercise. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 32, n. 11, p. 1935-1941, Nov 2000.
27. PINOT, J.; GRAPPE, F. The record power profile to assess performance in elite cyclists. **International Journal of Sports Medicine**, 32, n. 11, p. 839-844, Nov 2011.
28. PINOT, J.; GRAPPE, F. A six-year monitoring case study of a top-10 cycling Grand Tour finisher. **Journal of Sports Sciences**, 33, n. 9, p. 907-914, 2015.
29. PRINS, L.; TERBLANCHE, E.; MYBURGH, K. H. Field and laboratory correlates of performance in competitive cross-country mountain bikers. **Journal of Sports Sciences**, 25, n. 8, p. 927-935, Jun 2007.
30. QUOD, M. J.; MARTIN, D. T.; MARTIN, J. C.; LAURSEN, P. B. The power profile predicts road cycling MMP. **International Journal of Sports Medicine**, 31, n. 6, p. 397-401, Jun 2010.
31. RONNESTAD, B. R.; HANSEN, J.; VEGGE, G.; MUJIKKA, I. Short-term performance peaking in an elite cross-country mountain biker. **Journal of Sports Sciences**, 35, n. 14, p. 1392-1395, Jul 2017.
32. SANDERS, D.; HEIJBOER, M. Physical demands and power profile of different stage types within a cycling grand tour. **European Journal of Sport Science**, 19, n. 6, p. 736-744, Jul 2019.

33. SANDERS, D.; VAN ERP, T. The Physical Demands and Power Profile of Professional Men's Cycling Races: An Updated Review. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 16, n. 1, p. 3-12, Jan 1 2021.
34. SKIBA, P. F.; CHIDNOK, W.; VANHATALO, A.; JONES, A. M. Modeling the expenditure and reconstitution of work capacity above critical power. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 44, n. 8, p. 1526-1532, Aug 2012.
35. SMYTH, B.; MUNIZ-PUMARES, D. Calculation of Critical Speed from Raw Training Data in Recreational Marathon Runners. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 52, n. 12, p. 2637-2645, Dec 2020.
36. SPRAGG, J.; LEO, P.; SWART, J. The Relationship between Physiological Characteristics and Durability in Male Professional Cyclists. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 55, n. 1, p. 133-140, Jan 1 2023.
37. STEVENSON, J. D.; KILDING, A. E.; PLEWS, D. J.; MAUNDER, E. Prolonged cycling reduces power output at the moderate-to-heavy intensity transition. **European Journal of Applied Physiology**, 122, n. 12, p. 2673-2682, Dec 2022.
38. VAN ERP, T.; HOOZEMANS, M.; FOSTER, C.; JJ, D. E. K. Case Report: Load, Intensity, and Performance Characteristics in Multiple Grand Tours. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 52, n. 4, p. 868-875, Apr 2020.
39. VAN ERP, T.; SANDERS, D.; LAMBERTS, R. P. Maintaining Power Output with Accumulating Levels of Work Done Is a Key Determinant for Success in Professional Cycling. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 53, n. 9, p. 1903-1910, Sep 1 2021.

3 ESTUDO 3 - A INFLUÊNCIA DA DURABILIDADE NA PREDIÇÃO E MANUTENÇÃO DO DESEMPENHO NO MOUNTAIN BIKING CROSS-COUNTRY OLÍMPICO

RESUMO

Fundamentação: Não está claro se testes realizados na condição fatigado possuem melhor poder preditivo em comparação aos testes realizados na condição “descansado” e se a capacidade de sustentar maiores valores de potência em condições de fadiga pode ser um indicador do nível competitivo de atletas de XCO-MTB. **Objetivos:** (i) verificar se testes intermitentes realizados sob fadiga são melhores preditores do desempenho no XCO-MTB em comparação à condição “descansado”, (ii) verificar se o exercício prolongado prévio reduz a potência de testes intermitentes e (iii) investigar se a capacidade de manter elevada potência em testes intermitentes sob fadiga diferencia o nível competitivo de mountain bikers. **Métodos:** Participaram 25 atletas de XCO-MTB, os quais realizaram testes nas condições “descansado” e fatigado com pelo menos 72 h de intervalo. Nas duas condições, foram aplicados três testes intermitentes com intervalo de recuperação de 24 h. Os testes na condição fatigado foram precedidos por um protocolo de fadiga realizado a 105-110% da potência crítica. Após um intervalo de 72 h, testes contrarrelógio individuais foram realizados em pista de XCO-MTB. As condições e os testes foram realizados em ordem aleatória. **Resultados:** Testes na condição fatigado são melhores preditores do desempenho no contrarrelógio individual de XCO-MTB. O teste intermitente 10/20 W·kg⁻¹ fatigado foi capaz de explicar 89% da variabilidade no desempenho de XCO-MTB. Os valores de potência em todos os testes foram menores ($P < 0,0001$, tamanho de efeito moderado) na condição fatigado comparado a condição “descansado”. Quando divididos em dois grupos, tanto o grupo HP quanto o grupo LP apresentaram redução da potência nos testes 30/15, 10/20 e 3/2 após o protocolo de fadiga. Entretanto, o grupo LP mostrou um declínio maior ($\approx 15\%$ a 20% , $P < 0,01$ a $P < 0,001$, tamanho de efeito grande) quando comparado ao grupo HP ($\approx 6\%$ a 10%) em todos os três testes. **Conclusão:** A capacidade de realizar sprints repetidos sob fadiga pode ser um indicador eficaz de desempenho para mountain bikers e a capacidade de manter a potência mesmo em condições de fadiga se revela como um parâmetro importante para o sucesso nessa modalidade esportiva.

Palavras-chave: resistência à fadiga; ciclismo *off-road*; resiliência fisiológica; avaliação do desempenho

ABSTRACT

Rationale: It is unclear whether tests performed in a fatigued condition have greater predictive power compared to tests performed in a “fresh” condition, and whether the ability to sustain higher power outputs under fatigue can serve as an indicator of the competitive level of XCO-MTB athletes. **Objectives:** (i) to verify if intermittent tests performed under fatigue are better predictors of XCO-MTB performance compared to the “fresh” condition, (ii) to examine whether prior prolonged exercise reduces power output during intermittent tests, and (iii) to investigate whether the ability to maintain high power output during intermittent tests under fatigue differentiates the competitive level of mountain bikers. **Methods:** Twenty-five XCO-MTB athletes participated in the study, performing tests in both the “fresh” and fatigued conditions with at least 72 hours of recovery between them. In both conditions, three intermittent tests were conducted with a 24-hour recovery interval. Tests in the fatigued condition were preceded by a fatigue protocol performed at 105-110% of critical power. After a 72-hour interval, individual time trial tests were conducted on an XCO-MTB track. The conditions and tests were performed in a randomized order. **Results:** Tests in the fatigued condition are better predictors of performance in the XCO-MTB individual time trial. The fatigued 10/20 intermittent test ($\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$) was able to explain 89% of the variability in XCO-MTB performance. Power output values in all tests were lower ($P < 0.0001$, moderate effect size) in the fatigued condition compared to the “fresh” condition. When divided into two groups, both the HP group and the LP group showed a reduction in power output in the 30/15, 10/20, and 3/2 tests after the fatigue protocol. However, the LP group showed a greater decline ($\approx 15\%$ to 20% , $P < 0.01$ to $P < 0.001$, large effect size) compared to the HP group ($\approx 6\%$ to 10%) in all three tests. **Conclusion:** The ability to perform repeated sprints under fatigue may be an effective performance indicator for mountain bikers, and the capacity to sustain power output even in fatigued conditions emerges as an important parameter for success in this sport.

Keywords: fatigue resistance; off-road cycling; physiological resilience; performance assessment

INTRODUÇÃO

O mountain bike (MTB) é uma modalidade de ciclismo off-road, sendo a distância Olímpica a forma mais comum de competição e faz parte do programa Olímpico desde 1996. Os eventos de *mountain biking cross-country* Olímpico (XCO-MTB) exigem alta intensidade [14] e requerem múltiplos esforços de alta potência [11, 32]. Desde a inclusão do XCO-MTB como esporte Olímpico, houve um aumento nas pesquisas sobre as características fisiológicas e indicadores de desempenho desses atletas. Tradicionalmente, os protocolos de avaliação utilizados com atletas de XCO-MTB incluem: a) testes de esforço contínuo máximo, com duração de 20 a 60 min, para determinar a máxima fase estável de lactato e/ou o limiar de potência funcional (FTP) [1]; b) testes incrementais até a exaustão, para determinar os valores de consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_{2\text{máx}}$), a potência aeróbia máxima (PPO) e os limiares metabólicos [18, 20, 21, 30]; c) testes anaeróbios, como o teste de Wingate e 5 x Wingate [23]. Normalmente, os testes fisiológicos são realizados em laboratório e com alto custo, sendo de difícil acesso para a maioria dos atletas. Em decorrência disso, os testes em campo tornaram-se uma boa alternativa.

A capacidade de produzir potência é um dos principais determinantes do desempenho no ciclismo, com os melhores ciclistas capazes de sustentar os maiores valores de potência para diferentes durações de esforço [39, 53]. Autores têm destacado a importância da resistência à fadiga, também chamada de durabilidade ou resiliência fisiológica [25, 35], definida como a capacidade de atenuar o declínio no desempenho induzido pela fadiga durante o exercício prolongado, ou seja, a capacidade de manter por períodos prolongados altos valores de potência sob fadiga [35]. Por essa razão, sugeriu-se que a durabilidade consistiria no quarto componente em um modelo de desempenho de *endurance* [27], somando-se ao $\dot{V}O_{2\text{máx}}$, limiares metabólicos e indicadores de economia/eficiência [25]. Isso ilustra o impacto que a durabilidade pode ter na compreensão dos determinantes de desempenho no ciclismo [31]. Mateo-March et al. [34] destacam a importância de se considerar a fadiga ao avaliar o perfil fisiológico de atletas de *endurance*, uma vez que os valores de potência diminuem progressivamente após um trabalho equivalente a $15 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($\approx 1000 \text{ kJ}$, correspondendo, por exemplo, a 1 hora de pedalada com intensidade de 280 W ou 1 hora e 30 min a 190 W). Assim, prescrever cargas de treinamento atendo-se tão somente aos valores de potência avaliados a partir de condições de repouso pode resultar na superestimação das cargas de trabalho em condições de fadiga. Além disso, avaliações em condições de repouso podem produzir indicadores de desempenho menos precisos que avaliações em condições de fadiga. No XCO-MTB os protocolos para avaliar o desempenho são tipicamente realizados na condição “descansado” [12, 20, 21, 22]. Como tal,

esses procedimentos não são capazes de explicar parte da variação no desempenho, resultando em baixa validade externa.

As características das competições de XCO-MTB são únicas e testes realizados em laboratório podem não refletir as particularidades do desempenho na modalidade. Além disso, o que difere os melhores atletas de *endurance* dos outros depende não apenas dos valores das principais variáveis fisiológicas em estado “descansado”, mas também da magnitude com que essas variáveis se deterioram conforme o exercício avança [25]. Adicionalmente, avaliar atletas através de testes intermitentes em condições de fadiga pode trazer informações importantes para identificar talentos e nortear a prescrição do treinamento em condições mais próximas das competições. No entanto, não existe consenso sobre como procedimentos padronizados em testes de campo intermitentes avaliariam adequadamente a durabilidade e as características únicas do XCO-MTB. Prins et al. [46], pelo nosso conhecimento, foi o único estudo com atletas de XCO-MTB que realizou testes em estado “descansado” (nenhum teste anterior no mesmo dia) e fatigado. Os autores reportam que não houve correlação significativa entre o tempo no contrarrelógio de 1 km realizado nas condições “descansado” e fatigado e o desempenho em competição de mountain bike. Além disso, os resultados mostram um aumento significativo no tempo para completar o contrarrelógio após a realização de um protocolo de fadiga padronizado, não havendo, entretanto, comparação entre atletas com diferentes níveis de desempenho. Por outro lado, Noordhof et al. [41] reportaram que as variáveis fisiológicas e biomecânicas apresentaram menor correlação com o desempenho no esqui cross-country quando avaliadas na condição “descansado” em comparação a condição fatigado. Adicionalmente, dados de campo indicam que a capacidade de produzir potência sob fadiga é uma característica distintiva entre ciclistas de estrada profissionais e ciclistas de elite da categoria sub-23 e juniores [9].

Não está claro se testes realizados na condição fatigado possuem melhor poder preditivo em comparação aos testes realizados na condição “descansado” e se a capacidade de sustentar maiores valores de potência em condições de fadiga (durabilidade) pode ser um indicador do nível competitivo de atletas de XCO-MTB. Portanto, os objetivos da presente investigação foram: (i) verificar se testes intermitentes realizados na condição fatigado são melhores preditores do desempenho no XCO-MTB em comparação com os mesmos testes realizados na condição “descansado”, (ii) verificar se o exercício prolongado prévio (protocolo de fadiga) reduz a potência de testes intermitentes e (iii) investigar se a capacidade de manter valores mais elevados de potência em testes intermitentes sob condição de fadiga (durabilidade) pode diferenciar o nível competitivo de mountain bikers. As seguintes hipóteses foram formuladas:

(i) testes intermitentes na condição de fadiga apresentarão melhor predição do desempenho no XCO-MTB em comparação aos mesmos testes na condição “descansado”, (ii) haverá uma redução na potência dos testes intermitentes após exercício prolongado prévio (protocolo de fadiga) e (iii) a capacidade de manter valores mais elevados de potência em testes intermitentes sob condição de fadiga (durabilidade) será superior em mountain bikers de maior desempenho em comparação aos de menor desempenho.

MÉTODO

Desenho do estudo

Neste estudo transversal foram necessárias oito sessões de testes para concluir a coleta de dados. Inicialmente os participantes foram submetidos à estratificação de risco, assinatura do termo de consentimento, às medidas antropométricas e ao teste de potência crítica (PC). Os participantes foram testados em duas condições com pelo menos 72 horas de intervalo entre elas: 1) “descansado” e 2) fatigado. Para as duas condições, os participantes realizaram três testes intermitentes (30/15, 10/20 e 3/2) em campo. Os testes foram realizados em ordem aleatória para as condições “descansado” e fatigado. Além disso, foi realizado um teste contrarrelógio individual em pista de XCO-MTB, cujo tempo foi adotado como marcador de desempenho. Os testes na condição fatigado foram imediatamente precedidos por um protocolo de fadiga com intensidade acima da PC. Antes do início dos testes, os atletas foram familiarizados com os diferentes protocolos. Cada teste foi conduzido em horário semelhante do dia (variação de ± 2 h) e intervalos de recuperação de pelo menos 24 horas foram aplicados entre cada teste e de 72 horas entre o último teste e o contrarrelógio individual em pista de XCO-MTB (Figura 1). Durante o período entre os testes, os participantes realizaram sessões de treinamento aeróbio de baixa intensidade (percepção subjetiva de esforço (PSE) 10-11 na escala de Borg de 6-20 e duração de 60 min) para evitar fadiga residual.

Os participantes realizaram os testes durante o período preparatório específico da temporada (no qual não participaram de nenhuma competição) em campo na condição “descansado” e fatigado no mesmo local (estradas de terra com ≈ 0 -3% inclinação) utilizando as próprias mountain bikes, com rodas de 29 pol e pressão dos pneus com psi de livre escolha, a qual foi reproduzida em todos os testes e ambas as condições. A potência produzida nos testes intermitentes foi medida por potenciômetro SIGEYI AXO (SIGEYI Tech Co., Guangzhou, China) acoplado à bicicleta do participante. Cada participante usou o mesmo potenciômetro durante todos os testes. Para assegurar medidas mais precisas, os participantes foram instruídos a realizar o ‘zero-offset’ antes de cada teste usando a função de calibração do dispositivo

Garmin (Edge 520/530, Garmin Ltd, Schaffhausen, Switzerland). Para o contrarrelógio individual, os participantes também utilizaram suas próprias bicicletas. As condições ambientais, como temperatura e umidade relativa, foram registradas durante todos os testes e no contrarrelógio individual. Para minimizar a variação causada por fatores ambientais, nenhum teste foi realizado em dias de chuva ou se a temperatura estivesse acima de 35°C. Todos os atletas foram orientados a abster-se de bebidas alcoólicas e qualquer medicamento por 24 horas, e evitar a ingestão de cafeína por 12 horas antes de todos os testes e do contrarrelógio individual de XCO-MTB. Além disso, os participantes foram orientados a manter seus preparativos habituais para competições, padronizar a ingestão alimentar (ou seja, manter a mesma alimentação habitual, sem qualquer interferência do pesquisador) na noite anterior, nos dias dos testes em ambas as condições e no contrarrelógio individual, e a hidratar-se *ad libitum* apenas com água.

Com a finalidade de se determinar o potencial de discriminação de desempenho dos testes intermitentes realizados nas condições “descansado” e fatigado, os participantes foram divididos em tercís de acordo com o tempo total do contrarrelógio individual ordenado em ordem crescente. Desta forma, o primeiro tercil foi considerado como grupo alto desempenho (HP) e o terceiro tercil, como grupo baixo desempenho (LP). Para garantir uma comparação entre grupos com níveis de desempenho distintos, os atletas alocados no segundo tercil foram excluídos desta análise.

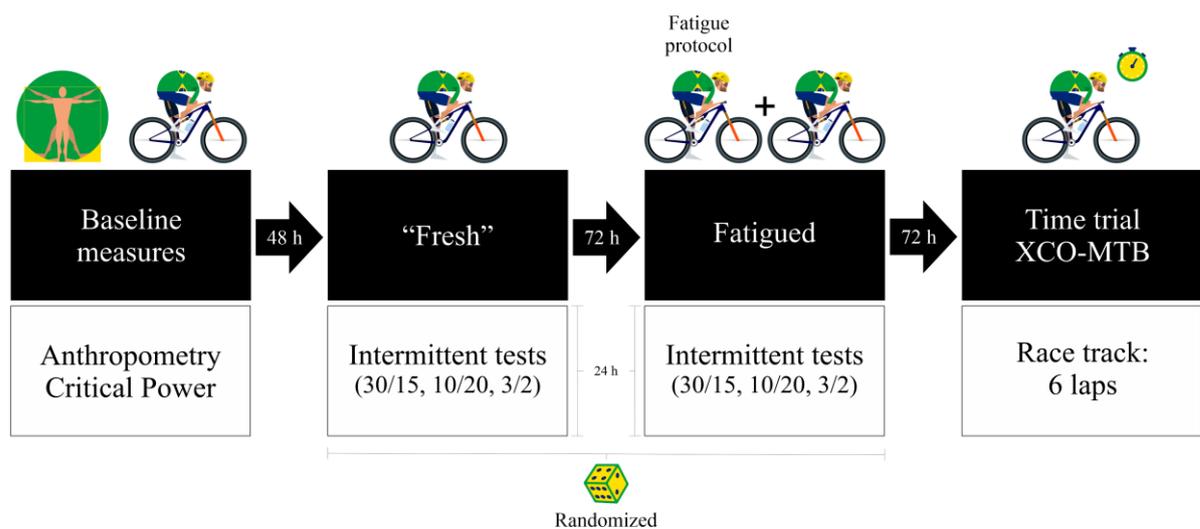


Figura 1. Representação esquemática do desenho do estudo.

Fonte: O autor, 2025.

Participantes

O tamanho da amostra ($n = 27$) foi determinado *a priori* utilizando o pacote estatístico G*Power 3.1.9.7 (Universidade de Düsseldorf, Düsseldorf, Alemanha) para análise de regressão linear múltipla com três variáveis independentes, considerando um poder de 0,80 e alfa de 0,05 (Anexo C). Entretanto, devido à disponibilidade limitada de atletas elegíveis e a conflitos de agenda, o número de participantes foi impactado. Assim, participaram deste estudo vinte e cinco atletas de XCO-MTB do sexo masculino, com idade ≥ 18 anos, engajados em treinamento competitivo de pelo menos seis vezes por semana, com duração ≥ 10 horas semanais e experiência prévia em competições de XCO-MTB \geq três anos (veja as características descritivas na Tabela 1) e foram recrutados de vários clubes de ciclismo e contatos pessoais dentro da comunidade do mountain bike. Com base no nível competitivo e histórico de treinamento, os participantes foram classificados como nível 2: treinados e nível 3: altamente treinados, segundo McKay et al. [36]. Em qualquer caso de doença ou lesão os participantes foram excluídos da análise. Os participantes assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido após explicação verbal e por escrito do protocolo experimental e entendimento completo dos possíveis riscos envolvidos em participar do estudo. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética do Hospital Universitário Pedro Ernesto da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (número do parecer: 5.774.538) e seguiu os princípios estabelecidos na declaração de Helsinki.

Tabela 1. Características dos atletas.

Variáveis	HP (n = 9)	LP (n = 9)	Total (n = 25)
Idade (anos)	34,8 \pm 5,9	36,2 \pm 8,1	35,8 \pm 7,2
Massa corporal (kg)	67,3 \pm 4,5*	77,2 \pm 7,6	71,2 \pm 7,4
Estatura (cm)	175,9 \pm 4,7	176,6 \pm 7,5	176,4 \pm 5,7
Gordura corporal (%)	7,9 \pm 2,4*	14,0 \pm 4,8	10,5 \pm 4,6
Potência crítica (W)	310,8 \pm 21,9**	266,0 \pm 19,2	283,8 \pm 30,9
Potência crítica (W·kg ⁻¹)	4,6 \pm 0,4***	3,5 \pm 0,3	4,0 \pm 0,6
W' (kJ)	10,7 \pm 2,7	13,8 \pm 5,7	12,6 \pm 4,6
Experiência no XCO-MTB (anos)	10,6 \pm 7,0	7,6 \pm 6,8	9,5 \pm 6,4
Treinamento por semana (horas)	12,3 \pm 2,2	10,8 \pm 0,9	11,5 \pm 1,6

Nota: Os dados são apresentados como média \pm desvio padrão. HP = alto desempenho, LP = baixo desempenho, W' = capacidade/quantidade de trabalho que pode ser realizado acima da potência crítica, XCO-MTB = mountain bike cross-country Olímpico. Diferença significativa entre os grupos HP e LP: * $P < 0,01$, ** $P < 0,001$, *** $P < 0,0001$.

Fonte: O autor, 2025.

Medidas Antropométricas

A massa corporal e estatura foram aferidas por balança e estadiômetro acoplados (Welmy 110 CH, São Paulo, SP, Brasil) e as dobras cutâneas com adipômetro CESCORF (Porto Alegre, RS, Brasil). O percentual de gordura corporal foi estimado com base em equação de três dobras específicas para o sexo masculino [24].

Teste de potência crítica

Antes do início do teste, os participantes realizaram um aquecimento de 20 min na PSE 10-11 na escala de 6-20 de Borg. O teste de potência crítica consistiu em três testes em campo, realizados ao ar livre em estrada de terra com $\approx 0-3\%$ inclinação e duração de 12 min, 7 min e 3 min de esforço máximo, com período de recuperação ativa de 30 min entre eles [28]. A janela de recuperação de 30 min foi utilizada para permitir a “reposição” da capacidade/quantidade de trabalho que pode ser realizada acima da potência crítica (W'), baseado no tempo de reconstituição do W' [50]. Entre os esforços máximos, os participantes foram instruídos a não exceder uma PSE de 10-11 na escala de 6-20 de Borg antes de prosseguir para o esforço subsequente. Antes de cada esforço, os participantes foram encorajados a produzir a maior potência possível e solicitados a manter uma cadência entre 80 e 100 rotações por minuto ($\text{rev}\cdot\text{min}^{-1}$). Os participantes obtiveram feedback do tempo, potência e cadência em tempo real. Os esforços de 12, 7 e 3 min foram registrados através do dispositivo Garmin (Edge 520/530, Garmin Ltd, Schaffhausen, Switzerland). Os dados foram baixados para plataforma Garmin Connect (<https://connect.garmin.com/>) onde foram encontradas as potências médias correspondentes a cada duração de esforço (12, 7 e 3 min). Estes dados foram extraídos e posteriormente analisados em uma planilha do Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EUA) para determinar a PC e W' através do modelo matemático linear potência – 1/tempo: $\text{Potência} = \text{CP} + (W' \cdot 1/\text{tempo})$ [16].

Testes intermitentes específicos para o XCO-MTB

Os testes intermitentes específicos para as demandas do XCO-MTB foram projetados para medir a habilidade de repetir esforços de alta intensidade e foram baseados nas características intermitentes de alta intensidade intercalados com períodos reduzidos de recuperação da modalidade [11, 14, 47]. Além disso, os testes aqui propostos podem ser incluídos facilmente nas rotinas de treinamento dos atletas, inclusive como sessões específicas de treinamento intervalado de alta intensidade (HIIT) [48].

Procedimento gerais

Antes dos testes, os participantes realizaram aquecimento de 20 min com PSE correspondente aos escores 10-11 na escala de Borg de 6-20. Em qualquer momento, *feedbacks* quanto ao tempo e potência estavam disponíveis. Além disso, os participantes puderam ficar de pé sempre que necessário, manter qualquer cadência durante todos os testes e foram instruídos a ajustar as marchas para produzir a maior potência possível para cada esforço. Os dados de potência produzida durante os testes foram transmitidos para um dispositivo Garmin (Edge 520/530, Garmin Ltd, Schaffhausen, Switzerland) e então coletados da plataforma Garmin Connect (<https://connect.garmin.com/>) para uma planilha do Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, EUA) para organização e análises exploratórias iniciais. Foram calculados, a potência média absoluta e relativa a massa corporal considerando todas as repetições. Os participantes forneceram um escore da PSE na escala de Borg de 6-20 [5] e um escore da percepção de fadiga em escala numérica de 11 pontos variando de 0 a 10 [37] ao final de cada teste.

Teste 30/15

Para medir a capacidade de realizar esforço caracterizado por curta duração e alta intensidade (HIIT curto), o teste 30/15 consistiu em 3 séries de 13 repetições de 30 s de esforço máximo, intercaladas com 15 s de recuperação ativa entre repetições e 3 min entre séries. Os atletas foram instruídos a produzir a maior potência possível em todas as séries [48, 49]. Durante os períodos de recuperação, os participantes foram instruídos a manter uma intensidade de ≈ 50 -100 W.

Teste 10/20

Para medir a capacidade de realizar *sprints* repetidos (*repeated-sprint ability* (RSA)), foi aplicado teste incluindo 3 séries de 30 repetições de 10 s com esforço máximo, intercaladas por 20 s de recuperação ativa entre repetições e 3 min entre as séries [15]. Os atletas foram encorajados a produzir a maior potência possível em todas as séries. Durante os períodos de recuperação, os participantes foram instruídos a manter intensidade entre ≈ 50 -100 W.

Teste 3/2

Para medir a capacidade de realizar esforço caracterizado por longa duração e alta intensidade (HIIT longo), foi aplicado teste consistindo de 1 série de 8 repetições de 3 min de

esforço máximo, intercaladas por 2 min de recuperação passiva (0 W) entre as repetições [6]. Os atletas foram instruídos a produzir a maior potência possível em todas as oito repetições.

Protocolo de fadiga

Todos os testes na condição “descansado” foram executados sem que os atletas tenham realizado anteriormente treinamento de longa duração ou alta intensidade no mesmo dia. Imediatamente antes de iniciar os testes na condição fatigado, os participantes completaram um protocolo de fadiga que consistia em 20 min a 50-70% da PC, seguido de 5 repetições de 8 min a 105-110% da PC. Cada esforço de 8 min foi seguido por 8 min de recuperação ativa em que os participantes foram instruídos a não exceder uma PSE de 10-11 na escala de Borg de 6-20 antes de prosseguir para o esforço subsequente. Em seguida, os participantes pedalarão por 40 min em uma intensidade que não excedesse uma PSE de 10-11 na escala de Borg de 6-20 para permitir a recuperação do W' [51]. Os participantes foram instruídos a manter uma cadência auto-selecionada, abster-se de consumir cafeína e hidratar-se *ad libitum* somente com água durante o protocolo de fadiga [51]. Ao fim dos testes realizados após o protocolo de fadiga, os participantes forneceram um escore da PSE na escala de Borg de 6-20 [5] e um escore da percepção de fadiga em escala numérica de 11 pontos variando de 0 a 10 [37]. Antes de cada teste na condição “descansado” e fatigado, os participantes forneceram um escore da sensação de bem-estar nas pernas (escala de 1 a 9) [49]. O bem-estar nas pernas é a percepção de quão boa (forte) ou pesada (fraca) está a perna do atleta antes da realização dos testes, onde 1 = muito, muito boa, 2 = muito boa, 3 = boa, 4 = um pouco boa, 5 = normal, 6 = um pouco pesada, 7 = pesada, 8 = muito pesada e 9 = muito, muito pesada.

Teste de desempenho (contrarrelógio individual)

Embora as comparações com o desempenho durante competições de largada em massa ofereçam fatores específicos de prova (alta intensidade no início da competição e ultrapassagens a adversários mais lentos), existem várias restrições, como a capacidade restrita de recuperar o tempo perdido devido a adversários que se acidentam ou que são muito lentos nas sessões de *single tracks*. De forma a evitar essa limitação, foi realizado um contrarrelógio individual em pista de XCO-MTB, organizado especificamente para o estudo. O perfil do percurso foi medido por GPS Garmin (Edge 530, Garmin Ltd, Schaffhausen, Switzerland). Os participantes completaram 6 voltas no percurso considerado tecnicamente fácil, de forma a minimizar o impacto da técnica no desempenho final. Cada volta teve 2,3 km de comprimento, com altimetria de 123,7 m, totalizando 742 m de ganho de elevação acumulada (Figura 2).

Os atletas foram instruídos a completar o contrarrelógio individual o mais rápido possível. A troca de marcha, cadência e posição adotada (sentado ou em pé) ficaram a critério do participante. Como aquecimento e para familiarizar o atleta com o percurso, cada atleta completou duas voltas no percurso de cross-country com intensidade auto-selecionada. Durante o contrarrelógio individual, o tempo, frequência cardíaca (Edge 520/530, Garmin Ltd, Schaffhausen, Switzerland) e potência SIGEYI AXO (SIGEYI Tech Co., Guangzhou, China) foram continuamente monitorados a cada volta. Os participantes foram instruídos a realizar o ‘zero-offset’ antes do contrarrelógio individual usando a função de calibração do dispositivo Garmin (Edge 520/530, Garmin Ltd, Schaffhausen, Switzerland). Foi permitido aos participantes hidratar-se *ad libitum* somente com água. O tempo total para completar o contrarrelógio individual foi utilizado como indicador de desempenho.

Determinação da durabilidade

A diferença entre a potência da condição “descansado” e fatigado foi usada para avaliar a durabilidade dos grupos HP e LP. Os valores de potência (dos testes 30/15, 10/20 e 3/2) do estado fatigado foram expressos como uma porcentagem (declínio percentual) dos valores equivalentes (dos mesmos testes) do estado “descansado”. Por exemplo, se a potência no teste 10/20 “descansado” for $9,0 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ e 10/20 fatigado for $8,5 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, o declínio percentual correspondente seria -5,6% (ou seja, declínio percentual = $(8,5 - 9,0) / 9,0 \times 100$). Uma menor diminuição, -3% por exemplo, significa maior durabilidade.

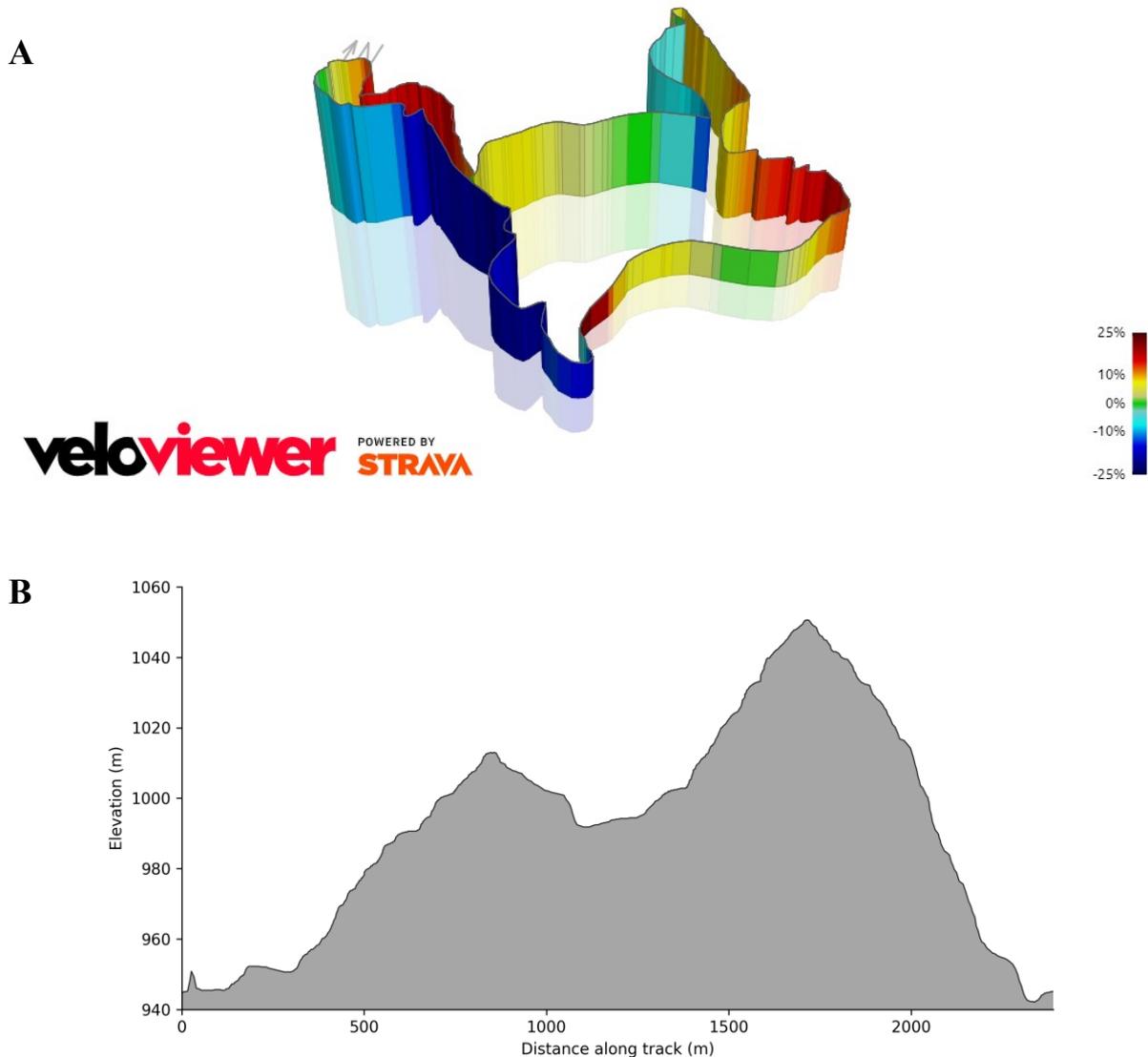


Figura 2. Topografia (A) e perfil de altitude (B) do percurso do contrarrelógio individual de XCO-MTB.

Fonte: O autor, 2025. O painel (A) foi gerado no site <https://veloviewer.com/> com dados do autor.

Análise estatística

Os dados foram testados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk. As variáveis foram descritas pela média \pm desvio padrão (DP). O teste de Levene foi aplicado para avaliar a igualdade de variâncias entre os grupos HP e LP e, em caso de violação, as variâncias foram corrigidas de acordo com o teste *t* de Welch. O coeficiente de correlação de Pearson (com seu intervalo de confiança de 95% (IC95%)) foi utilizado para analisar o nível de associação entre cada teste intermitente e o tempo no contrarrelógio individual de XCO-MTB. Os coeficientes de correlação foram interpretados como: $< 0,1$, trivial; $0,1-0,3$, pequeno; $0,3-0,5$, moderado;

0,5-0,7, grande; 0,7-0,9, muito grande; > 0,9, quase perfeito [17]. Para desenvolver modelos de predição do desempenho no XCO-MTB, foram utilizados os resultados de testes intermitentes (30/15, 10/20 e 3/2) realizados nas condições “descansado” e fatigado, separadamente. Para cada condição, foram calculadas equações de regressão linear múltipla empregando o procedimento de eliminação Backward. O modelo selecionado foi aquele que apresentou o maior valor de R^2 e o menor erro padrão da estimativa.

O efeito do protocolo de fadiga na potência absoluta e relativa a massa corporal dos testes intermitentes, considerando todos os 25 participantes, foi avaliada usando o teste t pareado. Para comparar a idade, variáveis antropométricas, PC, W' , experiência competitiva, horas de treinamento por semana, características do contrarrelógio individual e o declínio percentual dos valores de potência (dos testes intermitentes) entre os grupos HP e LP foi realizado o teste t para amostras independentes.

Foi realizada uma ANOVA fatorial de medidas repetidas 2 x 2, com estado de fadiga (dois níveis: “descansado” e fatigado) como fator intra-sujeitos e grupo (dois níveis: HP e LP) como fator entre-sujeitos. Quando uma interação significativa foi encontrada, uma análise post-hoc de Bonferroni ajustado foi realizada para todas as comparações pareadas para determinar as diferenças exatas entre as diferentes variáveis e evitar erro do Tipo I. A esfericidade foi analisada pelo teste de Bartlett e a correção de Greenhouse-Geisser foi usada quando a esfericidade não foi assumida. A ANOVA fatorial de medidas repetidas e testes t para amostras independentes também foram aplicados caso os dados não estivessem normalmente distribuídos, conforme demonstrado como apropriado por Norman [42].

Os tamanhos de efeito para as diferenças entre os grupos HP e LP e as condições “descansado” e fatigado são relatados como g de Hedges (Hedges' g), que é não enviesado e corrigido para amostras pequenas ($n < 20$) [29]. Os tamanhos de efeito foram interpretados como: < 0,2, trivial; 0,2-0,6, pequeno; 0,6-1,2, moderado; 1,2-2,0, grande; 2,0-4,0, muito grande; > 4,0, quase perfeito [17]. As análises foram realizadas usando o SPSS (versão 25.0; IBM SPSS, Chicago, IL, EUA). Exceto as Figuras 1 e 2, todas as outras foram criadas utilizando o GraphPad Prism (versão 8.3.0, GraphPad Software Inc., San Diego, CA, USA). O nível de significância adotado foi $P < 0,05$ bicaudal.

RESULTADOS

Características dos atletas e do contrarrelógio individual

Entre as características dos grupos HP e LP, diferenças significativas foram encontradas para massa corporal, gordura corporal e potência crítica em W e $W \cdot \text{kg}^{-1}$ (Tabela 1). Para os

resultados do contrarrelógio individual de XCO-MTB (Tabela 2), foram observadas diferenças significativas entre os grupos HP e LP no tempo para completar o contrarrelógio, na cadência média, potência média em W e $W \cdot kg^{-1}$ e na potência normalizada em W e $W \cdot kg^{-1}$.

Tabela 2. Resultados do contrarrelógio individual de XCO-MTB.

Variáveis	HP (n = 9)	LP (n = 9)	Total (n = 25)
Tempo CRI (min:s)	64:33 ± 3:22***	80:45 ± 5:37	72:24 ± 8:03
Distância total CRI (km)	13,9	13,9	13,9
Subida total CRI (m)	742	742	742
FC média CRI (% FC máx)	92,9 ± 1,4	91,3 ± 2,8	92,2 ± 2,1
Cadência média CRI (rpm)	73,8 ± 3,6*	67,9 ± 3,6	70,4 ± 4,8
Potência média CRI (W)	240,4 ± 14,3**	204,6 ± 19,8	220,7 ± 24,6
Potência média CRI ($W \cdot kg^{-1}$)	3,6 ± 0,3***	2,7 ± 0,2	3,1 ± 0,5
Potência média CRI (% PC)	77,5 ± 3,7	76,9 ± 5,3	77,9 ± 4,8
NP CRI (W)	289,0 ± 14,8**	244,3 ± 22,8	264,8 ± 29,0
NP CRI ($W \cdot kg^{-1}$)	4,3 ± 0,4***	3,2 ± 0,3	3,8 ± 0,6
NP CRI (% PC)	93,2 ± 4,3	91,8 ± 5,3	93,4 ± 5,1

Nota: Os dados são apresentados como média ± desvio padrão. HP = alto desempenho, LP = baixo desempenho, CRI = contrarrelógio individual, XCO-MTB = mountain bike cross-country Olímpico, FC = frequência cardíaca, rpm = rotações por minuto, PC = potência crítica, NP = potência normalizada. Diferença significativa entre os grupos HP e LP: * $P < 0,01$, ** $P < 0,001$, *** $P < 0,0001$.
Fonte: O autor, 2025.

Correlação e predição do desempenho no XCO-MTB

Todos os três testes intermitentes nas condições “descansado” e fatigado apresentaram correlações grandes a quase perfeitas com o contrarrelógio individual de XCO-MTB (Tabela 3). O teste 30/15 apresentou correlação grande e muito grande na condição “descansado”, em valores absolutos e relativos à massa corporal, respectivamente. Na condição fatigado, a correlação foi muito grande em ambas as formas. Para o teste 10/20, a correlação na condição “descansado” foi grande e quase perfeita, em valores absolutos e relativos à massa corporal, respectivamente. Na condição fatigado, a correlação foi muito grande em valores absolutos e quase perfeita em valores relativos à massa corporal. O teste 3/2 apresentou correlação grande e muito grande na condição “descansado”, em valores absolutos e relativos à massa corporal, respectivamente. Na condição fatigado, a correlação foi muito grande em valores absolutos e relativos à massa corporal.

Tabela 3. Correlação (Pearson) entre o tempo no contrarrelógio individual de XCO-MTB e testes intermitentes realizados nas condições “descansado” e fatigado expressos em valores absolutos e relativos à massa corporal (n = 24).

Testes	“Descansado”				Fatigado			
	Absoluto		Relativo a MC ⁻¹		Absoluto		Relativo a MC ⁻¹	
	r	IC 95%	r	IC 95%	r	IC 95%	r	IC 95%
30/15	-0,61*	(-0,81 a -0,28)	-0,83‡	(-0,92 a -0,63)	-0,75‡	(-0,88 a -0,49)	-0,89‡	(-0,95 a -0,76)
10/20	-0,68†	(-0,85 a -0,39)	-0,91‡	(-0,96 a -0,80)	-0,86‡	(-0,94 a -0,71)	-0,95‡	(-0,98 a -0,88)
3/2	-0,53*	(-0,77 a -0,16)	-0,84‡	(-0,93 a -0,67)	-0,72‡	(-0,87 a -0,44)	-0,89‡	(-0,95 a -0,75)

XCO-MTB = mountain bike cross-country Olímpico, IC = intervalo de confiança, MC = massa corporal.

* $P < 0,01$, † $P < 0,001$, ‡ $P < 0,0001$.

Fonte: O autor, 2025.

Para obter uma medida mais apropriada do desempenho dos atletas, na regressão linear múltipla, foram incluídas apenas variáveis relativas à massa corporal. Esta é uma técnica comum que permite uma melhor avaliação do desempenho individual e possibilita a comparação justa entre diferentes indivíduos.

Os pressupostos do modelo linear foram atendidos: não foi identificada multicolinearidade ($VIF < 5$), os resíduos foram independentes (Durbin-Watson entre 1 e 3) e seguiram uma distribuição normal (Shapiro-Wilk, $P > 0,05$). Além disso, a linearidade e a homocedasticidade foram confirmadas por inspeção visual do gráfico dos valores previstos padronizados em relação aos resíduos padronizados. Menos de 5% dos casos apresentaram resíduos padronizados com valor absoluto superior a 2 e apenas um outlier, com resíduo padronizado de 2,3, foi detectado e excluído das análises de correlação e regressão linear múltipla.

Os resultados demonstraram haver uma influência significativa do preditor $10/20 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ tanto na condição “descansado” ($F(1, 22) = 103,747, P < 0,001$), quanto na condição fatigado ($F(1, 22) = 190,563, P < 0,001$) no tempo do contrarrelógio individual de XCO-MTB. Dos três preditores ($30/15 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, $10/20 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ e $3/2 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$) considerados para cada modelo, o $10/20 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ nas duas condições (“descansado” e fatigado) foi o único preditor mantido no modelo final da regressão linear múltipla com procedimento de eliminação Backward e foi capaz de explicar 82% e 89% respectivamente da variância no tempo do contrarrelógio individual de XCO-MTB (Tabela 4). Para a condição “descansado”, a equação de predição foi definida como: $\text{XCO-MTB time (s)} = 6894,945 - 357,360 \times 10/20 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$. Já para a condição fatigado, a equação foi estabelecida da seguinte forma: $\text{XCO-MTB time (s)} = 6360,748 - 331,329 \times 10/20 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$. Em ambos os modelos, o preditor $10/20 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ apresentou uma relação negativa com o tempo do contrarrelógio de XCO-MTB. Isso indica que, para cada aumento unitário nesse preditor, há uma redução no tempo do contrarrelógio de 357,4 s ou 331,3 s, ou seja, um desempenho melhor. De acordo com estes resultados, o $10/20 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ na condição fatigado pode ser considerado o melhor preditor para explicar o desempenho no contrarrelógio individual de XCO-MTB com erro padrão da estimativa de ≈ 153 s, ou seja 3,5% do tempo total e R^2 ajustado de 0,892.

Tabela 4. Modelos preditivos para o desempenho no contrarrelógio individual de XCO-MTB na condição “descansado” e fatigado (n = 24).

Preditores	B	Erro padrão (s)	Beta	R ² ajustado	EPE (s)	P-valor	Tol	VIF
Constant	6894,945	256,874				< 0,0001		
Descansado 10/20 W·kg ⁻¹	-357,360	35,085	-0,908	0,817	198,4	< 0,0001	1,000	1,000
Constant	6360,748	151,699				< 0,0001		
Fatigado 10/20 W·kg ⁻¹	-331,329	24,002	-0,947	0,892	152,6	< 0,0001	1,000	1,000

XCO-MTB = mountain bike cross-country Olímpico, Beta = beta padronizado, EPE = erro padrão da estimativa, Tol = tolerância, VIF = fator de inflação da variância.

Fonte: O autor, 2025.

“Descansado” versus fatigado

A temperatura e a umidade foram estáveis em todos os testes (testes “descansados”, $16,1^{\circ}\text{C} \pm 4,0^{\circ}\text{C}$; testes fatigados, $16,9^{\circ}\text{C} \pm 3,9^{\circ}\text{C}$; $P = 0,182$; e $81,3\% \pm 7,1\%$ vs. $80,7\% \pm 5,6\%$, respectivamente; $P = 0,631$).

A quantidade de trabalho acumulado realizado durante o protocolo de fadiga considerando a média dos três testes intermitentes (30/15, 10/20 e 3/2) e todos os 25 participantes foi de $1313 \text{ kJ} \pm 141 \text{ kJ}$, o que equivale a $18,6 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1} \pm 2,4 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

O efeito do protocolo de fadiga na potência absoluta e relativa a massa corporal dos testes intermitentes considerando todos os 25 participantes é apresentado na Figura 3. Os valores de potência em todos os testes foram significativamente menores ($P < 0,0001$, tamanho de efeito moderado) na condição fatigado quando comparado a condição “descansado”. A fadiga acumulada gerou redução percentual de $-10,3 \pm 6,9\%$, $-15,2 \pm 6,3\%$ e $-11,0 \pm 7,7\%$ na potência dos testes 30/15, 10/20 e 3/2 respectivamente. Adicionalmente, todos os testes na condição fatigado apresentaram %PC menor quando comparados a condição “descansado” ($P < 0,0001$). O %PC para os testes 30/15, 10/20 e 3/2 na condição “descansado” foi $129,6 \pm 9,1\%$, $178,7 \pm 17,1\%$ e $110,2 \pm 7,0\%$ e para a condição fatigado, $116,2 \pm 11,8\%$, $151,6 \pm 17,7\%$ e $98,0 \pm 10,2\%$ respectivamente.

Um efeito de interação significativo foi observado para os valores de potência expressos em unidades absolutas e relativas a massa corporal nas duas condições ($P < 0,05$). Em análises post hoc, a condição “descansado” mostrou maiores valores de potência em todos os testes intermitentes (30/15, 10/20 e 3/2) e nos dois grupos (HP e LP) quando comparado a condição fatigado (Figura 4). O tamanho de efeito encontrado variou de $g = 0,69$ a $2,02$, moderado a muito grande.

O teste intermitente 3/2 (W) do grupo LP na condição descansado não apresentou distribuição normal ($P = 0,02$). Mesmo esta variável não apresentando distribuição normal, nós optamos por aplicar o teste paramétrico devido a semelhança entre o valor da média ($296,4 \text{ W}$) e da mediana ($289,6 \text{ W}$), além de ser reportado como apropriado por Norman [42].

Alteração do bem-estar das pernas, PSE e percepção de fadiga

Na comparação do bem-estar das pernas, PSE e percepção de fadiga, não foram observadas diferenças significativas entre os grupos HP e LP ($P = 0,596$). No entanto, diferenças entre as condições “descansado” e fatigado foram encontradas ($P = 0,001$). O bem-estar das pernas nos testes 30/15, 10/20 e 3/2 não foi diferente ($P = 0,875$, $0,118$ e $0,725$ respectivamente) entre as condições “descansado” e fatigado. Entretanto, em todos os testes, a

PSE e a percepção de fadiga foram significativamente maiores na condição fatigado, comparado a condição “descansado” (Tabela 5).

Tabela 5. Respostas de bem-estar das pernas, PSE e percepção de fadiga.

Variáveis		“Descansado”	Interp.	Fatigado	Interp.	g	Interp.
30/15							
Bem-estar das pernas (a.u.)	HP	3,9 ± 1,3	Um pouco boa	3,9 ± 1,8	Um pouco boa	0,00	Trivial
	LP	3,8 ± 1,6	Um pouco boa	3,7 ± 1,7	Um pouco boa	0,07	Trivial
PSE (a.u.)	HP	14,9 ± 1,5**	Difícil	16,9 ± 1,7	Muito difícil	1,18	Mod.
	LP	16,0 ± 1,8**	< Muito difícil	17,1 ± 1,4	Muito difícil	0,66	Mod.
Percepção de fadiga (a.u.)	HP	4,1 ± 1,5***	Mod. fatigado	7,8 ± 2,2	Muito fatigado	1,86	Grande
	LP	4,9 ± 2,4***	Mod. fatigado	7,9 ± 2,0	Muito fatigado	1,28	Grande
10/20							
Bem-estar das pernas (a.u.)	HP	3,8 ± 1,3	Um pouco boa	5,0 ± 2,2	Normal	0,65	Mod.
	LP	4,1 ± 1,5	Um pouco boa	4,3 ± 2,4	Um pouco boa	0,11	Trivial
PSE (a.u.)	HP	14,0 ± 2,2*	< Difícil	17,9 ± 1,6	> Muito difícil	1,93	Grande
	LP	16,6 ± 2,1*	< Muito difícil	17,7 ± 1,9	> Muito difícil	0,52	Peq.
Percepção de fadiga (a.u.)	HP	4,3 ± 1,7**	Mod. fatigado	7,8 ± 2,0	Muito fatigado	1,79	Grande
	LP	6,3 ± 2,6**	Mod. fatigado	8,0 ± 1,1	Muito fatigado	0,79	Mod.
3/2							
Bem-estar das pernas (a.u.)	HP	5,1 ± 1,5	Normal	4,0 ± 1,6	Um pouco boa	0,68	Mod.
	LP	4,2 ± 1,4	Um pouco boa	5,0 ± 1,0	Normal	0,61	Mod.
PSE (a.u.)	HP	14,7 ± 1,6***	Difícil	17,2 ± 1,5	Muito difícil	1,59	Grande
	LP	15,4 ± 1,9***	Difícil	18,7 ± 1,1	Extrem. difícil	1,99	Grande
Percepção de fadiga (a.u.)	HP	5,6 ± 1,3***	Mod. fatigado	7,4 ± 1,6	Muito fatigado	1,23	Grande
	LP	5,4 ± 1,7***	Mod. fatigado	8,6 ± 1,2	Muito fatigado	1,96	Grande

Nota: Os dados são apresentados como média ± desvio padrão. HP = alto desempenho, LP = baixo desempenho, PSE = percepção subjetiva de esforço, a.u. = unidades arbitrárias, g = g de Hedges, Interp. = interpretação, Mod. = moderado, Mod. fatigado = moderadamente fatigado, Extrem. difícil = extremamente difícil, Peq. = pequeno. Diferença significativa entre as condições “descansado” e fatigado: * $P < 0,01$, ** $P < 0,001$, *** $P < 0,0001$.

Fonte: O autor, 2025.

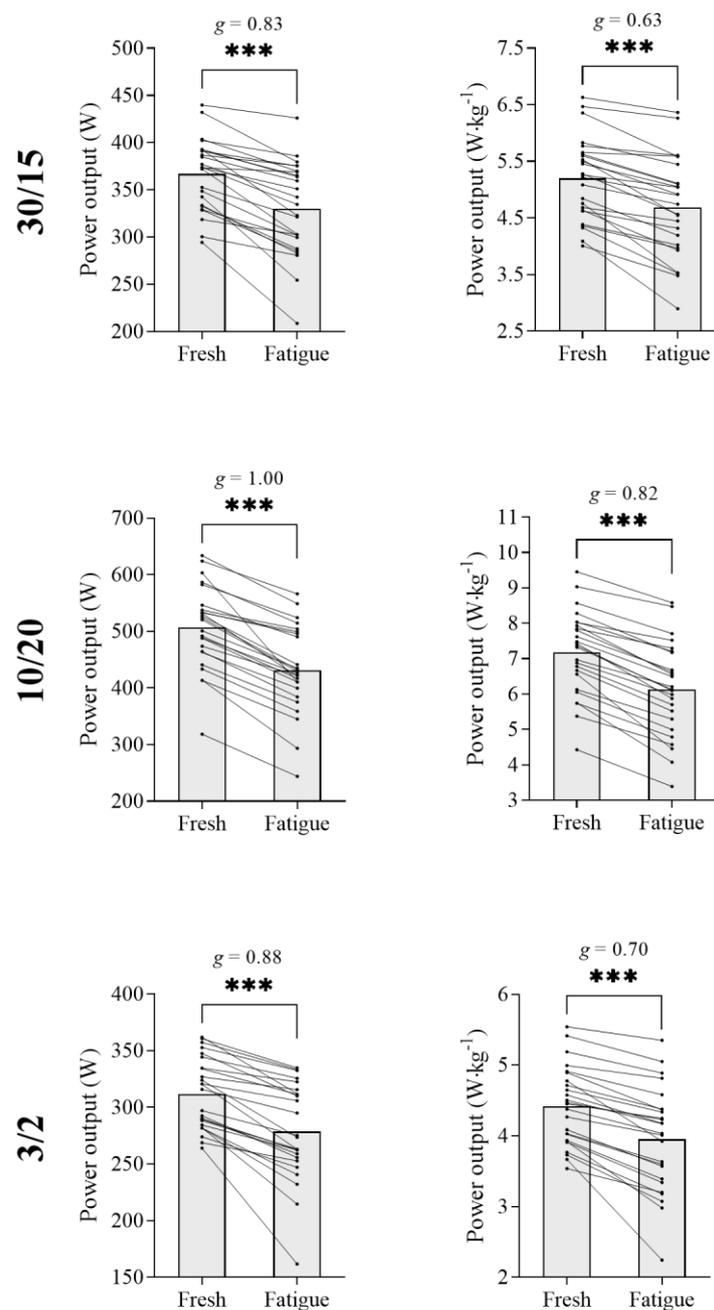


Figura 3. Diferenças na potência absoluta e relativa dos testes intermitentes 30/15, 10/20 e 3/2 entre as condições “descansado” e fatigado. Os tamanhos de efeito são relatados como g de Hedges. As barras indicam valores médios e as linhas indicam respostas individuais. Diferença significativa entre as duas condições: *** $P < 0,0001$.

Fonte: O autor, 2025.

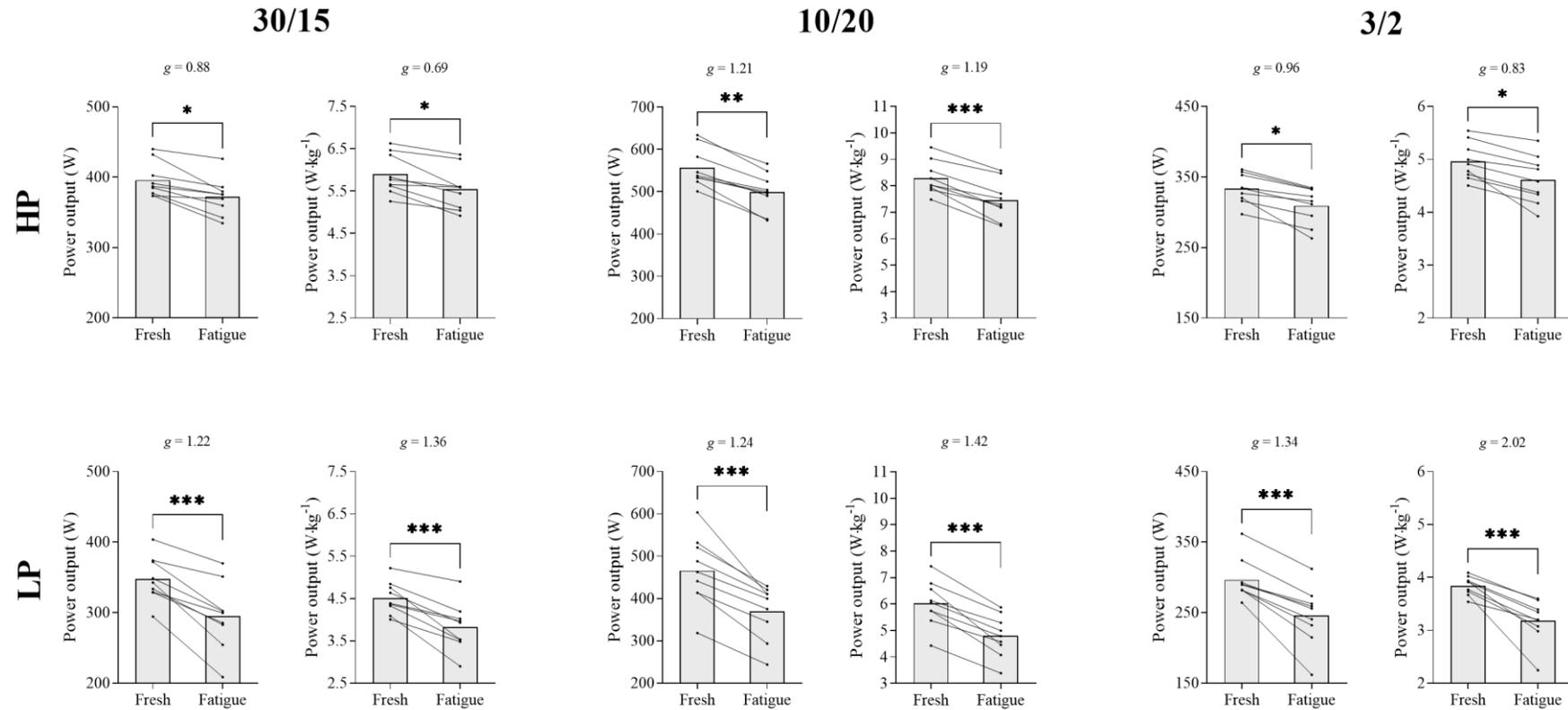


Figura 4. Diferenças na potência absoluta e relativa dos testes intermitentes 30/15, 10/20 e 3/2 entre as condições “descansado” e fatigado dos grupos HP e LP. Os tamanhos de efeito são relatados como g de Hedges. As barras indicam valores médios e as linhas indicam respostas individuais. HP = alto desempenho, LP = baixo desempenho. Diferença significativa entre as duas condições: * $P < 0,01$, ** $P < 0,001$, *** $P < 0,0001$.

Fonte: O autor, 2025.

HP versus LP

A quantidade de trabalho acumulado realizado durante o protocolo de fadiga considerando a média dos três testes intermitentes (30/15, 10/20 e 3/2) no grupo HP foi de $1391 \text{ kJ} \pm 116 \text{ kJ}$, o que equivale a $20,8 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1} \pm 2,1 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ e no grupo LP foi de $1272 \text{ kJ} \pm 128 \text{ kJ}$, o que equivale a $16,5 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1} \pm 1,2 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Ambos os grupos apresentaram uma redução percentual na potência durante os testes intermitentes. No entanto, o grupo LP exibiu um declínio percentual significativamente maior ($P < 0,01$ a $P < 0,001$, com um grande tamanho de efeito) em comparação ao grupo HP em todos os três testes (Figura 5). Indicando assim, maior durabilidade do grupo HP. No grupo HP, a fadiga acumulada gerou uma redução percentual de $-6,0 \pm 3,8\%$, $-10,3 \pm 3,7\%$ e $-7,3 \pm 4,2\%$ na potência dos testes 30/15, 10/20 e 3/2 respectivamente. Já para o grupo LP, a fadiga acumulada levou a uma redução percentual de $-15,4 \pm 7,9\%$, $-20,4 \pm 6,5\%$ e $-17,4 \pm 9,1\%$ na potência dos mesmos testes, respectivamente.

Um efeito de interação significativo foi observado para os valores de potência expressos em unidades absolutas e relativas nos dois grupos ($P < 0,05$). Em análises post hoc, o grupo LP mostrou menores valores de potência em todos os testes intermitentes nas duas condições (“descansado” e fatigado) quando comparado ao grupo HP (Figura 6). O tamanho de efeito encontrado variou de $g = 1,30$ a $3,83$, grande a muito grande.

A redução percentual da potência no teste intermitente 3/2 dos grupos HP e LP não apresentou distribuição normal ($P < 0,05$). Mesmo esta variável não apresentando distribuição normal, nós optamos por aplicar o teste paramétrico devido a semelhança entre o valor da média (HP = $-7,3\%$ e LP = $-17,4\%$) e da mediana (HP = $-6,7\%$ e LP = $-14,6\%$), além de ser reportado como apropriado por Norman [42]. As demais variáveis confirmaram a normalidade dos dados ($P > 0,05$).

Na condição fatigado, o grupo HP apresentou %PC significativamente maior no teste 10/20 em comparação ao grupo LP ($P = 0,01$). Não foram observadas diferenças significativas entre os grupos nos demais testes intermitentes e condições. Para o teste 30/15, o %PC para HP e LP foi $127,8 \pm 10,7\%$ e $130,6 \pm 6,6\%$ na condição “descansado” e $120,0 \pm 9,5\%$ e $110,7 \pm 14,0\%$ no fatigado respectivamente. Para o teste 10/20, o %PC para HP e LP foi $179,9 \pm 15,4\%$ e $174,4 \pm 22,4\%$ na condição “descansado” e $161,2 \pm 14,4\%$ e $138,5 \pm 18,5\%$ no fatigado respectivamente e para o teste 3/2, o %PC para HP e LP foi $107,5 \pm 7,3\%$ e $111,5 \pm 7,3\%$ na condição “descansado” e $99,7 \pm 8,0\%$ e $92,1 \pm 12,1\%$ no fatigado respectivamente.

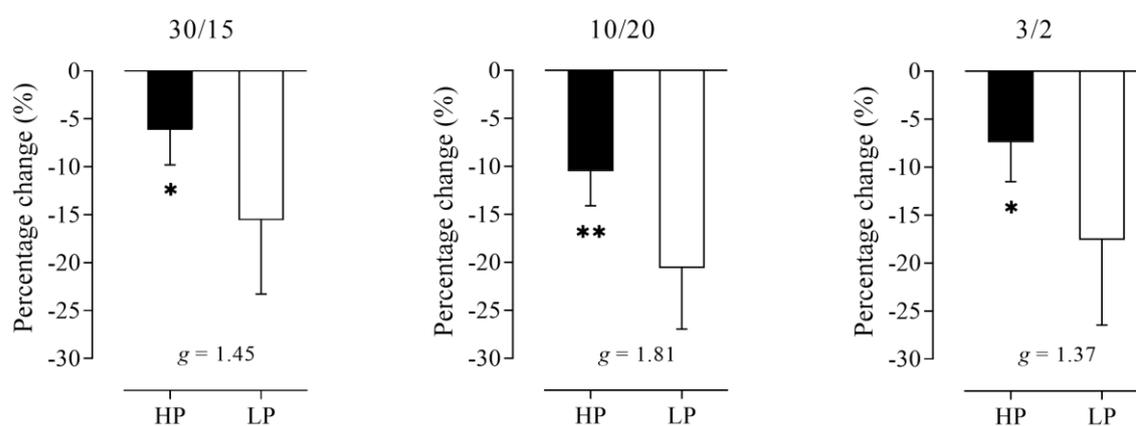


Figura 5. Diferenças no declínio da potência dos testes intermitentes 30/15, 10/20 e 3/2 entre os grupos HP e LP. As mudanças são expressas como uma redução percentual da potência em comparação com o estado “descansado”. Os tamanhos de efeito são relatados como g de Hedges. HP = alto desempenho, LP = baixo desempenho. Diferença significativa entre HP e LP: * $P < 0,01$, ** $P < 0,001$.

Fonte: O autor, 2025.

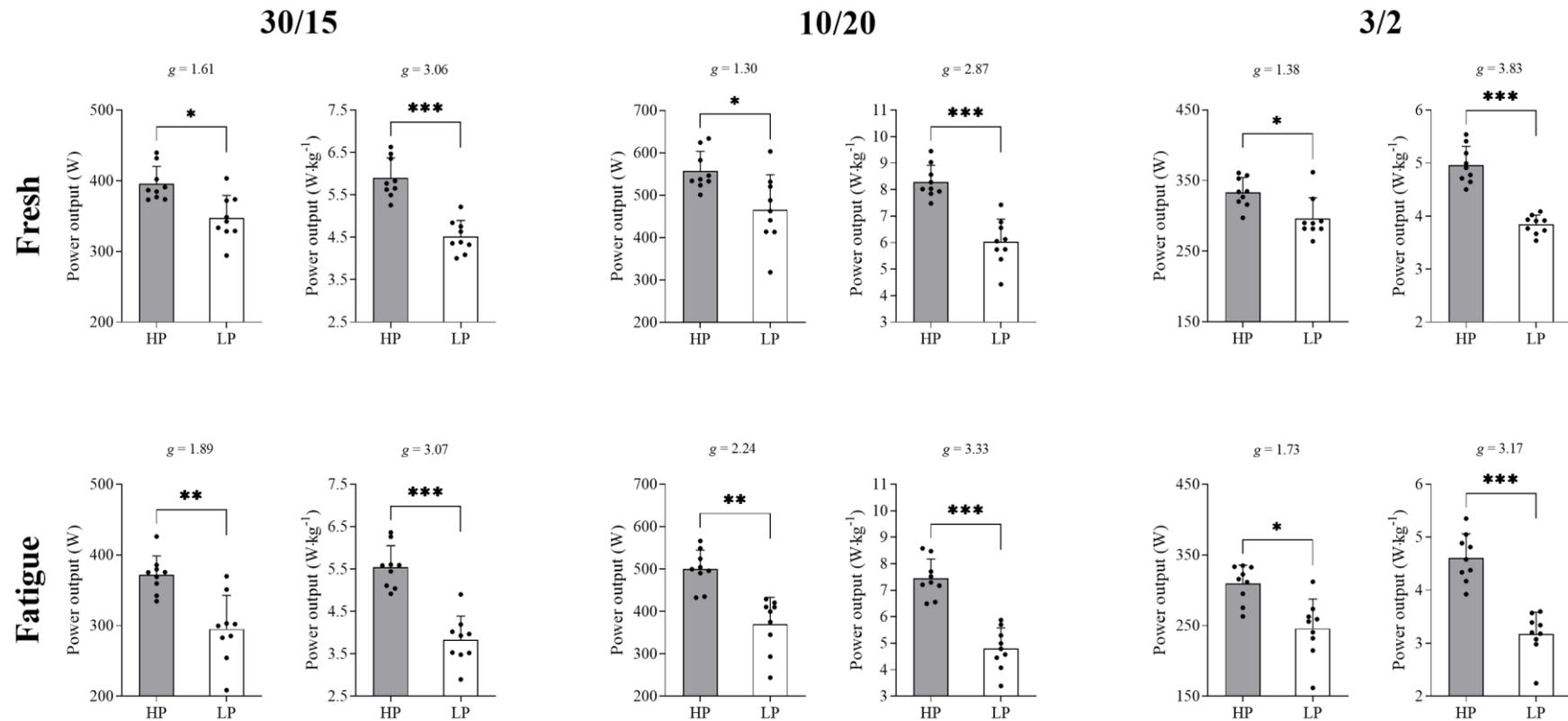


Figura 6. Diferenças na potência absoluta e relativa dos testes intermitentes 30/15, 10/20 e 3/2 entre os grupos HP e LP nas condições “descansado” e fatigado. Os tamanhos de efeito são relatados como g de Hedges. HP = alto desempenho, LP = baixo desempenho. Diferença significativa entre HP e LP: * $P < 0,01$, ** $P < 0,001$, *** $P < 0,0001$.

Fonte: O autor, 2025.

DISCUSSÃO

Este estudo teve como objetivos, verificar se testes intermitentes realizados na condição fatigado são melhores preditores do desempenho no XCO-MTB em comparação com os mesmos testes realizados na condição “descansado”, verificar se o exercício prolongado prévio (protocolo de fadiga) reduz a potência de testes intermitentes e investigar se a capacidade de manter valores mais elevados de potência em testes intermitentes sob condição de fadiga (durabilidade) pode diferenciar o nível competitivo de mountain bikers.

Os principais achados, conforme hipotetizados, foram: (i) testes intermitentes realizados na condição fatigado são melhores preditores do desempenho no contrarrelógio individual de XCO-MTB quando comparados aos mesmos testes realizados na condição “descansado”. Vale destacar que a predição do desempenho foi superior quando a potência foi normalizada pela massa corporal. Nesse sentido, o teste intermitente $10/20 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ realizado na condição fatigado foi capaz de explicar 89% da variância no desempenho de XCO-MTB, com um erro padrão da estimativa de ≈ 153 s. Assim, a capacidade de realizar sprints repetidos sob fadiga parece ser uma forma eficaz de determinar o nível de desempenho de um atleta de XCO-MTB, sendo, portanto, de grande valor para treinadores e atletas dessa modalidade, (ii) ocorreu uma redução na potência dos testes intermitentes após fadiga acumulada e (iii) a capacidade de manter valores mais elevados de potência em testes intermitentes sob condição de fadiga (durabilidade) foi superior em mountain bikers de maior desempenho em comparação aos de menor desempenho. O grupo HP mostrou um declínio percentual significativamente menor (tamanho de efeito grande) quando comparado ao grupo LP, indicando que a capacidade de atenuar o declínio nos valores de potência induzido pela fadiga (ou seja, durabilidade) é um parâmetro importante para o sucesso de mountain bikers.

Contrarrelógio individual

As regras atuais da *Union Cycliste Internationale* (UCI) determinam que os eventos de XCO-MTB nas categorias elite masculina e feminina devem ter uma duração entre 80 e 100 min, ou o mais próximo possível desse intervalo. No presente estudo, foi observada uma duração próxima ao limite inferior para a conclusão do contrarrelógio individual de XCO-MTB (Tabela 2), similar à reportada por Prinz et al. [47] em atletas de elite durante uma série de competições de mountain bike cross-country. A frequência cardíaca (FC) média atingiu cerca de 92% da FC máxima, corroborando os achados de outros estudos com atletas de XCO-MTB, nos quais a FC média durante competições foi em torno de 90% da máxima [11, 19, 23]. Este resultado sugere que os atletas se esforçaram ao máximo para completar o contrarrelógio no

menor tempo possível. Isto reflete a capacidade de suportar as intensidades elevadas exigidas pela modalidade. Næss et al. [40] relataram que a potência média em uma competição de XCO-MTB correspondeu a $76 \pm 9\%$ da PC. Nossos resultados mostram percentuais semelhantes para o contrarrelógio individual de XCO-MTB. No entanto, percentuais mais elevados ($\approx 93\%$ da PC) foram observados para a potência normalizada (NP), indicando que a NP no contrarrelógio de XCO-MTB está mais próxima da PC. Em corredores de maratona de elite, a distância da maratona foi concluída a $96 \pm 2\%$ da velocidade crítica (análogo à potência crítica) [26]. O valor elevado da NP em relação à potência média sugere que os atletas enfrentaram grandes variações de intensidade durante o contrarrelógio individual, uma característica típica do XCO-MTB. A NP leva em consideração essas flutuações na potência [44], refletindo a natureza intermitente da modalidade, marcada por esforços de alta intensidade, como subidas íngremes e acelerações.

Correlação e predição do desempenho

Identificar indicadores-chave de desempenho é considerado um passo importante para aumentar a eficácia dos programas de treinamento. Seguindo as recomendações de Prins et al. [46], que sugeriram uma mudança no foco das pesquisas sobre a fisiologia do mountain bike, enfatizando o desenvolvimento de testes menos tradicionais e mais específicos, propomos a utilização de três testes intermitentes, caracterizados por alta intensidade e curtos períodos de recuperação, realizados em campo, com e sem a realização prévia de um exercício prolongado. Vale destacar que as variáveis determinantes do desempenho são frequentemente medidas em estado de repouso, o que não reflete adequadamente as condições reais de competição, onde os atletas enfrentam a fadiga acumulada, especialmente em eventos de *endurance*. Os testes de campo, além de serem mais específicos, são particularmente úteis para atletas e treinadores que não têm acesso a equipamentos de laboratório [38].

Um amplo conjunto de evidências apoia a associação individual entre diversos indicadores fisiológicos obtidos em laboratório e o desempenho no XCO-MTB [12, 20, 21, 22, 23]. No presente estudo, descobrimos que os testes 30/15, 10/20 e 3/2 estavam relacionados ao desempenho no contrarrelógio, e o modelo multivariado revelou que o teste 10/20 $W \cdot kg^{-1}$ fatigado foi a variável que melhor previu o desempenho no contrarrelógio de XCO-MTB (Tabelas 3 e 4). Em linha com esta descoberta, evidências anteriores mostraram que testes intermitentes de alta intensidade, intercalados com períodos reduzidos de recuperação, estavam fortemente associados ao desempenho em competições de mountain bike. Por exemplo, foram relatadas correlações grandes a muito grandes entre: 5 x Wingate de 30 s separados por 30 s de

recuperação ($r = -0,79$, $P = 0,006$) [23]; 4 x 30 s de esforço máximo separados por 1 min de recuperação ($r = \approx -0,63$, $P < 0,05$) [3]; 6 x 10 s de esforço máximo, separados por 20 s de recuperação (esse teste foi baseado nas condições atuais do XCO-MTB, com distância mais curta e pista mais técnica) ($r = 0,87$, $P < 0,05$) [15]; 20 x 45 s de esforço máximo separados por 15 s de recuperação ($r = -0,89$, $P < 0,001$) [38] e o desempenho no XCO-MTB. Esses resultados, em conjunto, apoiam parcialmente a noção de que a capacidade de produzir esforços intermitentes repetidos parece ser um determinante do desempenho mais importante do que um único esforço máximo [23].

Na tentativa de compreender melhor os determinantes do desempenho no XCO-MTB, diversos estudos adotaram uma análise de regressão linear múltipla [3, 15, 38, 43]. Bejder et al. [3] mostraram que 98% da variância no desempenho ($P < 0,001$) foi explicada pelo consumo de oxigênio de pico ($\dot{V}O_{2\text{pico}}$), índice de fadiga e torque máximo do quadríceps femoral. Além disso, parâmetros obtidos da capacidade de sprints repetidos de 4 x 30 s explicaram 88% da variância do desempenho no XCO-MTB ($P < 0,001$). Ao comparar um teste contínuo (FTP) com um teste intermitente, Miller et al. [38] reportaram que tanto o FTP ($R^2 = 0,736$, $P < 0,001$) quanto o teste intermitente ($R^2 = 0,786$, $P < 0,001$) foram capazes de prever significativamente o desempenho no XCO-MTB. No entanto, os erros de predição foram menores ao usar o teste intermitente (273,5 s) em comparação ao FTP (303,6 s). Recentemente, Hays et al. [15] demonstraram que o desempenho no XCO-MTB foi predito em 89,2% ($P < 0,001$) pela potência de pico no sexto sprint do teste de sprints repetidos ($\beta = 0,602$), taxa máxima de pedalada (rpm) ($\beta = 0,309$) e PPO ($\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$) ($\beta = 0,329$). Ao observar os valores de β padronizado, nota-se que o teste de sprints repetidos foi a variável preditora com maior peso para o modelo. A predição do modelo aumentou de 75% com a potência de pico no sexto sprint para 82% ao adicionar a taxa máxima de pedalada e para 89,2% com a adição do PPO ($\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$). Vale ressaltar que os testes de sprint repetidos se destacam nesses modelos de regressão múltipla. Nesse sentido, a avaliação da capacidade de realizar sprints repetidos pode, por si só, fornecer informações valiosas sobre o desempenho no XCO-MTB [3]. Em linha com esses achados, mostramos que 89% da variância no desempenho de XCO-MTB foi explicada pelo teste 10/20 $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$ na condição fatigado (Tabela 4).

No presente estudo, o teste intermitente 10/20 $\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$ apresentou um erro de aproximadamente 3,3 min (4,6%) na condição “descansado” e 2,5 min (3,5%) na condição fatigado em uma prova de 72 min. A diferença no erro padrão da estimativa entre as condições “descansado” e fatigado foi de ≈ 46 s. Este intervalo de tempo supera a margem de < 30 s que separou os atletas do pódio na prova masculina e feminina de XCO-MTB nos Jogos Olímpicos

de Paris 2024, podendo ser decisivo para a conquista ou a perda de uma medalha. Isto ressalta a relevância de um modelo mais preciso, especialmente na condição fatigado. O teste 10/20 $W \cdot kg^{-1}$ fatigado apresentou melhor poder preditivo em comparação com estudos anteriores [23], onde as regras e características das provas eram diferentes, como o percurso, a intensidade e a duração. Uma possível explicação para essas diferenças foi demonstrada por Hays et al. [14]. Esses autores avaliaram as exigências fisiológicas impostas pelo formato atual do XCO-MTB e mostraram que a duração da maioria dos esforços acima da potência aeróbia máxima variou entre 5 e 30 s. Entretanto, o tempo gasto acima da potência aeróbia máxima ocorreu com mais frequência entre 5 e 10 s, sugerindo que o mountain bike possui um perfil acíclico, semelhante ao de esportes coletivos intermitentes [14]. Em linha com esses resultados, Prinz et al. [47] ao utilizarem uma taxa de amostragem de 3 s, aplicada por determinados softwares, demonstraram que o número de esforços acima da potência aeróbia máxima foi de 167 ± 46 , com uma duração aproximada de 10 s a cada 20 s. Considerando esses achados, isso pode explicar por que o teste intermitente 10/20 apresentou o melhor resultado no presente estudo.

Até onde sabemos, o único estudo com atletas de XCO-MTB que realizou testes nas condições “descansado” e fatigado foi o de Prins et al. [46]. Nesse estudo, não foi observada uma correlação significativa entre o desempenho em competição de mountain bike e o tempo no contrarrelógio de 1 km realizado nas duas condições. A ausência de correlação provavelmente se deve ao tamanho reduzido da amostra ($n = 8$). Os autores sugerem que pode ter ocorrido um erro do tipo II e que, com uma amostra maior, a significância estatística poderia ter sido alcançada.

Segundo os autores, o contrarrelógio de 1 km foi escolhido porque o mountain bike cross-country raramente envolve longos trechos de sprints durante as competições. O contrarrelógio na condição “descansado” foi considerado representativo de um sprint no início da prova, utilizado para obter uma posição favorável, enquanto o contrarrelógio na condição fatigado representaria os sprints realizados para ultrapassar outros ciclistas em *single tracks* ou para disputar a linha de chegada [46].

As diferenças entre o presente estudo e o de Prins et al. [46] podem ser explicadas por diversos fatores, como o local de realização dos testes (campo vs. laboratório), o intervalo de tempo entre os testes e a competição (três dias vs. dois meses), o número de participantes ($n = 24$ vs. $n = 8$), o equipamento utilizado (bicicleta do atleta vs. rolo ergômetro eletrônico), a duração de cada esforço (10 s, 30 s e 180 s vs. 80-90 s) e a característica do esforço (sprints repetidos vs. sprint único).

Em consonância com nossos achados, Noordhof et al. [41] reportaram que, embora o comprimento do ciclo de passada a $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($r = 0,38$, $P = 0,033$) e o comprimento máximo do ciclo de passada ($r = 0,58$, $P = 0,001$) avaliados em estado “descansado” estivessem significativamente relacionados ao desempenho no esqui cross-country, correlações significativas e de maior magnitude ($r = 0,67$, $P < 0,001$ e $r = 0,86$, $P < 0,001$) foram observadas após exercício submáximo prolongado de 90 min, realizado com uma inclinação de 6% e intensidade de 65% do $\dot{V}O_{2\text{pico}}$ (ou seja, em estado fatigado). Esse resultado reforça que a fadiga acumulada parece ressaltar as demandas físicas reais enfrentadas em provas de *endurance*, tornando os preditores mais precisos e relevantes para o desempenho.

“Descansado” versus fatigado

No presente estudo, demonstramos que realizar o protocolo de fadiga (2 horas e 20 min com esforços no domínio de intensidade severo) reduz significativamente a potência em testes intermitentes, quando comparados aos mesmos testes realizados em estado “descansado”. Nossos resultados são, em certa medida, similares aos achados de estudo recente que utilizou teste incremental para determinar a potência no primeiro limiar ventilatório (VT_1) e o desempenho no contrarrelógio de 5 min, com e sem a realização prévia de 150 min a 90% da potência do VT_1 em ciclistas e triatletas bem treinados. O exercício prolongado prévio reduziu a potência no VT_1 ($-13 \pm 16 \text{ W}$, $\Delta\% = -6 \pm 7\%$, $P = 0,013$) e o desempenho no contrarrelógio de 5 minutos ($-31 \pm 41 \text{ W}$, $\Delta\% = -9 \pm 10\%$, $P = 0,017$) [13]. Adicionalmente, Valenzuela et al. [52] reportaram uma redução significativa na potência média do contrarrelógio de 20 min ($-11 \pm 12 \text{ W}$, $\Delta\% = -2,9\%$, $P = 0,007$) após aproximadamente 4 horas ($40 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) de exercício submáximo ($< 90\%$ da frequência cardíaca máxima e abaixo do limiar de potência funcional) em ciclistas de estrada profissionais. Especificamente em atletas de XCO-MTB, Prins et al. [46] reportaram que os atletas foram mais rápidos no contrarrelógio de 1 km realizado na condição “descansado” ($\approx 83 \text{ s}$), enquanto o tempo foi significativamente mais lento ($P < 0,05$) após a realização de um protocolo de fadiga prévio ($\approx 88 \text{ s}$). Isso sugere que a fadiga acumulada afeta negativamente o desempenho no sprint de 1 km, com uma redução de $-6,0\%$. Esses resultados em conjunto, mostram uma deterioração aguda no desempenho após exercício submáximo prolongado em comparação com estado “descansado”, apesar da considerável variabilidade interindividual observada. Recentemente, foi demonstrado em ciclistas bem treinados que uma sessão que inclui esforços de alta intensidade (repetições de 3 min a $\approx 115\%$ da PC, intercaladas por 3 min de recuperação) induz uma fadiga maior em comparação a uma sessão de treinamento contínuo de intensidade moderada ($\approx 65\%$ da PC), apesar da mesma quantidade de trabalho

mecânico acumulado ($\approx 15 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$). Essa descoberta ressalta a importância da intensidade do exercício no desenvolvimento da fadiga subsequente [2], destacando a relevância da “durabilidade de alta intensidade” para o desempenho de *endurance* [33].

Este estudo revelou um decréscimo percentual médio na potência dos testes 30/15, 10/20 e 3/2 de -10,3%, -15,2% e -11,0%, respectivamente, considerando todos os 25 participantes. Estes valores estão bem acima do erro típico de medida relatado para estes tipos de teste ($\approx 2-3\%$, estudo 1 da presente tese), o que descarta a possibilidade de erros de medida ou variabilidade biológica como potenciais fatores confundidores.

A potência medida durante os testes intermitentes foi superior à potência medida na PC, exceto no teste 3/2 na condição fatigado, sugerindo que os testes foram realizados no domínio de intensidade severo. Além disso, o %PC diminuiu de forma significativa com a fadiga em todos os testes, apresentando uma queda mais acentuada no teste 10/20. Este comportamento indica que a fadiga compromete a capacidade de gerar potência acima da PC, especialmente no teste 10/20. Na prática, o treinamento para aumentar a capacidade de suportar esforços acima da PC é importante para o desempenho em modalidades esportivas de caráter intermitente, como o XCO-MTB.

Alteração do bem-estar das pernas, PSE e percepção de fadiga

As respostas de bem-estar das pernas foram semelhantes para os dois grupos, tanto nas condições “descansado” quanto fatigado, sugerindo que o nível de desempenho não influenciou diretamente a percepção de quão boas ou pesadas estavam as pernas antes da realização dos testes. Isto também indica que o intervalo entre as condições foi suficiente para permitir a recuperação dos atletas. Embora o grupo HP tenha apresentado valores ligeiramente menores de PSE, especialmente na condição “descansado”, essas diferenças não foram estatisticamente significativas, indicando que ambos os grupos perceberam o esforço de maneira semelhante. As percepções de fadiga também se mostraram similares entre os grupos HP e LP, em ambas as condições. Na condição fatigado, observou-se um aumento expressivo tanto na PSE quanto na percepção de fadiga, evidenciando que o protocolo de fadiga foi eficaz em intensificar essas variáveis nos atletas (Tabela 5). Em síntese, a ausência de diferenças significativas entre os grupos sugere que, para as condições testadas, atletas de diferentes níveis de desempenho apresentam respostas bastante similares. Uma possível explicação para este resultado é que ambos os grupos (HP e LP) provavelmente se aproximaram de seus limites fisiológicos durante os testes, o que pode ter uniformizado suas percepções de esforço e fadiga. Confirmando parcialmente nossos achados, Pérez-Landaluce et al. [45] mostraram não existir diferenças

significativas entre a PSE (escala de 6-20) e $\% \dot{V}O_{2\text{máx}}$ ($\approx 35\%$ a $100\% \dot{V}O_{2\text{máx}}$) em três grupos de ciclistas de estrada com diferentes níveis de condicionamento físico (profissionais, sub-23 e juniores).

HP versus LP

Em concordância com estudos anteriores [9, 34, 53], nossos resultados também apoiam a noção de que a durabilidade parece ser um fator que distingue ciclistas com desempenhos superiores em competição daqueles com desempenhos inferiores. Por exemplo, Mateo-March et al. [34] analisaram 112 ciclistas profissionais e observaram que, os valores de potência diminuíram significativamente e de forma progressiva após apenas $15 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Além disso, após $15 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ de trabalho acumulado, a queda na potência foi maior nos ciclistas ProTour em comparação aos WorldTour ($P < 0,001$). Nossos resultados corroboram esses achados, demonstrando uma redução nos valores de potência e uma diferenciação entre os grupos HP e LP após trabalho acumulado realizado superior a 1000 kJ ou $15 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Nessa mesma linha de investigação, Van Erp et al. [53] reportaram que grandes quantidades de trabalho realizado (ou seja, fadiga) afetam negativamente o desempenho de ciclistas profissionais categorizados como escaladores e sprinters. No entanto, os autores mostraram que escaladores bem-sucedidos apresentam menor declínio na potência de 20 minutos ($\approx 4,0\%$) em comparação com escaladores de categoria inferior e de menor desempenho ($\approx 8,0\%$). Da mesma forma, sprinters de maior sucesso têm um menor declínio na potência de sprint de 10 segundos ($\approx 8,0\%$), em comparação com sprinters menos competitivos ($\approx 17,0\%$).

No grupo HP, as reduções de potência foram relativamente menores, com o teste 10/20 mostrando a maior queda ($\approx 10\%$). Isto sugere que, embora o exercício prévio tenha impactado o desempenho, o grupo HP teve maior capacidade de sustentar potência após a fadiga acumulada. Para o grupo LP, as reduções percentuais de potência foram muito mais pronunciadas, especialmente no teste 10/20 ($\approx 20\%$). Este grupo mostrou maior suscetibilidade ao impacto da fadiga, com quedas acentuadas em todos os testes, indicando que o grupo LP tem uma menor capacidade de lidar com a fadiga acumulada, ou seja, menor durabilidade. O teste 10/20 foi o mais afetado em ambos os grupos, sugerindo que este tipo de esforço intermitente é o mais exigente quando a fadiga está envolvida. Estes dados destacam a diferença na capacidade de recuperação e manutenção de potência entre atletas de alto e baixo desempenho. A menor queda na potência sugere que os indivíduos do grupo HP conseguem manter um desempenho elevado mesmo com fadiga acumulada, o que lhes permite realizar esforços com

quedas de potência menos expressivas. Isto é importante para atletas de XCO-MTB, que precisam repetidamente manter altos valores de potência durante as competições.

O decréscimo percentual médio na potência dos testes 30/15, 10/20 e 3/2 observado no grupo HP (-6,0%, -10,3% e -7,3%, respectivamente) e no grupo LP (-15,4%, -20,4% e -17,4%, respectivamente) está além do erro típico de medida relatado ($\approx 2-3\%$, estudo 1 da presente tese). Dessa forma, as reduções na potência observadas são causadas pela fadiga, excluindo a possibilidade de erros de medida ou variabilidade biológica. Além disso, observamos especialmente no grupo LP, decréscimos percentuais superiores aos relatados em estudos anteriores [13, 52]. Esta diferença pode ser parcialmente atribuída à utilização, no presente estudo, de esforços de alta intensidade no domínio severo (105-110% da PC). De fato, Mateo-March et al. [33] demonstraram que até mesmo pequenas quantidades de trabalho acumulado (fadiga) podem comprometer o desempenho de ciclistas profissionais, mas apenas quando realizadas em intensidades acima da PC.

Ao analisar o %PC, observou-se que a fadiga afetou ambos os grupos. Embora o grupo LP tenha atingido um elevado %PC no teste 10/20 na condição “descansado”, ele demonstrou maior suscetibilidade à fadiga, sugerindo que o grupo HP possui maior durabilidade. Vale destacar que, no teste 10/20, o grupo HP manteve intensidades bem mais altas tanto na condição “descansado” ($\approx 180\%$ da PC) quanto na condição fatigado ($\approx 160\%$ da PC), operando muito acima da PC em ambas as situações. Em síntese, a fadiga exerceu um impacto significativo no grupo LP durante o teste 10/20, evidenciando sua menor capacidade de recuperação e durabilidade.

Possíveis mecanismos

A menor redução na potência após fadiga acumulada pode estar associada a diversos fatores. Em estudo recente, Spragg et al. [51] mostraram que a durabilidade pode ser prevista de forma significativa a partir de variáveis como $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$, PPO, limiares metabólicos, eficiência bruta e oxidação de carboidratos. Esses dados sugerem que uma maior aptidão aeróbia, por si só, está relacionada a um menor declínio na potência. No entanto, Valenzuela et al. [52] publicaram um estudo com resultados contraditórios. O objetivo desses autores foi investigar se as alterações na potência do contrarrelógio fatigado poderiam ser previstas pelos limiares metabólicos, PPO, $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ e carga de treinamento. Não foram encontradas associações significativas entre o declínio de potência e nenhum dos indicadores analisados. O desempenho foi significativamente comprometido após aproximadamente $40 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ em ciclistas

profissionais, sugerindo que a durabilidade pode não estar relacionada aos indicadores tradicionais de *endurance* ou a marcadores de carga de treinamento.

Atletas com menores taxas de oxidação de carboidratos provavelmente utilizam menos glicogênio durante um protocolo de fadiga, conservando assim suas reservas para esforços subsequentes. Dessa forma, é plausível que atletas capazes de oxidar gordura em altas taxas, preservando o glicogênio durante o exercício, tenham maior capacidade de manter a potência após exercícios prolongados [51]. Entretanto, Vigh-Larsen et al. [54] questionaram a eficácia das estratégias de suplementação de carboidratos em esportes intermitentes de alta intensidade. Os autores relataram que a suplementação aguda de carboidratos ($\approx 55 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$) durante exercícios repetidos de alta intensidade no ciclismo não apresentou efeitos significativos nos padrões de depleção de glicogênio muscular. Da mesma forma, a ingestão de carboidratos não atenuou as reduções na capacidade de sprints repetidos, nem os aumentos na percepção subjetiva de esforço durante o exercício.

O domínio de intensidade em que o exercício é realizado determina o tipo e a magnitude da fadiga experimentada [7]. A intolerância ao exercício no domínio severo ($>PC$) foi associada à completa utilização do W' e à obtenção de um estado metabólico muscular crítico ou “intolerável” (ou seja, baixa concentração de fosfocreatina (PCr), redução do pH, aumento de fosfato inorgânico (Pi) e íons de hidrogênio, (H^+)), além de alcançar o $\dot{V}O_{2\text{máx}}$. Em contraste, no domínio moderado ($<$ limiar de lactato, LT), o desenvolvimento da fadiga foi associado à depleção mais acentuada de glicogênio muscular e ao comprometimento da excitabilidade e transmissão neuromuscular, ou seja, um declínio da função neuromuscular. Já no domínio pesado ($>LT$, $<PC$), as causas da fadiga estão associadas a mudanças intermediárias na perturbação metabólica muscular e à depleção de glicogênio muscular [4].

Assim como nos exercícios de carga constante, durante exercícios intermitentes, em que esforços de intensidade severa são intercalados com intervalos de recuperação realizados abaixo da PC, o tempo até a falha na tarefa está associado ao atingimento de índices críticos metabólicos e cardiorrespiratórios [7, 8]. No presente estudo, os esforços realizados durante o protocolo de fadiga ocorreram no domínio de intensidade severo (105-110% da PC), enquanto os períodos de recuperação ocorreram no domínio de intensidade moderado. Com exceção do teste 3/2 fatigado, onde a intensidade variou entre $\approx 92\%$ e $\approx 100\%$ da PC, os demais testes intermitentes foram realizados com potências acima da PC, ou seja, no domínio severo e os períodos de recuperação no domínio moderado. Já foi demonstrado que, quando os intervalos de recuperação durante o exercício intermitente são realizados abaixo da PC, a tolerância ao exercício foi aumentada devido à maior reconstituição do W' e ao menor aumento no consumo

de oxigênio e na atividade eletromiográfica ao longo do tempo, sugerindo uma atenuação da fadiga muscular. O W' está relacionado ao acúmulo ou depleção de um ou mais metabólitos ou substratos, que contribuem para o processo de fadiga muscular até que alguma concentração “crítica” seja atingida, além da qual o exercício não pode mais ser tolerado [8].

Girard et al. [10] demonstraram que no início do exercício (primeiros sprints), a maior parte da energia vem do sistema anaeróbio, com a fosfocreatina contribuindo com 46% e a glicólise com 40%. O metabolismo aeróbio tem uma contribuição limitada (8%), evidenciando que, no início, o corpo depende principalmente dos sistemas anaeróbios para fornecer ATP rapidamente. No último sprint, a fosfocreatina ainda é a principal fonte de energia (49%), mas o sistema aeróbio passa a contribuir com 40%. Isso reflete como o sistema aeróbio assume um papel mais importante à medida que os sprints se repetem, tanto para fornecer energia durante os sprints subsequentes quanto na recuperação entre os esforços. Embora a contribuição percentual da fosfocreatina aumente, seus níveis absolutos diminuem, o que pode explicar a incapacidade de sustentar a potência nos últimos sprints. De forma geral, a fadiga durante exercícios de sprints repetidos é resultado de uma complexa interação de fatores fisiológicos que afetam os sistemas energético, neuromuscular e metabólico [10].

Em síntese, a durabilidade influencia o desempenho no XCO-MTB, pois determina a capacidade do atleta de atenuar o declínio de potência durante esforços repetidos e prolongados. Uma maior durabilidade implica uma gestão mais eficiente dos recursos energéticos e preservação das respostas neuromusculares, permitindo a manutenção de um desempenho elevado mesmo sob intenso estresse metabólico. Essa capacidade de manter a potência é determinante para o sucesso em competições, onde há alternância entre esforços intensos e períodos de recuperação.

Limitações

Este estudo apresentou algumas limitações: 1) Tamanho da amostra menor que o determinado pelo pacote estatístico G*Power ($n = 27$). No entanto, conduzir diversas avaliações com um grande número de atletas é desafiador, devido às particularidades das programações de treinamento individuais e a conflitos de agenda. 2) A falta de controle sobre variáveis potencialmente confundidoras, como a motivação dos atletas. No entanto, foi solicitado que eles seguissem rigorosamente as recomendações de intensidade em cada teste. Por exemplo, se a orientação fosse produzir a maior potência possível, isso deveria ser cumprido. 3) Além disso, todos os atletas estavam cientes da importância da calibração (*‘zero-offset’*) e foram instruídos a realizá-la antes de cada teste, mas esse procedimento não foi controlado. 4) Foram incluídos

apenas atletas do sexo masculino, o que ressalta a necessidade de investigar estas mudanças e sua relação com o desempenho também em atletas do sexo feminino. Portanto, os resultados não podem ser generalizados para atletas femininas de XCO-MTB. 5) Em adição, não é possível determinar se os resultados observados neste estudo podem ser diretamente aplicados a atletas de elite ou a situações que envolvem a ingestão de carboidratos durante o exercício.

Aplicação prática

Este estudo demonstrou que testes realizados sob fadiga podem fornecer uma explicação mais precisa do desempenho no XCO-MTB. Nossos resultados sugerem que treinadores e atletas devem incluir a capacidade de realizar sprints repetidos de alta intensidade, com intervalos curtos de recuperação sob fadiga (como no teste intermitente 10/20 fatigado), ao planejar programas de treinamento. Este foi o componente-chave identificado pelo modelo de regressão para o desempenho no contrarrelógio individual de XCO-MTB. Além disso, a massa corporal reafirmou sua importância para o desempenho, uma vez que as maiores correlações foram observadas quando a potência foi ajustada em relação à massa corporal.

O teste intermitente 10/20 proposto pode ser facilmente incorporado às rotinas de treinamento dos atletas, cumprindo dois propósitos simultâneos: avaliar o progresso do desempenho, obtendo informações sobre o nível de durabilidade, e realizar treinamento intervalado de alta intensidade em uma única sessão. Desta forma, o atleta não percebe que está sendo testado, pois o teste é integrado como parte de um treino específico, garantindo que ele não “perca” um dia de treinamento. Além disto, demonstramos que a durabilidade é um fator importante no XCO-MTB. Após realizar o mesmo protocolo de fadiga, mountain bikers de alto desempenho apresentam um menor declínio na potência comparado aos atletas de baixo desempenho. Estas descobertas destacam a importância de considerar a durabilidade no perfil fisiológico dos atletas de XCO-MTB, como uma adição útil à bateria tradicional de testes fisiológicos relacionados ao desempenho nesta modalidade esportiva.

CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que testes intermitentes realizados em condição de fadiga podem ser considerados preditores relevantes do desempenho no contrarrelógio individual de XCO-MTB. Especificamente, o teste intermitente 10/20 $W \cdot kg^{-1}$ fatigado, foi o melhor preditor, explicando 89% da variabilidade no desempenho de XCO-MTB com o erro padrão da estimativa de ≈ 153 s. Neste contexto, os resultados sugerem que a capacidade de realizar sprints repetidos sob fadiga pode ser um indicador eficaz de desempenho para mountain bikers. Estas

informações avançam a compreensão sobre os determinantes do desempenho no XCO-MTB e podem auxiliar treinadores a priorizar aspectos específicos do treinamento, monitorar o desempenho e otimizar o processo de seleção de talentos. Além disso, o protocolo de fadiga (ou seja, a fadiga acumulada) reduziu significativamente a potência durante os testes intermitentes. A resistência superior à fadiga (durabilidade) em testes intermitentes é um fator distintivo entre os mountain bikers de alto desempenho e aqueles com desempenho inferior. A capacidade de manter a potência mesmo em condições de fadiga se revela como um parâmetro importante para o sucesso nessa modalidade esportiva. As diferenças observadas entre os atletas de alto e baixo desempenho indicam que os mountain bikers com desempenho inferior devem focar no aprimoramento da durabilidade.

REFERÊNCIAS

1. ALLEN, H.; COGGAN, A. **Training and racing with a power meter**. 2 ed. Boulder, CO: VeloPress, 2010.
2. BARRANCO-GIL, D.; ALEJO, L. B.; REVUELTA, C.; DE PAZ, S. *et al.* Intensity Matters: Effect of Different Work-Matched Efforts on Subsequent Performance in Cyclists. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 19, n. 10, p. 1006-1011, Jul 27 2024.
3. BEJDER, J.; BONNE, T. C.; NYBERG, M.; SJOBERG, K. A. *et al.* Physiological determinants of elite mountain bike cross-country Olympic performance. **Journal of Sports Sciences**, 37, n. 10, p. 1154-1161, May 2019.
4. BLACK, M. I.; JONES, A. M.; BLACKWELL, J. R.; BAILEY, S. J. *et al.* Muscle metabolic and neuromuscular determinants of fatigue during cycling in different exercise intensity domains. **Journal of Applied Physiology**, 122, n. 3, p. 446-459, Mar 1 2017.
5. BORG, E.; KAIJSER, L. A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, 16, n. 1, p. 57-69, Feb 2006.
6. BUCHHEIT, M.; LAURSEN, P. B. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. **Sports Medicine**, 43, n. 5, p. 313-338, May 2013.
7. BURNLEY, M.; JONES, A. M. Power-duration relationship: Physiology, fatigue, and the limits of human performance. **European Journal of Sport Science**, 18, n. 1, p. 1-12, Feb 2018.
8. CHIDNOK, W.; DIMENNA, F. J.; BAILEY, S. J.; VANHATALO, A. *et al.* Exercise tolerance in intermittent cycling: application of the critical power concept. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 44, n. 5, p. 966-976, May 2012.

9. GALLO, G.; MATEO-MARCH, M.; LEO, P.; CAMPOS-DONAIRE, A. *et al.* Power Road-Derived Physical Performance Parameters in Junior, Under-23, and Professional Road Cycling Climbers. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 17, n. 7, p. 1094-1102, Jul 1 2022.
10. GIRARD, O.; MENDEZ-VILLANUEVA, A.; BISHOP, D. Repeated-sprint ability - part I: factors contributing to fatigue. **Sports Medicine**, 41, n. 8, p. 673-694, Aug 1 2011.
11. GRANIER, C.; ABBISS, C. R.; AUBRY, A.; VAUCHEZ, Y. *et al.* Power Output and Pacing During International Cross-Country Mountain Bike Cycling. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 13, n. 9, p. 1243-1249, Oct 1 2018.
12. GREGORY, J.; JOHNS, D. P.; WALLS, J. T. Relative vs. absolute physiological measures as predictors of mountain bike cross-country race performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, 21, n. 1, p. 17-22, Feb 2007.
13. HAMILTON, K.; KILDING, A. E.; PLEWS, D. J.; MILDENHALL, M. J. *et al.* Durability of the moderate-to-heavy-intensity transition is related to the effects of prolonged exercise on severe-intensity performance. **European Journal of Applied Physiology**, 124, n. 8, p. 2427-2438, Aug 2024.
14. HAYS, A.; DEVYS, S.; BERTIN, D.; MARQUET, L. A. *et al.* Understanding the Physiological Requirements of the Mountain Bike Cross-Country Olympic Race Format. **Frontiers in Physiology**, 9, p. 1062, 2018.
15. HAYS, A.; NICOL, C.; BERTIN, D.; HARDOUIN, R. *et al.* Physiological and Mechanical Indices Serving the New Cross-Country Olympic Mountain Bike Performance. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 16, n. 7, p. 1008-1013, Jul 1 2021.
16. HILL, D. W. The critical power concept. A review. **Sports Medicine**, 16, n. 4, p. 237-254, Oct 1993.
17. HOPKINS, W. G.; MARSHALL, S. W.; BATTERHAM, A. M.; HANIN, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 41, n. 1, p. 3-13, Jan 2009.
18. IMPELLIZZERI, F.; SASSI, A.; RODRIGUEZ-ALONSO, M.; MOGNONI, P. *et al.* Exercise intensity during off-road cycling competitions. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 34, n. 11, p. 1808-1813, Nov 2002.
19. IMPELLIZZERI, F. M.; MARCORA, S. M. The physiology of mountain biking. **Sports Medicine**, 37, n. 1, p. 59-71, 2007.
20. IMPELLIZZERI, F. M.; MARCORA, S. M.; RAMPININI, E.; MOGNONI, P. *et al.* Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. **British Journal of Sports Medicine**, 39, n. 10, p. 747-751, Oct 2005.

21. IMPELLIZZERI, F. M.; RAMPININI, E.; SASSI, A.; MOGNONI, P. *et al.* Physiological correlates to off-road cycling performance. **Journal of Sports Sciences**, 23, n. 1, p. 41-47, Jan 2005.
22. INOUE, A.; LATTARI, E.; DO CARMO, E. C.; RODRIGUES, G. M. *et al.* Correlation between economy/efficiency and mountain biking cross-country race performance. **European Journal of Sport Science**, 22, n. 11, p. 1641-1648, Nov 2022.
23. INOUE, A.; SA FILHO, A. S.; MELLO, F. C.; SANTOS, T. M. Relationship between anaerobic cycling tests and mountain bike cross-country performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, 26, n. 6, p. 1589-1593, Jun 2012.
24. JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. **British Journal of Nutrition**, 40, n. 3, p. 497-504, Nov 1978.
25. JONES, A. M. The fourth dimension: physiological resilience as an independent determinant of endurance exercise performance. **Journal of Physiology**, 602, n. 17, p. 4113-4128, Sep 2024.
26. JONES, A. M.; VANHATALO, A. The 'Critical Power' Concept: Applications to Sports Performance with a Focus on Intermittent High-Intensity Exercise. **Sports Medicine**, 47, n. Suppl 1, p. 65-78, Mar 2017.
27. JOYNER, M. J.; COYLE, E. F. Endurance exercise performance: the physiology of champions. **Journal of Physiology**, 586, n. 1, p. 35-44, Jan 1 2008.
28. KARSTEN, B.; JOBSON, S. A.; HOPKER, J.; STEVENS, L. *et al.* Validity and reliability of critical power field testing. **European Journal of Applied Physiology**, 115, n. 1, p. 197-204, Jan 2015.
29. LAKENS, D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. **Frontiers in Psychology**, 4, p. 863, Nov 26 2013.
30. LEE, H.; MARTIN, D. T.; ANSON, J. M.; GRUNDY, D. *et al.* Physiological characteristics of successful mountain bikers and professional road cyclists. **Journal of Sports Sciences**, 20, n. 12, p. 1001-1008, Dec 2002.
31. LEO, P.; SPRAGG, J.; MUJIKA, I. Power Profiling in Professional Road Cycling – the past, the present and the future. **Journal of Science and Cycling**, 10, n. 1, p. 1-3, 2021.
32. MACDERMID, P. W.; STANNARD, S. Mechanical work and physiological responses to simulated cross country mountain bike racing. **Journal of Sports Sciences**, 30, n. 14, p. 1491-1501, 2012.
33. MATEO-MARCH, M.; LEO, P.; MURIEL, X.; JAVALOYES, A. *et al.* Is all work the same? Performance after accumulated work of differing intensities in male professional cyclists. **Journal of Science and Medicine in Sport**, 27, n. 6, p. 430-434, Jun 2024.

34. MATEO-MARCH, M.; VALENZUELA, P. L.; MURIEL, X.; GANDIA-SORIANO, A. *et al.* The Record Power Profile of Male Professional Cyclists: Fatigue Matters. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 17, n. 6, p. 926-931, Jun 1 2022.
35. MAUNDER, E.; SEILER, S.; MILDENHALL, M. J.; KILDING, A. E. *et al.* The Importance of 'Durability' in the Physiological Profiling of Endurance Athletes. **Sports Medicine**, 51, n. 8, p. 1619-1628, Aug 2021.
36. MCKAY, A. K. A.; STELLINGWERFF, T.; SMITH, E. S.; MARTIN, D. T. *et al.* Defining Training and Performance Caliber: A Participant Classification Framework. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 17, n. 2, p. 317-331, Feb 1 2022.
37. MICKLEWRIGHT, D.; ST CLAIR GIBSON, A.; GLADWELL, V.; AL SALMAN, A. Development and Validity of the Rating-of-Fatigue Scale. **Sports Medicine**, 47, n. 11, p. 2375-2393, Nov 2017.
38. MILLER, M. C.; MOIR, G. L.; STANNARD, S. R. Validity of using functional threshold power and intermittent power to predict cross-country mountain bike race outcome. **Journal of Science and Cycling**, 3, n. 1, p. 16-20, 2014.
39. MURIEL, X.; MATEO-MARCH, M.; VALENZUELA, P. L.; ZABALA, M. *et al.* Durability and repeatability of professional cyclists during a Grand Tour. **European Journal of Sport Science**, 22, n. 12, p. 1797-1804, Dec 2022.
40. NAESS, S.; SOLLIE, O.; GLOERSEN, O. N.; LOSNEGARD, T. Exercise Intensity and Pacing Pattern During a Cross-Country Olympic Mountain Bike Race. **Frontiers in Physiology**, 12, p. 702415, 2021.
41. NOORDHOF, D. A.; OFSTENG, S. J.; NIRENBERG, L.; HAMMARSTROM, D. *et al.* Performance-Determining Variables in Long-Distance Events: Should They Be Determined From a Rested State or After Prolonged Submaximal Exercise? **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 16, n. 5, p. 647-654, May 1 2021.
42. NORMAN, G. Likert scales, levels of measurement and the "laws" of statistics. **Advances in Health Sciences Education. Theory and Practice**, 15, n. 5, p. 625-632, Dec 2010.
43. NOVAK, A. R.; BENNETT, K. J. M.; FRANSEN, J.; DASCOMBE, B. J. A multidimensional approach to performance prediction in Olympic distance cross-country mountain bikers. **Journal of Sports Sciences**, 36, n. 1, p. 71-78, Jan 2018.
44. PASSFIELD, L.; HOPKER, J. G.; JOBSON, S.; FRIEL, D. *et al.* Knowledge is power: Issues of measuring training and performance in cycling. **Journal of Sports Sciences**, 35, n. 14, p. 1426-1434, Jul 2017.

45. PEREZ-LANDALUCE, J.; FERNANDEZ-GARCIA, B.; RODRIGUEZ-ALONSO, M.; GARCIA-HERRERO, F. *et al.* Physiological differences and rating of perceived exertion (RPE) in professional, amateur and young cyclists. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, 42, n. 4, p. 389-395, Dec 2002.
46. PRINS, L.; TERBLANCHE, E.; MYBURGH, K. H. Field and laboratory correlates of performance in competitive cross-country mountain bikers. **Journal of Sports Sciences**, 25, n. 8, p. 927-935, Jun 2007.
47. PRINZ, B.; SIMON, D.; TSCHAN, H.; NIMMERICHTER, A. Aerobic and Anaerobic Power Distribution During Cross-Country Mountain Bike Racing. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 16, n. 11, p. 1610-1615, Nov 1 2021.
48. RONNESTAD, B. R.; HANSEN, J.; NYGAARD, H.; LUNDBY, C. Superior performance improvements in elite cyclists following short-interval vs effort-matched long-interval training. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, 30, n. 5, p. 849-857, May 2020.
49. RONNESTAD, B. R.; HANSEN, J.; VEGGE, G.; MUJIKKA, I. Short-term performance peaking in an elite cross-country mountain biker. **Journal of Sports Sciences**, 35, n. 14, p. 1392-1395, Jul 2017.
50. SKIBA, P. F.; CHIDNOK, W.; VANHATALO, A.; JONES, A. M. Modeling the expenditure and reconstitution of work capacity above critical power. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 44, n. 8, p. 1526-1532, Aug 2012.
51. SPRAGG, J.; LEO, P.; SWART, J. The Relationship between Physiological Characteristics and Durability in Male Professional Cyclists. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 55, n. 1, p. 133-140, Jan 1 2023.
52. VALENZUELA, P. L.; ALEJO, L. B.; OZCOIDI, L. M.; LUCIA, A. *et al.* Durability in Professional Cyclists: A Field Study. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, 18, n. 1, p. 99-103, Jan 1 2023.
53. VAN ERP, T.; SANDERS, D.; LAMBERTS, R. P. Maintaining Power Output with Accumulating Levels of Work Done Is a Key Determinant for Success in Professional Cycling. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, 53, n. 9, p. 1903-1910, Sep 1 2021.
54. VIGH-LARSEN, J. F.; KRUSE, D. Z.; MOSEHOLT, M. B.; HANSEN, L. G. B. *et al.* No Effects of Carbohydrate Ingestion on Muscle Metabolism or Performance During Short-Duration High-Intensity Intermittent Exercise. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, 34, n. 9, p. e14731, Sep 2024.

CONCLUSÃO DA TESE

Esta tese apresenta evidências de que os testes utilizados possuem excelente repetibilidade teste-reteste, especialmente os testes intermitentes e os esforços de longa duração (> 1 min), com erros típicos de medida (TEM%) variando entre 2-3%. Esses achados permitem detectar mudanças reais no desempenho, reforçando a aplicabilidade prática desses testes no monitoramento do treinamento para atletas dessa modalidade esportiva. A fadiga acumulada reduziu significativamente a potência em todos os testes avaliados, tanto no perfil de potência quanto nos testes intermitentes. Adicionalmente, a durabilidade, ou seja, a capacidade de sustentar valores elevados de potência mesmo sob fadiga revelou-se um parâmetro importante para diferenciar atletas com diferentes níveis de desempenho. Mountain bikers de maior desempenho apresentaram menor redução percentual na potência em condições de fadiga, destacando a importância de desenvolver a durabilidade para otimizar o desempenho no XCO-MTB. Além disso, testes intermitentes realizados na condição fatigado apresentaram maior capacidade preditiva para o desempenho no XCO-MTB em comparação à condição “descansado”. Entre os testes intermitente avaliados, o 10/20 W·kg⁻¹ fatigado destacou-se ao explicar 89% da variabilidade do desempenho no XCO-MTB, revelando-se como um preditor relevante para a avaliação da performance nesta modalidade esportiva. Esses achados reforçam a importância de avaliar o desempenho em condições que simulem a realidade das competições, isto é, sob fadiga. Coletivamente, os resultados desta tese avançam a compreensão sobre os determinantes do desempenho no XCO-MTB e fornecem insights que podem auxiliar treinadores e atletas na elaboração de estratégias de treinamento mais eficazes, identificar talentos e monitorar a evolução atlética.

ANEXO A - Termo de consentimento livre e esclarecido.



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE
JANEIRO**
HOSPITAL UNIVERSITÁRIO PEDRO ERNESTO



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – MAIORES DE IDADE

Você está sendo convidado (a) a participar como voluntário (a) da pesquisa denominada “Predição do Desempenho no Mountain Biking Cross-Country Olímpico Através de Testes de Campo em Estado Descansado e em Fadiga”, realizada no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Exercício e do Esporte da Universidade do Estado do Rio de Janeiro e que diz respeito a uma tese de doutorado.

1. OBJETIVO: Os objetivos do estudo são: a) verificar se o perfil de potência, testes intermitentes e limiar de potência funcional, estão relacionados com o desempenho no mountain bike nas condições descansado e cansado, b) desenvolver um modelo matemático para prever o desempenho no mountain bike utilizando resultados de testes de campo nas condições descansado e cansado e c) comparar o nível de desempenho e estado de cansaço em atletas de mountain bike.

2. PROCEDIMENTOS: a sua participação consistirá em: esclarecimento geral sobre os procedimentos do estudo, assinatura do termo de consentimento, avaliação do seu peso, altura e percentual de gordura do corpo. Além disso, você deverá realizar os seguintes testes: teste de perfil de potência (aproximadamente 50 min de duração), testes intermitentes (aproximadamente 50 min de duração) e teste para determinar seu limiar de potência funcional (aproximadamente 60 min de duração). Esses testes serão realizados em duas condições: 1) descansado e 2) cansado. Na condição descansado, você não realizará nenhum treinamento por pelo menos 24 horas antes dos testes. Na condição cansado, você realizará os testes imediatamente após uma sessão de treinamento com duração de 60 min. Os testes serão realizados em ordem aleatória. Além disso, será realizado um teste individual em uma pista de mountain bike onde o participante deverá percorrer a distância no menor tempo possível e nesse teste, você usará um monitor de frequência cardíaca para registrar o comportamento da mesma. Todos os testes serão realizados por pessoal qualificado. Você deverá evitar bebidas alcoólicas e qualquer medicação por pelo menos 24 horas antes dos testes. Você também deverá evitar alimentos sólidos no mínimo três horas antes da realização dos testes e beber somente água.

3. POTENCIAIS RISCOS E BENEFÍCIOS: Toda pesquisa oferece algum tipo de risco. Nesta pesquisa, o risco pode ser avaliado como mínimo, isto é, o participante pode apresentar fadiga muscular, tonturas, sudorese, dores locais, falta de ar, desmaios, dores no peito, alteração da pressão arterial e da frequência cardíaca. Tais sensações comuns ao exercício físico devem ser raras, já que os participantes serão ciclistas habituados à prática esportiva. Objetivando minimizar esses riscos, o participante tem a possibilidade de interromper os procedimentos em qualquer momento da pesquisa. Além disso, será feito um adequado aquecimento e desaquecimento, antes e após os testes. Em caso de eventualidades citadas, os avaliadores são capacitados e treinados pelo curso de suporte básico de vida (SBV), Lei 7696/2017, para realizar os primeiros atendimentos e serão encaminhados para atendimento médico

especializado. Por outro lado, são esperados os seguintes benefícios da participação na pesquisa: contribuição para um maior conhecimento das demandas fisiológicas da modalidade. Criação de estratégias de treinamento mais seguras e eficientes. Além disso, o participante será contemplado com os resultados obtidos possibilitando ajustes no programa de exercícios que poderão ser realizados de forma individualizada.

4. GARANTIA DE SIGILO: os dados da pesquisa serão publicados/divulgados em livros e revistas científicas. Asseguramos que a sua privacidade será respeitada e o seu nome ou qualquer informação que possa, de alguma forma, o (a) identificar, será mantida em sigilo. O pesquisador responsável se compromete a manter os dados da pesquisa em arquivo, sob sua guarda e responsabilidade, por um período mínimo de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa.

5. LIBERDADE DE RECUSA: a sua participação neste estudo é voluntária e não é obrigatória. Você poderá se recusar a participar do estudo ou retirar seu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar. Se desejar sair da pesquisa você não sofrerá qualquer prejuízo.

6. CUSTOS, REMUNERAÇÃO E INDENIZAÇÃO: a participação neste estudo não terá custos adicionais para você. Também não haverá qualquer tipo de pagamento devido a sua participação no estudo. Fica garantida indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, nos termos da Lei.

7. ESCLARECIMENTOS ADICIONAIS, CRÍTICAS, SUGESTÕES E RECLAMAÇÕES: você receberá uma via deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e a outra ficará com o pesquisador. Caso você concorde em participar, as páginas serão rubricadas e a última página será assinada por você e pelo pesquisador. O pesquisador garante a você livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo e suas consequências. Você poderá ter acesso ao pesquisador Allan Inoue Rodrigues pelo telefone (22) 99889-1239 ou pelo e-mail: allan_inoue@hotmail.com. Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, poderá entrar em contato com o CEP - COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA, AV. VINTE E OITO DE SETEMBRO, nº77 - CePeM - Centro de Pesquisa Clínica Multiusuário - 2º andar/sala 28, prédio anexo ao Hospital Universitário Pedro Ernesto, Telefone: 21 2868-8253 - E-mail.: cep@hupe.uerj.br. Atendimento ao público de segunda-feira a sexta-feira das 13:00-16:00h.

CONSENTIMENTO

Eu, _____ li e concordo em participar da pesquisa.

Assinatura do(a) participante	Data: ___/___/___
-------------------------------	-------------------

Eu, Allan Inoue Rodrigues obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido do(a) participante da pesquisa.

Assinatura do(a) pesquisador(a)	Data: ___/___/___
---------------------------------	-------------------

ANEXO B - Parecer consubstanciado do CEP.



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Predição do Desempenho no Mountain Biking Cross-Country Olímpico Através de Testes de Campo em Estado Descansado e em Fadiga

Pesquisador: Allan Inoue Rodrigues

Área Temática:

Versão: 1

CAAE: 62654222.9.0000.5259

Instituição Proponente: Hospital Universitário Pedro Ernesto/UERJ

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.774.538

Apresentação do Projeto:

Transcrição editada do conteúdo registrado do protocolo "Nome do Arquivo: PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1994630" e dos arquivos anexados à Plataforma Brasil.

Fundamentação: Testes de desempenho são importantes componentes que fazem parte da avaliação de ciclistas. Não foram encontrados testes de campo intermitentes em estado descansado e fadigado que explorem a relação com o desempenho no mountain bike cross-country olímpico (XCO).

Objetivo: a) verificar se o perfil de potência, testes intermitentes e limiar de potência funcional, estão relacionados com o desempenho no XCO

(contra-relógio individual) nas condições "descansado" e fadigado, b) desenvolver um modelo de predição do desempenho no XCO utilizando

resultados de testes de campo nas condições "descansado" e fadigado e c) avaliar a capacidade desses testes na condição "descansado" e

fadigado para discriminar ciclistas com diferentes níveis de desempenho. Métodos: Vinte e seis atletas de XCO serão recrutados e serão testados

em duas condições com pelo menos 72 horas de intervalo entre elas: 1) "descansado" e 2) em fadiga. Para as duas condições, os participantes

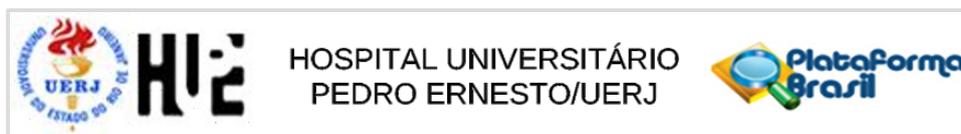
realizarão o teste de perfil de potência, limiar de potência funcional, e os testes intermitentes (10/20, 30/15 e 3/2) em campo. Os testes serão

Endereço: Av. 28 de setembro, nº77 - CePeM - Centro de Pesquisa Clínica Multiusuário - 2º andar/sala nº 28 - prédio

Bairro: Vila Isabel **CEP:** 20.551-030

UF: RJ **Município:** RIO DE JANEIRO

Telefone: (21)2868-8253 **E-mail:** cep@hupe.uerj.br



Continuação do Parecer: 5.774.538

realizados em ordem aleatória. Além disso, será realizado um contra-relógio individual em uma pista de XCO. Será dado um intervalo de recuperação de pelo menos 24 horas entre cada teste e de 7-10 dias entre o último teste e o contra-relógio individual. Todos os testes de campo serão realizados na própria bicicleta de mountain bike dos participantes com rodas de 29 polegadas. Antes dos testes, os atletas serão familiarizados com os diferentes protocolos de teste. Para o contra-relógio individual, os participantes utilizarão suas próprias bicicletas de mountain bike. Os atletas serão divididos em dois grupos (alto e baixo desempenho) de acordo com o tempo médio do contra-relógio individual. Todos os dados serão testados quanto à normalidade usando o teste de Shapiro-Wilk em combinação com a inspeção visual dos dados. Serão realizadas as seguintes análises: correlação produto momento de Pearson, regressão linear múltipla e ANOVA fatorial 2 x 2. As análises serão realizadas usando o GraphPad Prism 8 a um nível de significância P 0,05. Relevância do estudo: As informações contidas no presente estudo poderão ser utilizadas para a criação de estratégias de treinamento mais seguras e eficientes.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Os objetivos do presente estudo serão: a) verificar se o perfil de potência, testes intermitentes e FTP, estão relacionados com o desempenho no XCO (contra-relógio individual) nas condições "descansado" e fadigado, b) desenvolver um modelo de predição do desempenho no XCO utilizando resultados de testes de campo nas condições "descansado" e fadigado.

Objetivo Secundário:

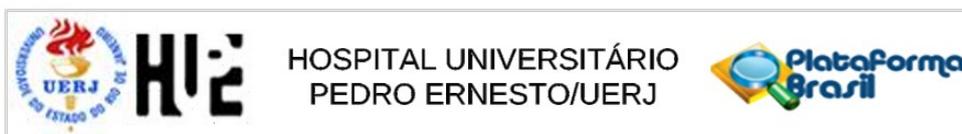
c) avaliar a capacidade desses testes na condição "descansado" e fadigado para discriminar ciclistas com diferentes níveis de desempenho.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Critério de Inclusão:

Serão incluídos atletas com frequência de treinamento 3 vezes por semana, duração de treinamento 5 horas semanais e experiência em

Endereço: Av. 28 de setembro, nº77 - CePeM - Centro de Pesquisa Clínica Multiusuário - 2º andar/sala nº 28 - prédio
Bairro: Vila Isabel **CEP:** 20.551-030
UF: RJ **Município:** RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)2868-8253 **E-mail:** cep@hupe.uerj.br



Continuação do Parecer: 5.774.538

competições de XCO 1 ano.

Critério de Exclusão:

Dados de atletas que apresentarem problemas mecânicos durante o contra-relógio individual, ou queixas graves de saúde antes ou durante as avaliações serão excluídos.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa está bem estruturada e o referencial teórico e metodológico estão explicitados, demonstrando aprofundamento e conhecimento necessários para sua realização. As referências estão adequadas e a pesquisa é exequível. Foram avaliadas as informações contidas na Plataforma Brasil e as mesmas se encontram dentro das normas vigentes e sem riscos iminentes aos participantes envolvidos na pesquisa.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Foram analisados os seguintes documentos de apresentação obrigatória:

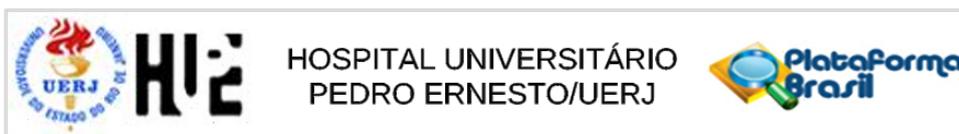
- 1) Folha de Rosto para pesquisa envolvendo seres humanos: Documento devidamente preenchido, datado e assinado
- 2) Projeto de Pesquisa: Adequado
- 3) Orçamento financeiro e fontes de financiamento: adequado/apresentado
- 4) Termo de Consentimento Livre e Esclarecido: Adequado
- 5) Cronograma: Adequado
- 6) Documentos pertinentes à inclusão do HUPE: Adequado
- 7) Currículo do pesquisador principal e demais colaboradores: anexados e conforme as normas.

Os documentos de apresentação obrigatória foram enviados a este Comitê, estando dentro das boas práticas e apresentando todos dados necessários para apreciação ética e tendo sido avaliadas as informações contidas na Plataforma Brasil e as mesmas se encontram dentro das normas vigentes e sem riscos iminentes aos participantes envolvidos na pesquisa.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O projeto pode ser realizado da forma como está apresentado. Após análise do protocolo foi verificado o atendimento à legislação vigente e o protocolo encontra-se apto para início. Diante do exposto e à luz da Resolução CNS nº466/2012, o projeto pode ser enquadrado na categoria – APROVADO.

Endereço: Av. 28 de setembro, nº77 - CePeM - Centro de Pesquisa Clínica Multiusuário - 2º andar/sala nº 28 - prédio
Bairro: Vila Isabel **CEP:** 20.551-030
UF: RJ **Município:** RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)2868-8253 **E-mail:** cep@hupe.uerj.br



Continuação do Parecer: 5.774.538

Considerações Finais a critério do CEP:

Em consonância com a resolução CNS 466/12 e a Norma Operacional CNS 001/13, o CEP recomenda ao O projeto pode ser realizado da forma como está apresentado. Pesquisador: Comunicar toda e qualquer alteração do projeto e no termo de consentimento livre e esclarecido, para análise das mudanças; Informar imediatamente qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento da pesquisa; O Comitê de Ética solicita a V. S^a., que encaminhe relatórios parciais de andamento a cada 06 (seis) Meses da pesquisa e ao término, encaminhe a esta comissão um sumário dos resultados do projeto; Os dados individuais de todas as etapas da pesquisa devem ser mantidos em local seguro por 5 anos para possível auditoria dos órgãos competentes.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1994630.pdf	05/08/2022 11:32:09		Aceito
Outros	Instrumentos_de_coleta_de_dados.pdf	05/08/2022 11:28:26	Allan Inoue Rodrigues	Aceito
Outros	Declaracao_de_isencao_de_custos.pdf	05/08/2022 11:27:28	Allan Inoue Rodrigues	Aceito
Outros	Declaracao_de_Ciencia.pdf	05/08/2022 11:25:48	Allan Inoue Rodrigues	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	05/08/2022 11:24:09	Allan Inoue Rodrigues	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_detalhado.doc	05/08/2022 11:23:11	Allan Inoue Rodrigues	Aceito
Folha de Rosto	Folha_de_rosto.pdf	05/08/2022 11:18:48	Allan Inoue Rodrigues	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: Av. 28 de setembro, nº77 - CePeM - Centro de Pesquisa Clínica Multiusuário - 2º andar/sala nº 28 - prédio
Bairro: Vila Isabel **CEP:** 20.551-030
UF: RJ **Município:** RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)2868-8253 **E-mail:** cep@hupe.uerj.br



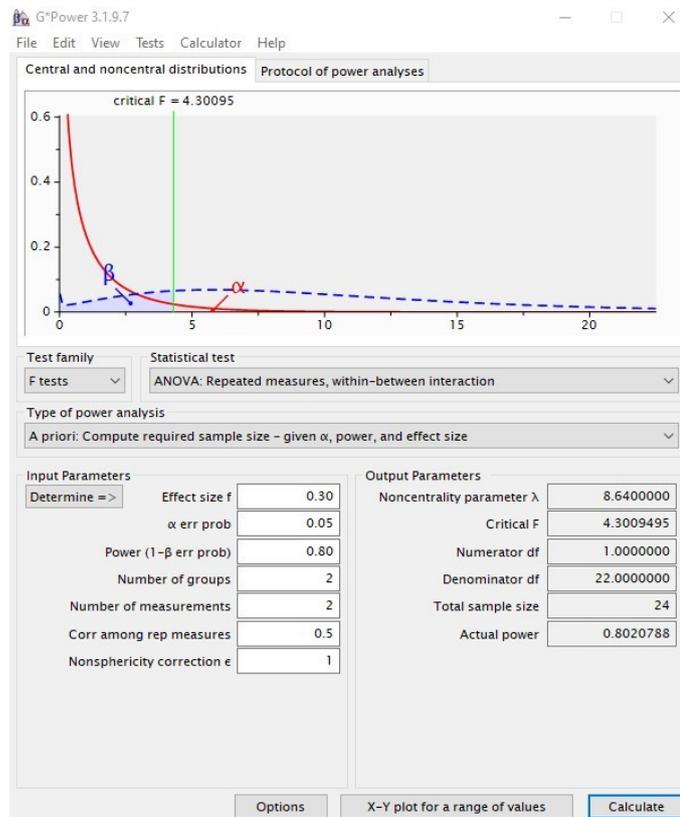
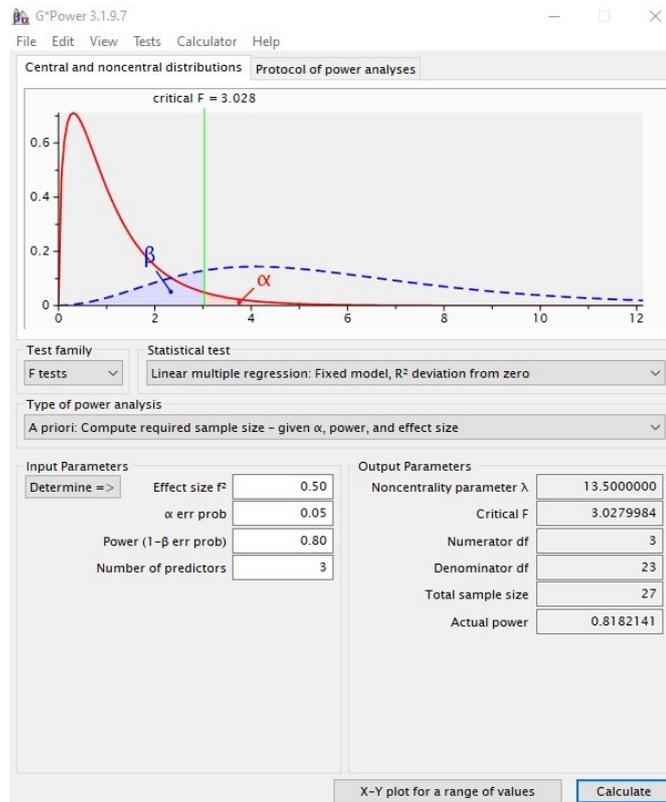
Continuação do Parecer: 5.774.538

RIO DE JANEIRO, 23 de Novembro de 2022

Assinado por:
MARIO FRITSCH TOROS NEVES
(Coordenador(a))

Endereço: Av. 28 de setembro, nº77 - CePeM - Centro de Pesquisa Clínica Multiusuário - 2º andar/sala nº 28 - prédio
Bairro: Vila Isabel **CEP:** 20.551-030
UF: RJ **Município:** RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)2868-8253 **E-mail:** cep@hupe.uerj.br

ANEXO C - Cálculo do tamanho da amostra.



ANEXO D - Instrumentos de coleta de dados.

Modelo de bicicleta de mountain bike com rodas de 29 polegadas.



Potenciômetro SIGEYI AXO: Precisão: $\pm 1.0\%$, transmissão de dados: ANT+, faixa de potência: 0-2000 W, faixa de cadência: 30-220 rpm, classificação de resistência à água: IP67, faixa de temperatura: $-20^{\circ}\text{C} \approx 50^{\circ}\text{C}$, vida útil da bateria: 300 horas.



Termômetro/Higrômetro Sper: Escala de -10°C a $+50^{\circ}\text{C}$ ($^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$), resolução de 1°C ; Umidade relativa do ar, escala de 20% a 99%, resolução de 1%.



Balança 110 CH Welmy: Capacidade: 150 kg, carga mínima: 2 kg, divisão: 100 g.



Adipômetro científico CESCORF: Sensibilidade: 0,1 mm, amplitude de leitura: 75 mm, pressão: $\pm 10 \text{ g}/\text{mm}^2$.



GPS Garmin Edge 520/530.

Escala de Percepção Subjetiva de Esforço

Sensação consciente de quão difícil, pesado e extenuante é o exercício.

- 6 Sem nenhum esforço
- 7
- 8 Extremamente leve
- 9 Muito leve
- 10
- 11 Leve
- 12
- 13 Um pouco difícil
- 14
- 15 Difícil (pesado)
- 16
- 17 Muito difícil
- 18
- 19 Extremamente difícil
- 20 Esforço máximo

Escala de percepção subjetiva de esforço de 6-20.

Escala de Fadiga

O quão fatigado você se sente no momento?

10	Fadiga total & exaustão – Nada sobrou	
9		
8	Muito fatigado	
7		
6	Moderadamente fatigado	
5		
4		
3	Um pouco fatigado	
2		
1		
0	Nem um pouco fatigado	

Escala de percepção de fadiga de 0-10.

Escala de bem-estar nas pernas

Percepção de quão boa (forte) ou pesada (fraca) está sua perna antes da realização do teste.

- 1 Muito, muito boa
- 2 Muito boa
- 3 Boa
- 4 Um pouco boa
- 5 Normal
- 6 Um pouco pesada
- 7 Pesada
- 8 Muito pesada
- 9 Muito, muito pesada

Escala de percepção de bem-estar nas pernas de 1-9.