



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

Gelson Ribeiro da Silva

Respostas fisiológicas durante a corrida no plano e na subida: relações com os domínios
de intensidade de exercício moderado e severo

FLORIANÓPOLIS

2023

Gelson Ribeiro da Silva

Respostas fisiológicas durante a corrida no plano e na subida: relações com os domínios de intensidade de exercício moderado e severo

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Educação Física.
Orientador: Prof. Tiago Turnes, Dr.

FLORIANÓPOLIS

2023

Ficha de identificação da obra

Ribeiro da Silva, Gelson

Respostas fisiológicas durante a corrida no plano e na subida : relações com os domínios de intensidade de exercício moderado e severo / Gelson Ribeiro da Silva ; orientador, Tiago Turnes, 2023.

59 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Desportos, Programa de Pós-Graduação em Educação Física, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Educação Física. 2. Corrida de montanhas. 3. Cinética do VO₂. 4. Consumo máximo de oxigênio. 5. Atletismo. I. Turnes, Tiago . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Física. III. Título.

Gelson Ribeiro da Silva

Respostas fisiológicas durante a corrida no plano e na subida: relações com os domínios de intensidade de exercício moderado e severo

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

Prof. Tiago Turnes, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof.(a) Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof.(a) Fernando Klitzke Borszcz, Dr.

Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

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

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Tiago Turnes, Dr.

Orientador

Florianópolis, 2023.

Este trabalho é dedicado aos meus queridos pais, esposa, filho,
minha família e aqueles que torcem por mim.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus pelo dom da vida, agradeço aos meus queridos pais Celso e Zilma por todos os ensinamentos, dedicação e carinho que me deram desde que nasci, enfim agradeço a todos da minha família, que estão sempre presentes na minha vida quando preciso.

Outro agradecimento muito especial para a minha esposa Jéssica e meu filho Murilo, que nunca deixaram de me incentivar, principalmente nos momentos mais difíceis. Obrigado por sempre me apoiarem e estarem ao meu lado nas minhas decisões. Vocês dois, juntamente com o restante da minha família são os pilares da minha vida, estiveram sempre ao meu lado e nunca me deixaram faltar nada. Se hoje estou concluindo mais uma importante etapa na minha vida, isso é graças às vocês.

Quero deixar aqui um agradecimento e reconhecimento especial e sincero ao meu orientador e amigo, professor Tiago Turnes, por todo o suporte, atenção, paciência, incentivo e confiança durante todo este trajeto do mestrado. Professor, obrigado por acreditar em mim e me oportunizar a conseguir mais esta conquista.

Agradecer também a todos os amigos que fiz no LAEF, em especial ao Thiago Ventura, Fernando e Emmanuel pelo auxílio durante as coletas, para que esse trabalho pudesse ser realizado com sucesso, sem vocês isso não seria possível.

Um agradecimento a todos os corredores voluntários desta pesquisa, vocês são a parte fundamental deste estudo, pois sem voluntários não há pesquisa, sem pesquisa não há dados e sem dados não existiria esta dissertação, em especial a assessoria WR Trail, que compôs a maioria dos participantes nas coletas de dados.

Para finalizar, gostaria de agradecer ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da UFSC - PPGEF, a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina – FAPESC, por todo o amparo, financeiro e institucional, que possibilitaram a conclusão de um importante ciclo acadêmico e profissional na minha vida. Espero que este não seja o fim, mas um até breve.

RESUMO

Objetivo: Determinar e comparar as respostas cardiorrespiratórias, metabólicas e neuromusculares entre a corrida no plano e com inclinação, em dois diferentes domínios de intensidade, moderado e severo. **Métodos:** Para isso, 13 corredores de montanha (Idade: $37,5 \pm 9,0$ anos; $\dot{V}O_{2\max}$: $57,3 \pm 6,5$ ml/kg/min; homens = 9; mulheres = 4) visitaram o laboratório em quatro dias diferentes. Os participantes realizaram dois testes incrementais em esteira, até a exaustão. O primeiro teste foi realizado com inclinação de 1%, com incrementos de velocidade (1 km/h a cada 3 min). O segundo foi realizado com a velocidade fixa em 50% da velocidade aeróbia máxima (VAM) obtida no primeiro teste, e com incrementos na inclinação (2% a cada 3 min). Ainda, nos dois dias seguintes, foram realizadas oito transições do repouso para o exercício com 6 min de duração. Foram realizadas três transições no domínio moderado e uma transição no domínio severo por dia, sendo um no plano e outro dia com inclinação. A cinética do $\dot{V}O_2$, concentrações de lactato sanguíneo ([Lac]), déficit de O_2 e frequência de passada foram mensuradas. Os dados estão apresentados em média e desvio padrão. As comparações foram realizadas pelo teste t de *Student* para dados pareados. Foi adotado um nível de significância de 5% ($p < 0,05$). **Resultados:** Na comparação entre testes incrementais, o $\dot{V}O_{2\max}$ foi similar (plano: $3,87 \pm 0,8$ vs inclinado: $3,95 \pm 0,7$ L/min; $p > 0,05$), porém a frequência cardíaca máxima foi menor no teste inclinado (180 ± 10 bpm; 184 ± 13 bpm; $p = 0,03$). Nas comparações do exercício com diferentes inclinações, as [Lac] foram maiores após o exercício no teste inclinado comparado ao plano no domínio moderado ($1,24 \pm 0,54$ vs. $1,96 \pm 0,65$ mmol/L; $p < 0,01$) e severo ($5,41 \pm 1,27$ vs. $6,55 \pm 1,65$ mmol/L; $p = 0,015$). A inclinação da corrida afetou o *tau* da cinética do $\dot{V}O_2$ apenas no domínio moderado (plano: 16 ± 5 ; inclinado: 20 ± 6 s; $p = 0,041$) e aumentou o déficit de O_2 ($p = 0,011$). No severo, não houve alterações no *tau* (plano: 29 ± 11 ; inclinado: 29 ± 10 s; $p = 0,851$), na amplitude do componente lento do $\dot{V}O_2$ (plano: $0,28 \pm 0,14$; inclinado: $0,15 \pm 0,10$ L.min; $p = 0,074$) e no déficit de O_2 ($p = 0,390$). A amplitude do $\dot{V}O_2$ foi maior no exercício inclinado comparado ao plano no domínio moderado ($2,04 \pm 0,53$ vs. $2,37 \pm 0,50$ L.min; $p = 0,005$), mas não no severo ($2,91 \pm 0,74$ vs. $3,14 \pm 0,80$ L.min; $p = 0,851$). A frequência de passada foi maior durante a corrida realizada no plano em ambos os domínios de intensidade ($p < 0,01$). **Conclusão:** Em conclusão, a inclinação atrasou a cinética do $\dot{V}O_2$ durante o exercício realizado no domínio moderado, enquanto que no domínio severo a inclinação da corrida não foi um fator determinante, apesar de maiores valores de lactato sanguíneo e $\dot{V}O_2$.

Palavras-chave: Corrida de montanhas; Consumo máximo de oxigênio; Corrida com inclinação; Cinética do $\dot{V}O_2$; Atletismo.

ABSTRACT

Objective: To determine and to compare the cardiorespiratory, metabolic, and neuromuscular responses between flat and inclined run in two different intensity domains, moderate and severe. **Methods:** Thirteen mountain runners (Age: 37.5 ± 9.0 ; $\dot{V}O_{2\max}$: 57.3 ± 6.5 ml/kg/min; men = 9; women = 4) visited the laboratory in four different days. The participants performed two incremental treadmill tests until exhaustion. The first test was conducted with a 1% inclined, with speed increments (1 km/h every 3 minutes). The second test was performed at a fixed speed of 50% of the maximum aerobic speed (MAS) obtained in the first test, and with increments in inclination (2% every 3 minutes). On the following two days, eight transitions from rest to exercise were carried out with a duration of six minutes. Three transitions were performed in the moderate domain and one transition in the severe domain per day, one being on the flat and the other day on the inclination. $\dot{V}O_2$ kinetics, blood lactate concentrations ([Lac]), O_2 deficit, and step frequency were measured. The data are presented as mean and standard deviation. The comparisons were carried out by Student's t-test for paired data. It has been adopted a significance level of 5% ($p < 0.05$). **Results:** $\dot{V}O_{2\max}$ was similar between tests (flat: 3.87 ± 0.8 vs inclined: 3.95 ± 0.7 L/min; $p > 0.05$), but maximum heart rate was lower in the inclined test (180 ± 10 bpm; 184 ± 13 bpm; $p = 0.03$). In comparisons of exercise with different inclinations, blood lactate concentration ([Lac]) was higher after exercise in the inclined test compared to flat in the moderate domain (1.24 ± 0.54 vs. 1.96 ± 0.65 mmol/L; $p < 0.01$) and severe (5.41 ± 1.27 vs. 6.55 ± 1.65 mmol/L; $p = 0.015$). The incline run affected the *tau* of $\dot{V}O_2$ kinetics only in the moderate domain (flat: 16 ± 5 ; inclined: 20 ± 6 s; $p = 0.041$) and increased the O_2 deficit ($p = 0.011$). In the severe, there were no changes in *tau* (flat: 29 ± 11 ; inclined: 29 ± 10 s; $p = 0.851$), amplitude of $\dot{V}O_2$ slow component (flat: 0.28 ± 0.14 ; inclined: 0.15 ± 0.10 L/min; $p = 0.074$) and O_2 deficit ($p = 0.390$). $\dot{V}O_2$ amplitude was higher in inclined exercise compared to flat in the moderate domain (2.04 ± 0.53 vs. 2.37 ± 0.50 L/min; $p = 0.005$), but not in the severe domain (2.91 ± 0.74 vs. 3.14 ± 0.80 L/min; $p = 0.851$). The step frequency was higher during flat run in both intensity domains ($p < 0.01$). **Conclusion:** In conclusion, the inclination delayed $\dot{V}O_2$ kinetics during exercise performed only in the moderate domain, with no differences in the severe domain, despite higher values of [Lac] and $\dot{V}O_2$.

Keywords: Trail run. Maximal oxygen uptake. Inclined run. $\dot{V}O_2$ kinetics. Athletics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da Cinética do VO_2 nos domínios de intensidade do exercício Moderado, Pesado e Severo.	29
Figura 2 – Representação do procedimento dos testes em cada visita ao laboratório.	36
Figura 3 – Resposta da cinética do VO_2 do domínio moderado (A) e severo (B) nas corridas com e sem inclinação para um sujeito representativo.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das categorias das corridas de montanha em relação ao esforço/km.	22
Tabela 2 - Comparação dos índices fisiológicos máximos e submáximos entre os testes incrementais.....	40
Tabela 3 - Média e desvio padrão dos parâmetros da cinética do VO ₂ do domínio moderado nas corridas com e sem inclinação.	41
Tabela 4 - Média e desvio padrão dos parâmetros da cinética do VO ₂ do domínio severo nas corridas com e sem inclinação.	43
Tabela 5 - Média e desvio padrão das concentrações de lactato sanguíneo nos domínios moderado e severo.	44
Tabela 6 - Comparação da frequência de passadas nos domínios moderado e severo.	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

[Lac]	<i>Concentrações de lactato sanguíneo</i>
[H ⁺]	<i>Íons de Hidrogênio</i>
[Lac]pico	<i>Concentração de lactato sanguíneo pico</i>
ARV	<i>Valor retificado médio</i>
ATP	<i>Adenosina trifosfato</i>
bpm	<i>Batimentos por minuto</i>
CBAT	<i>Confederação Brasileira de Atletismo</i>
CL	<i>Componete lento do consumo de oxigênio</i>
DP	<i>Desvio padrão</i>
EMG	<i>Eletromiografia</i>
FC	<i>Frequência cardíaca</i>
FCmax	<i>Frequência cardíaca máxima</i>
FCpico	<i>Frequência cardíaca pico</i>
IAAF	<i>International Association of Athletics Federations</i>
IIRT	<i>Teste de corrida de inclinação incremental</i>
ISUP	<i>Maior intensidade em que o VO₂max é alcançado</i>
L	<i>Corrida longa</i>
LAn	<i>Limiar anaeróbio</i>
LL	<i>Limiar de lactato</i>
LL ₁	<i>Primeiro limiar de Lactato</i>
LL ₂	<i>Segundo limiar de lactato</i>
M	<i>Corrida média</i>
MFEL	<i>Máxima fase estável de lactato sanguíneo</i>
MRT	<i>Tempo médio de resposta</i>
O ₂	<i>Oxigênio</i>
OBLA	<i>Onset of blood lactate accumulation</i>
p < 0,05	<i>Nível de significância de 95%</i>
PAUM	<i>Pulso de ativação de unidades motoras</i>
PC	<i>Potência crítica</i>
PCr	<i>Fosfocreatina</i>
PSE	<i>Percepção subjetiva de esforço</i>
RMS	<i>Valor quadrático médio</i>
S	<i>Corrida curta</i>
TCLE	<i>Termo de consentimento livre e esclarecido</i>
<i>time delay</i>	<i>Tempo de atraso na cinética do VO₂</i>
TT	<i>Time Trial - teste contrarelógio</i>
u.a	<i>Unidades arbitrárias</i>
UFSC	<i>Universidade Federal de Santa Catarina</i>
UM	<i>Unidades motoras</i>
VAM	<i>Velocidade aeróbia máxima</i>
VC	<i>Velocidade crítica</i>
VO ₂	<i>Consumo de oxigênio</i>
VO ₂ médio	<i>Consumo de oxigênio médio</i>
VO ₂ base	<i>Consumo de oxigênio basal</i>
VO ₂ max	<i>Consumo máximo de oxigênio</i>
VO ₂ pico	<i>Pico do Consumo de oxigênio</i>
vVO ₂ max	<i>Velocidade associada ao consumo máximo de oxigênio</i>

XL	<i>Corrida muito longa</i>
XS	<i>Corrida muito curta</i>
XXL	<i>Corrida extremamente longa</i>
XXS	<i>Corrida extremamente curta</i>
<i>Tau (τ)</i>	<i>Constante de tempo</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	APRESENTAÇÃO DO TEMA.....	15
1.2	PROBLEMA	18
1.3	JUSTIFICATIVA	18
1.4	OBJETIVOS	19
1.4.1	Objetivo geral.....	19
1.4.2	Objetivos específicos.....	19
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	21
2.1	CORRIDAS DE MONTANHA	21
2.2	FATORES FISIOLÓGICOS E BIOMECÂNICOS DURANTE A CORRIDA NA SUBIDA.....	22
2.3	CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO - VO ₂ max	23
2.4	DOMÍNIOS DA INTENSIDADE DO EXERCÍCIO E A CINÉTICA DO VO ₂ ..	25
2.5	MARCADORES DE INTENSIDADE DO EXERCÍCIO AERÓBIO.....	30
2.6	AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS BIOMECÂNICAS ENVOLVENDO CORRIDAS COM INCLINAÇÃO	32
3	METODOLOGIA.....	34
3.1	BASE FILOSÓFICA E TIPO DE ABORDAGEM	34
3.2	PARTICIPANTES.....	35
3.3	ASPECTOS ÉTICOS	35
3.4	INSTRUMENTOS DE MEDIDA	35
3.5	DELINEAMENTO DO ESTUDO	36
3.5.1	Procedimentos	36
3.5.2	Testes Incrementais	37
3.5.3	Testes de Intensidade Constante	37
3.5.4	Frequência de Passadas.....	39
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	39
4	RESULTADOS	40

5	DISCUSSÃO	46
5.1	LIMITAÇÕES E APLICAÇÕES PRÁTICAS DO ESTUDO	51
6	CONCLUSÃO.....	53
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

A corrida ao longo dos anos se tornou um esporte muito popular, isso fez com que novas provas fossem criadas, uma delas a corrida de montanha que atualmente se tornou uma modalidade oficial e reconhecida pela Associação Internacional de Federações de Atletismo (IAAF; WA; CBAT, 2020). Esse reconhecimento fez com que a prova tivesse ainda mais visibilidade no meio esportivo e entre corredores, aumentando significativamente a quantidade de participantes nessas provas.

Devido essas corridas terem uma grande variação de mudanças no terreno (aclives e declives) durante o percurso, acarreta em diferentes demandas fisiológicas (consumo de oxigênio, razão de trocas gasosas e frequência cardíaca), metabólicas (concentração de lactato), neuromusculares (ativação muscular) e de cinemática (comprimento e frequência de passada) em comparação as corridas realizadas no plano (GARNIER et al., 2018; VERNILLO et al., 2020). A corrida em subida é representada por uma diminuição das ações musculares excêntricas e um aumento das concêntricas em relação a corrida no plano (DE LUCAS et al., 2021; GARNIER et al., 2018). Outra diferença está na relação do ritmo e tamanho da passada durante a subida, exigindo mais força muscular, o que resulta em um custo energético maior para manutenção de determinada velocidade (DE LUCAS et al., 2021; LEMIRE et al., 2018).

Assim como os demais tipos de corrida, seu desempenho depende de adaptações fisiológicas e biomecânicas, isso faz com que ocorra grande interesse em compreender tais alterações que ocorrem durante o exercício de corrida em subida, por parte de fisiologistas e treinadores. Para se determinar o desempenho em corredores de *endurance* é comumente realizado a mensuração de índices fisiológicos tais como: consumo de oxigênio (VO_2), consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}), limiar de lactato (LL), limiar anaeróbio (LAn), velocidade crítica (VC), máxima fase estável de lactato sanguíneo (MFEL) e frequência cardíaca (FC) geralmente mensurados durante testes de corrida em esteira (BALDUCCI et al., 2016; BARNES; KILDING, 2015; BURNLEY; JONES, 2007; SOUZA et al., 2011). Esses índices fisiológicos também são usados para a classificação dos domínios de intensidade do exercício.

Os domínios de intensidade do exercício podem ser classificados em quatro: o domínio moderado, pesado, severo e extremo (BURNLEY; JONES, 2007; GAESSER; POOLE, 1996; HILL; POOLE; SMITH, 2002). O exercício realizado em cada um dos domínios induz

diferentes respostas fisiológicas e metabólicas no indivíduo, conseqüentemente tem influência direta no tempo de tolerância até que ocorra a exaustão ou interrupção do exercício. É importante ressaltar, que baseadas na sua importância dentro do contexto esportivo, tais índices fisiológicos foram bem investigados, principalmente durante corridas no plano com corredores de pista e rua. Porém, utilizando-se essencialmente de protocolos de corrida no plano em esteira, condição em que a técnica de corrida difere da corrida no solo, principalmente devido ao aumento da resistência do ar com o aumento da velocidade durante a corrida realizada em ambiente externo. Para amenizar isso, utiliza-se durante a corrida em esteira uma inclinação de 1% para simular essa resistência do ar (BARNES; KILDING, 2015; JONES; DOUST, 1996; SOUZA et al., 2011). Desta forma, a literatura ainda carece de investigações destes índices e respostas fisiológicas associadas em condições que simulariam as corridas em subida, seja em ambiente externo ou em esteira rolante com inclinações superiores a 1%.

Embora tenham sido investigados os índices fisiológicos e biomecânicos na corrida no plano e na subida (LEMIRE et al., 2020; PAAVOLAINEN; NUMMELA; RUSKO, 2000; PRINGLE et al., 2002; SCHEER et al., 2018), esses estudos procuraram observar as demandas fisiológicas e biomecânicas durante a corrida na subida por protocolos de testes em que se mantinha fixo um dado percentual de inclinação (inclinação de 12%, 22%) e realizavam incrementos na velocidade (PAAVOLAINEN; NUMMELA; RUSKO, 2000; PRINGLE et al., 2002; ZÜRCHER; CLÉNIN; MARTI, 2005) ou velocidade e a inclinação simultaneamente durante os testes (SCHEER et al., 2018). Mas, o que se observa é que geralmente durante uma corrida, quando ocorre um aumento do gradiente de inclinação da subida, a velocidade de corrida tende a diminuir. Isso faz com que esses testes tenham um fator limitante, que é a corrida ser realizada em uma velocidade incremental contra uma inclinação arbitrária (DE LUCAS et al., 2021). Em uma pesquisa realizada com corredores de ultramaratona, na qual os corredores realizaram um contrarrelógio em um circuito de 3175 m com subidas que continham diferentes graus de elevação (6,3%, 9,3%, 11,2%, 6,8%, 11,7%, 10,7%, 1,5%, e 7,8%), foi observado velocidade de corrida 23% mais lenta e comprimento da passada 21% menor durante a corrida na subida (TOWNSHEND; WORRINGHAM; STEWART, 2010).

Além desta diferença, outros achados mostram que em sua maioria o VO_2 , a FC e as concentrações de lactato sanguíneo ([Lac]) foram mais elevados em corridas com inclinações em comparação com corridas no plano (PIVARNIK; SHERMAN, 1990; STAAB; AGNEW; SICONOLFI, 1991; TOWNSHEND; WORRINGHAM; STEWART, 2010). Barnes et al., (2013) mostraram que intervenções de treinamento incluindo corrida com subida foi benéfico na melhora do VO_{2max} e economia de corrida. No entanto, apenas dois estudos analisaram a

influência da inclinação na cinética do VO_2 nos diferentes domínios de intensidade moderado (WILLIS et al., 2019; PRINGLE et al., 2002) e pesado (PRINGLE et al., 2002). Em ambos, não foi observado alterações na amplitude da fase 2 (fase rápida) da cinética de VO_2 entre os tipos de corrida. Porém, a cinética do VO_2 foi mais rápida para a corrida realizada na subida no estudo de Pringle et al. (2002) e mais lenta no estudo de Willis et al. (2019) em comparação a corrida realizada no plano. No entanto, vale destacar que a determinação dos domínios de intensidade com inclinação foi baseada apenas em testes incrementais com aumento da velocidade, que pode ter resultado em domínios da intensidade diferentes entre o exercício no plano e inclinado.

Recentemente, a fim de minimizar o fator limitante dos testes com inclinação fixa, De Lucas et al. (2021) propuseram um novo modelo de teste incremental, denominado teste de corrida de inclinação incremental (IIRT). Com o propósito de identificar os índices fisiológicos máximos ($\text{VO}_{2\text{max}}$ e frequência cardíaca máxima), submáximos (limiares de lactato), e a capacidade de correr em inclinações extremas, o seu diferencial se refere à manutenção de uma velocidade constante (50% da velocidade aeróbia máxima atingida em um teste incremental no plano) e o incremento da inclinação durante os estágios até a maior inclinação sustentada até a exaustão. A comparação de corridas com e sem inclinação baseado apenas na velocidade acarreta diferentes respostas fisiológicas, um exemplo é o indivíduo correr a 7 km/h com uma inclinação de 1%, nesta velocidade ele estará realizando o exercício no domínio moderado, se esse mesmo indivíduo correr a 7 km/h contra uma inclinação de 10%, ele pode estar no domínio pesado ou severo a depender do seu estágio de treinamento.

Este é um fator limitante desconsiderado por investigações que comparam corridas no plano e na subida, pois quando o objetivo é comparar a resposta da cinética de VO_2 , nestes casos acaba não sendo de forma “justa”, pois estaremos comparando a resposta da cinética do VO_2 em domínios diferentes. Tal limitação deve ser ultrapassada nas futuras pesquisas, assim, este novo protocolo (DE LUCAS et al., 2021) tende a tonar essa comparação equivalente ao equiparar fisiologicamente a demanda apesar de velocidade ou inclinação diferente. Isso irá permitir que se possa comparar a cinética do VO_2 com e sem inclinação no mesmo domínio de intensidade.

Diante do exposto, a proposta principal desta pesquisa foi comparar as respostas cardiorrespiratórias e neuromusculares entre a corrida no plano e na subida realizadas em diferentes domínios das intensidades do exercício. Inicialmente, a pesquisa buscou comparar dois testes de intensidade progressiva, um com incrementos na velocidade e outro com incrementos na inclinação. Posteriormente, baseado nos parâmetros obtidos nos testes

progressivos, a pesquisa comparou os parâmetros da cinética de VO_2 e frequência de passada entre corrida no plano e na subida nos domínios de intensidade moderado e severo. A principal hipótese do estudo é que para as transições realizadas nos domínios moderado e severo tanto na condição de corrida na subida quanto na corrida no plano é que os parâmetros da cinética do VO_2 e as concentrações de lactato não demonstrarão diferenças entre as corridas, evidenciando que o modelo de teste fez com que ocorresse uma igualdade, permitindo que apesar da diferença da velocidade e inclinação ambos foram realizados no mesmo domínio.

1.2 PROBLEMA

Considerando as informações apresentadas, surge o seguinte questionamento: Há diferenças nas respostas fisiológicas e neuromusculares nos domínios de intensidade moderado e severo durante a corrida realizada no plano e na subida?

1.3 JUSTIFICATIVA

Dado a crescente nas participações de corredores envolvidos com corridas de montanha, bem como o aumento de competições deste tipo de prova e a prática cada vez mais frequente de treinamento de corrida em subidas com propósitos de ganhos de força muscular associado a ganhos de desempenho aeróbio (BARNES et al., 2013; PARADISIS; BISSAS; COOKE, 2009), torna-se cada vez mais importante entender os mecanismos fisiológicos e neuromusculares envolvidos na corrida em subida (BALDUCCI et al., 2017). Portanto, a análise das respostas de VO_2 , da cinética do VO_2 , do lactato sanguíneo e da frequência de passadas, durante situações de corrida com e sem inclinação conduzidos numa mesma intensidade relativa podem providenciar informações importantes para o entendimento da tolerância ao exercício, assim como do desempenho em subidas. A partir dos parâmetros obtidos, utilizando-se um padrão de corrida específico para subidas, será possível identificar os demarcadores dos domínios de intensidade (i.e. moderado, pesado e severo) classicamente propostos por Gaesser e Poole (1996). Esses marcadores são geralmente identificados por meio da análise da cinética do VO_2 e das respostas de lactato sanguíneo durante a realização do esforço (CARITÁ et al., 2014).

A fim de controlar as limitações de outros estudos (velocidade incremental x inclinação fixa), este projeto identificou os índices fisiológicos pela resposta do lactato sanguíneo em teste incremental com inclinação progressiva, mantendo assim a velocidade fixa,

por meio do teste IIRT (DE LUCAS et al., 2021). Assim, com este modelo de identificar a mesma intensidade relativa (domínios de intensidade) na corrida com e sem inclinação, acredita-se que o comportamento da cinética do VO_2 possa conferir uma comparação mais equitativa em relação aos estudos prévios (PRINGLE et al., 2002; WILLIS et al. 2019). Desta forma, o modelo de exercício estudado neste projeto visou estabelecer comparações a partir dos sistemas cardiorrespiratório e muscular, gerando potencialmente informações para fundamentar a prescrição de atividades de corrida em condições de terreno inclinado.

Além disso, o treinamento de corrida em subidas tem sido frequentemente utilizado por corredores para melhorarem a aptidão aeróbia, em conjunto com maior desenvolvimento da força muscular específica (BARNES et al., 2013). Desta forma, este modelo pode ser benéfico não somente para atletas, mas também para pessoas que buscam ganho de aptidão aeróbia em atividades com menor impacto articular. Também, é possível que este estudo auxilie em uma melhor compreensão sobre os índices funcionais de desempenho em exercício de corrida com e sem inclinação, realizados em intensidades metabólicas pareadas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

Comparar as respostas cardiorrespiratórias, metabólicas e neuromusculares entre a corrida no plano e com subida, em dois diferentes domínios de intensidade do exercício, moderado e o severo.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analisar os parâmetros cardiorrespiratórios (VO_2 e FC), bem como os parâmetros da cinética do VO_2 entre a corrida no plano e com subida no domínio moderado e severo;
- Comparar o VO_{2max} e a FC_{max} obtidos em um teste incremental de velocidade e um teste incremental de inclinação;
- Identificar os limiares de lactato (velocidade ou inclinação) e respostas fisiológicas associadas (VO_2 , FC e percepção subjetiva de esforço - PSE) em ambos os testes incrementais (i.e., velocidade e inclinação);

- Comparar a frequência de passadas entre a corrida no plano e com subida no domínio moderado e severo, durante as transições de corrida com carga constante.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 CORRIDAS DE MONTANHA

Apesar de existirem desde 1984, as corridas de montanha não eram tão populares. Até recentemente as principais corridas eram as de rua, sendo as provas de 10 km, meia maratona e maratona. Tais corridas são realizadas exclusivamente ou predominantemente em percursos planos e pavimentados (BURFOOT, 2007; VERNILLO et al., 2017). Porém, atualmente as corridas de montanha vêm aumentando consideravelmente sua popularidade e o número de participantes em suas provas cresce a cada competição.

As principais características destes tipos de prova estão na variação de terreno, quantidade e grau de elevação das subidas e descidas onde são realizadas. Competições deste tipo sem dúvidas estão no extremo da tolerância humana, tanto em fatores fisiológicos, mecânicos e mentais (MILLET; MILLET, 2012; VERNILLO et al., 2017).

Os tipos de provas oficiais de corridas em montanha são “Subida Clássica” (*Classic Uphill*), Subida e Descida Clássica (*Classic Up and Down*), Vertical (*Vertical*), Longa Distância (*Long Distance*) e Revezamentos (*Relays*). Em todas elas a inclinação média deve ser entre 5% e 25%, ou seja, 50 m/km e 250 m/km respectivamente, a única exceção é a corrida “Vertical” onde a inclinação mínima deve ser de 25% (IAAF; WA; CBAT, 2020).

Além das provas terem uma inclinação média estipulada, elas são divididas em categorias que são classificadas conforme seu “esforço-km”, tal cálculo é feito pela soma da distância total da corrida em km, somado ao ganho vertical em metros, dividido por 100. Então, uma corrida de 45 km realizada com um ganho vertical de 2.500 metros (Categoria = $45 + 2500 / 100 = 70$) seria classificada na categoria “S” (45-74). O quadro 1 descreve essa categorização das provas, onde XXS é a categoria de menor relação esforço-km e XXL é a categoria de maior relação, sendo de 0-24 e 210+, respectivamente (IAAF; WA; CBAT, 2020). O tempo médio aproximado de conclusão do campeão da prova de XXS é em torno de 1 hora, enquanto a XXL é acima de 17 horas. Cada categoria tem uma pontuação que varia de 0 a 6 pontos, que é utilizado para ranquear os competidores.

Essa classificação foi criada pelo fato de que duas corridas/competições realizadas com a mesma distância podem ter tempos muito diferentes de conclusão do percurso, devido ao fato que elas podem exigir de forma diferente o esforço empregado para completá-las, dependendo da altitude/grau de elevação das provas. Com isso, a classificação por Esforço-Km faz com que ocorra certo nivelamento em relação ao esforço e tempo médio de conclusão.

Tabela 1 - Classificação das categorias das corridas de montanha em relação ao esforço/km.

CATEGORIA	ESFORÇO-KM	PONT. ITRA	TEMPO DE CONCLUSÃO PARA O CAMPEÃO
XXS	0-24	0	1h*
XS	25-44	1	1h30 – 2h30*
S	45-74	2	2h30 – 5h*
M	75-114	3	5h – 8h*
L	115-154	4	8h – 12h*
XL	155-209	5	12h – 17h*
XXL	>=210	6	>17h*

Fonte: Adaptado de Regras de Competição e Regras Técnicas da World Athletics – Edição 2020.

Legenda: PONT. ITRA = pontuação para classificação dos atletas no ranking ITRA; XXS = corrida extremamente curta; XS = corrida muito curta; S = corrida curta; M = corrida média; L = corrida longa; XL = corrida muito longa; XXL = corrida extremamente longa; h = tempo em horas; * = tempo aproximado de conclusão da prova.

2.2 FATORES FISIOLÓGICOS E BIOMECÂNICOS DURANTE A CORRIDA NA SUBIDA

Tratando-se de fatores fisiológicos e biomecânicos, nota-se que durante as corridas com elevação positiva, conforme se aumenta o grau de elevação, o comprimento das passadas diminuem, mas a frequência delas aumenta, fazendo com que ocorra um aumento da carga interna de trabalho mecânico (DE LUCAS et al., 2021; PADULO et al., 2012). Gottschall e Kram (2005) notaram que em uma corrida com elevação de 15,8% o pico de força propulsiva aumentou em 68% quando comparadas a corridas realizadas no plano. Isso é devido a necessidade de desenvolver maiores forças propulsivas para gerar a aceleração ascendente necessária durante este tipo de corrida. Já Padulo et al. (2013) encontraram aumentos de 12% e 14,7% conforme a inclinação aumentava de 0% a 7% mantendo-se uma velocidade constante de 15 km/h.

Além disso, em comparação com a corrida nivelada, a eficiência da bomba muscular pode ser menor durante a corrida em aclive devido às mudanças menores no comprimento do músculo e assim o retorno venoso prejudicado pode ocasionar um maior acúmulo metabólitos (LAUGHLIN; SCHRAGE, 1999). Pode-se supor que esses efeitos aumentem a dependência do

metabolismo anaeróbio, acelere a fadiga, e possivelmente aumente o recrutamento de fibras musculares do tipo II, para que se possa manter a relação de força.

2.3 CONSUMO MÁXIMO DE OXIGÊNIO - VO₂MAX

O VO₂ é definido como a capacidade do organismo em captar, transportar e utilizar o oxigênio em nível periférico, para oxidação dos macronutrientes. Portanto, VO₂max é caracterizado por ser a maior taxa em que o ATP pode ser ressintetizado pelo organismo por meio dos processos oxidativos durante a realização de um exercício (BURNLEY; JONES, 2007; HOWLEY; BASSETT, 2000; POSSAMAI et al., 2019; RASO; GREVE; POLITO, 2013).

Essa capacidade máxima de transporte e utilização de oxigênio durante o exercício é considerada como uma mensuração muito válida da capacidade cardiorrespiratória e de desempenho atlético. Mas apesar de ter forte relação com o desempenho de longa duração, o VO₂max não pode ser a única característica a ser observada durante a determinação do desempenho de um atleta (DI PRAMPERO, 2003; HOWLEY; BASSETT, 2000).

A popularização do treinamento e da competição de corridas em montanha vêm sendo acompanhada pelo interesse científico sobre as adaptações fisiológicas e musculares durante a corrida com inclinação (LEMIRE et al., 2020; PAAVOLAINEN; NUMMELA; RUSKO, 2000; PRINGLE et al., 2002; SCHEER et al., 2018). Dentre essas adaptações alguns estudos se propuseram em investigar o VO₂max durante a corrida com elevação (LEMIRE et al., 2020; PAAVOLAINEN; NUMMELA; RUSKO, 2000; PRINGLE et al., 2002; SCHEER et al., 2018). Neste sentido, Balducci et al. (2016) mensuraram e compararam o VO₂max e o custo energético da corrida em plano e com inclinação em 10 corredores de montanha de elite franceses. Os atletas realizaram três testes progressivos nas condições de 0%, 12,5% e 25% de inclinação, nos quais não foi observado diferença no VO₂max, indicando que a velocidade aeróbia máxima (VAM) não diferiu entre as condições de corrida no plano e com inclinação. Porém, o custo energético da corrida aumentou com o acréscimo da inclinação, que foi acompanhada de uma redução na frequência de passada a 25% de inclinação.

Lemire et al. (2021) em seu estudo com corredores de elite de trilha, em um teste contrarrelógio (*time trial*; TT) de corrida de 5 km comparando as variáveis fisiológicas entre corrida na subida e corrida na descida encontraram valores de FC_{pico}, [Lac]_{pico} e ventilação pico semelhantes nos dois tipos de corrida, enquanto que o VO₂médio e VO₂pico foram maiores para a corrida na subida em relação a corrida na descida. Durante a corrida na subida as ações

musculares predominantemente concêntricas aumentam o gasto energético e conseqüentemente o VO_2 , o que pode explicar o VO_{2max} maior para a realização desta tarefa. Neste trabalho, por meio de regressão, foram encontradas 3 possíveis preditores do desempenho em corridas na subida, sendo que 68,3% do desempenho durante a corrida na subida foi por meio da velocidade associada ao VO_{2max} (vVO_{2max}) se tornando então um parâmetro chave para o desempenho de corridas de trilha de curta duração.

Em um estudo recente com 10 corredores bem treinados realizado por Fleckenstein et al. (2021), com o propósito de avaliar as variáveis de VO_2 , FC e [Lac] em testes de 0%, 2% e 7% de inclinação e com velocidade de 70% da vVO_{2max} , os autores não encontraram diferenças significativas nas variáveis VO_2 , [Lac] e FC entre a corrida a 0% e 2% de inclinação. Porém, quando compararam o VO_2 durante as corridas de 0% e 7% inclinação foi observado uma diferença de $6,8 \pm 0,8$ ml/kg/min, já durante a comparação entre 2% e 7% a diferença foi de $5,4 \pm 0,8$ ml/kg/min, ambas com valores maiores para a corrida a 7% de inclinação. Na FC também foram observadas diferenças entre 0% e 7% (12 ± 2 bpm) e 2% e 7% (10 ± 2 bpm), valores mais altos de FC sendo encontrados novamente durante a corrida com inclinação de 7%. Mas, quando comparado a [Lac], não houve diferença significativa entre nenhuma das corridas. Vale ressaltar que o protocolo utilizado para este estudo foi realizado em uma esteira antigravidade.

É possível notar que uma inclinação de 2% em uma esteira antigravidade pode não ser suficiente para induzir mudanças fisiológicas. Já em uma esteira convencional, 2% de inclinação acarreta alterações nestes índices, como foi observado no estudo de Padulo et al. (2013) quando compararam respostas fisiológicas e metabólicas a inclinações de corrida de 0%, 2% e 7% a 70% do VO_{2max} em 18 corredores competitivos. Como principais resultados, a corrida com inclinação provocou maiores aumentos no VO_2 e FC, com acréscimo de 15% na FC e 19% no VO_2 na corrida com maior inclinação em comparação ao plano. Os protocolos dos testes utilizados em ambas pesquisas foram semelhantes (70% do VO_{2max}) com diferença na esteira utilizada (convencional *versus* antigravidade).

Quanto a realização de seções de treinamento que incluem corridas em subidas para melhora do VO_{2max} , Barnes et al. (2013) realizaram intervenções de treinamento com corridas na subida em diferentes inclinações. Os autores observaram que ao final das 6 semanas de treinamento ocorreram melhoras no VO_{2max} , principalmente no grupo que treinou com um gradiente de inclinação de 18% (BARNES et al., 2013). O aumento no VO_{2max} é um dos métodos mais comuns utilizado para demonstrar efeito de uma intervenção de treinamento (HOWLEY; BASSETT, 2000). Apesar da limitação do número reduzido de participantes em

cada grupo de intervenção (4% = 3; 7% = 4; 10% = 5; 15% = 5; e 18% = 3), o estudo ainda sim mostra que a utilização de corridas com inclinação é um meio eficaz a ser utilizado nas sessões de treinamento para melhora do VO₂max.

Como evidência, o treinamento com corridas em subida vem sendo proposto a ser incorporado nos programas de treinamento de atletas por proporcionarem melhoras substanciais em índices fisiológicos, VO₂max e no desempenho de corredores bem treinados (BARNES et al., 2013). Quanto ao tempo necessário para se atingir o VO₂max, há relação direta com o estado de treinamento do indivíduo e a intensidade do exercício. Portanto, indivíduos com uma cinética do VO₂ mais rápida necessitariam de um menor tempo para atingir o VO₂max. Mas é necessário ressaltar que há uma grande variação tanto intra- quanto inter-individual, para o alcance do VO₂max e também em relação a intensidade vs. tempo de exaustão (BILLAT et al., 1995; CAPUTO; DENADAI, 2008). A relação da cinética do VO₂ com a intensidade do exercício será discutida no capítulo a seguir.

2.4 DOMÍNIOS DA INTENSIDADE DO EXERCÍCIO E A CINÉTICA DO VO₂

Compreender de fato as modificações que ocorrem no organismo humano, tanto do ponto de vista fisiológico, quanto biomecânico, é essencial para que se realizem intervenções para saúde, treinamento e competição das pessoas que estão envolvidas nesta modalidade de corrida. Segundo Vernillo et al. (2017), o desempenho de corrida deriva de uma combinação de características anatômicas, fisiológicas e comportamentais que são exclusivamente desenvolvidas em humanos. O estudo das mudanças fisiológicas e biomecânicas associadas a corrida com gradientes de elevação é fundamental para que se possa compreender e entender o controle da locomoção humana nestes tipos de eventos, que notavelmente estão no extremo da tolerância humana (MILLET; MILLET, 2012; VERNILLO et al., 2017).

O exercício físico pode ser realizado em diferentes domínios de intensidade (moderado, pesado, severo e extremo), nos quais as respostas fisiológicas e metabólicas apresentam comportamentos bem característicos em cada um deles (CARITÁ; GRECO; FILHO, 2013; GAESSER; POOLE, 1996; JONES; BURNLEY, 2009; PRINGLE et al., 2002; RAIMUNDO et al., 2019; WHIPP, 1994). Esses diferentes domínios na maioria das vezes são expressos em valores percentuais (%) de VO₂max, mas esse modelo utilizado pode acarretar em erros, principalmente quando se pretende normalizar as respostas metabólicas do indivíduo (BURNLEY; JONES, 2007; JONES et al., 2011; TURNES et al., 2016). Pois indivíduos com valores semelhantes de VO₂max apresentam as respostas metabólicas induzidas pelo exercício

em diferentes % do $\dot{V}O_2$ max. Assim, estudar as respostas fisiológicas ao exercício em 70% $\dot{V}O_2$ max, por exemplo, pode resultar em alguns participantes estarem se exercitando abaixo do limiar de lactato e outros acima dele.

O domínio moderado é caracterizado por todas as intensidades de esforços realizados abaixo do LL, nos quais observa-se que as concentrações de [Lac] permanecem estáveis e próximos aos níveis de repouso em torno de 2,0 mmol/L. Quanto ao $\dot{V}O_2$, este alcança um estado estável em valores submáximos em torno de 3 a 4 minutos. Um exercício realizado em intensidades dentro do domínio moderado pode ser sustentado por longo período (>4h). Nestas condições os principais mecanismos de fadiga que podem levar a interrupção do exercício por parte do praticante são depleção de substratos (glicogênio muscular e hepático), a hipertermia, redução dos drives centrais e desmotivação (BURNLEY; JONES, 2007; CAPUTO; DENADAI, 2008).

Quando o exercício é realizado a partir da menor intensidade de esforço acima do LL, mas abaixo da Potência Crítica (PC), no caso do ciclismo e remo, ou Velocidade Crítica (VC), no caso da corrida e natação, o exercício está sendo executado dentro do domínio pesado. Neste domínio as variáveis metabólicas (i.e., lactato) se elevam acima dos níveis de repouso, mas ainda assim dentro desse domínio as variáveis metabólicas conseguem alcançar níveis estáveis em poucos minutos após o início do exercício. A depender da intensidade em que se está sendo executado, este tempo pode ficar em torno de 15-20 min (CAPUTO, 2006).

O aumento evidente da [Lac] acima dos níveis de repouso durante o exercício com estas cargas de trabalho é notável e faz com que o equilíbrio entre a produção e remoção deste substrato aconteça em uma concentração mais elevada. O $\dot{V}O_2$ também apresenta uma estabilidade neste domínio, apesar de ocorrer uma redução na eficiência metabólica, exigindo que o $\dot{V}O_2$ apresente um valor maior do que o predito para a intensidade, acarretando no aparecimento do componente lento (CL) do $\dot{V}O_2$.

Mesmo com o maior estresse metabólico apresentado, o exercício nestas condições ainda pode ser sustentado por um período longo (~3 - 4h), graças a capacidade do organismo de manter o equilíbrio das variáveis metabólicas. Já seu limite de tolerância se dá principalmente pelo nível inicial de glicogênio muscular, e sua interrupção está relacionada com a depleção de glicogênio muscular (BURNLEY; JONES, 2007; CARITÁ et al., 2014).

Exercícios realizados em intensidades superiores a VC/PC estarão dentro do domínio severo. Neste domínio, ao contrário do que ocorre nos domínios anteriores, a estabilidade metabólica e de trocas gasosas não é alcançada. Especificamente, o lactato sanguíneo, a relação lactato-piruvato e $[H^+]$ continuam se elevando, o bicarbonato diminui, e o $\dot{V}O_2$ aumenta em

direção aos valores máximos (CAPUTO, 2006). Nessas condições a amplitude do componente lento acaba sendo muito mais elevada do que se percebe durante os exercícios realizados nas intensidades do domínio pesado.

Devido a isso, a tolerância ao exercício será muito reduzida, podendo ser sustentado por no máximo 45 min a depender da intensidade que está sendo executada o exercício dentro deste domínio. Neste domínio de intensidade, como nos domínios citados anteriormente existe uma relação entre intensidade e tempo de exaustão, quanto mais se aumenta a intensidade, ficando próximo do outro domínio, menor será o tempo em que se atingirá a exaustão. Neste domínio isto ocorre devido principalmente ao grau/intensidade do desequilíbrio intracelular (razão entre a velocidade de produção e remoção dos metabólitos), provocada pela alta demanda muscular de ATP (BURNLEY; JONES, 2007; CAPUTO, 2006; TURNES, 2013). Pois durante a execução do exercício nestas condições ocorre a maior utilização de fontes anaeróbias para ressíntese de ATP via sistema glicolítico, que leva ao esgotamento do déficit de O_2 acumulado, ao acúmulo de lactato e íons H^+ , tornando o ambiente tecidual ácido, fatores que podem ocasionar a interrupção do exercício neste domínio (BURNLEY; JONES, 2007; CAPUTO; DENADAI, 2008; TURNES, 2013).

O índice que delimita a transição do domínio severo para o domínio extremo é a máxima intensidade que se pode alcançar o VO_{2max} durante exercício constante (ISUP). O domínio extremo é caracterizado por ser uma intensidade tão alta, que o desequilíbrio metabólico é tão grande que geralmente o indivíduo chega à exaustão em um tempo inferior a 120 s, o que acaba impossibilitando o alcance do VO_{2max} nestas condições de exercício (BURNLEY; JONES, 2007; CAPUTO; DENADAI, 2008; TURNES et al., 2016).

Os parâmetros metabólicos observados nas diferentes intensidades do exercício são fatores importantes, pois eles determinam o modelo e impõem restrições na cinética do VO_2 durante a realização do exercício (BURNLEY; JONES, 2007; XU; RHODES, 1999). A taxa de respostas do VO_2 no início do exercício é um índice importante pois ela reflete o ajuste tanto do oxigênio sistêmico (O_2), transporte e metabolismo muscular (XU; RHODES, 1999). Portanto, a cinética do VO_2 é quem determina a taxa instantânea de transferência de energia aeróbia e anaeróbia, quantidade de substrato utilizada e a duração tolerável do exercício (BURNLEY; JONES, 2007).

Em uma pessoa saudável o consumo de oxigênio durante o repouso se mantém em níveis basais, quando ocorre a transição do repouso para o exercício a demanda necessária de ATP aumenta, exigindo que sua ressíntese no início do esforço seja predominantemente por meio de fontes anaeróbias, degradação da fosfocreatina (PCr) e catabolismo anaeróbio do

glicogênio, resultando em um déficit de O_2 (TURNES et al., 2016). Conforme o exercício progride a contribuição das fontes oxidativas aumentam, desempenhando maior contribuição para a ressíntese de ATP necessária para a manutenção do exercício, esse aumento se dá de forma simultânea desde o início do exercício, onde o VO_2 aumenta exponencialmente até que um novo estado estável seja alcançado. A rapidez com que esse estado estável será alcançado se denomina cinética do VO_2 (BAILEY et al., 2009; BURNLEY; JONES, 2007; TURNES, 2013).

Durante o exercício moderado, a cinética do VO_2 apresenta três fases que podem ser identificadas. A Fase I, cardiodinâmica, é caracterizada pelo rápido aumento do VO_2 nos segundos iniciais do exercício (15, 20 s). Nesta fase o aumento do VO_2 é devido principalmente pelo aumento do débito cardíaco e fluxo sanguíneo pulmonar, geralmente sendo excluída dos estudos, pois não reflete o que está acontecendo diretamente na musculatura ativa. Durante esta fase, a resposta do VO_2 aumenta com uma trajetória ascendente, caracterizada por um atraso temporário na resposta (*time delay*).

A Fase II, denominada “primária ou rápida”, compreende o aumento contínuo no VO_2 , assim caracterizando a ativação do metabolismo oxidativo, dependendo da intensidade do exercício pode ou não resultar em uma fase de equilíbrio metabólico ao fim desta fase. Essa fase é representada pela *tau* (τ) que é a constante de tempo, isto é, o tempo de resposta do sistema aeróbio para atingir a amplitude VO_2 final necessário durante o exercício. O tau representa 63% da amplitude final do VO_2 . A Fase III, conhecida como “estado estável”, compreende o estado estável de consumo de O_2 , que tem relação direta com os diferentes domínios de intensidade em que é realizado o exercício. Durante os exercícios realizados em intensidades abaixo do LL observa-se que a cinética do VO_2 aumenta de maneira exponencial, apresentando as 3 fases, onde um nível estável é alcançado em torno de 3 min após o início do exercício em indivíduos saudáveis.

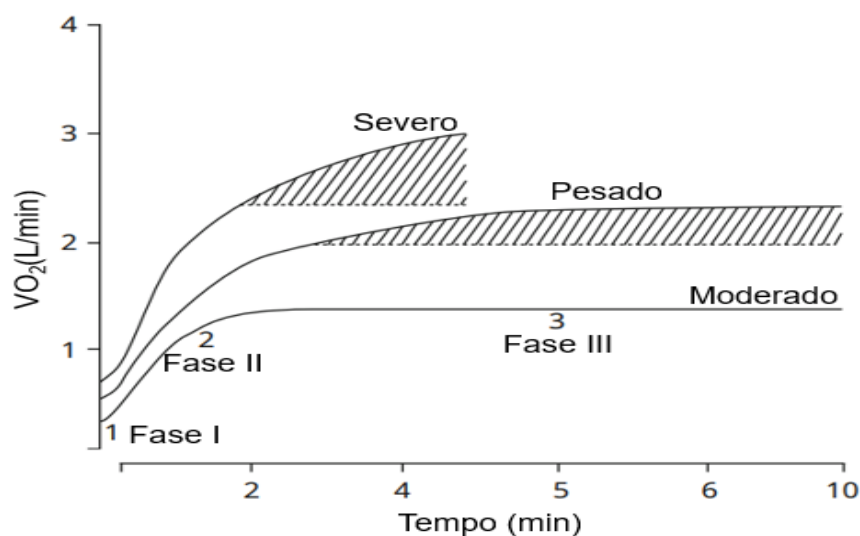
Durante esforços no domínio pesado, acima do LL, a cinética do VO_2 apresenta um comportamento bi-exponencial, onde a estabilidade do VO_2 se dá acima do predito em relação ao VO_2 vs. carga. Isso devido ao aparecimento de um segundo componente (componente lento do VO_2), fazendo com que ocorra um atraso para se atingir o estado estável. Este tempo fica em torno de 15 a 20 min, mas ainda assim é possível atingir o estado estável de VO_2 nestas intensidades (CARITÁ; GRECO; FILHO, 2013; HILL; POOLE; SMITH, 2002; TURNES, 2013).

Já durante o exercício realizado em intensidade acima da VC, isto é, no domínio severo, o VO_2 aumenta progressivamente de maneira bi-exponencial (intensidades abaixo do

consumo máximo de oxigênio - $\text{VO}_{2\text{max}}$) ou é projetado exponencialmente (na intensidade correspondente ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ ou acima), atingindo seus valores máximos ao final do exercício (HILL; POOLE; SMITH, 2002). O domínio severo tem sido caracterizado por demonstrar intensidades nas quais o $\text{VO}_{2\text{max}}$ pode ser atingido e sustentado. O CL do VO_2 desenvolvido durante o exercício severo é maior do que durante o exercício pesado e sua magnitude dependerá da duração do exercício, podendo chegar a valores acima de 1,0 L/min de O_2 (ROSTON et al., 1987; WHIPP, 1994).

A Figura 1 é uma representação retirada e adaptada do estudo de Gaesser e Poole (1996) e demonstra as fases da cinética do VO_2 nos diferentes domínios de intensidade do exercício, bem como o a amplitude do componente lento (área rasurada) nos domínios pesado e severo.

Figura 1 – Representação da Cinética do VO_2 nos domínios de intensidade do exercício Moderado, Pesado e Severo.



Fonte: Adaptado de Gaesser e Poole (1996). The slow component of oxygen uptake kinetics in humans.

Como destacado em exercícios realizados acima do LL, ocorre o aparecimento de um segundo componente caracterizado como CL do VO_2 , a principal fonte do aparecimento do CL, cerca de 86% da amplitude do CL do VO_2 está relacionada diretamente ao músculo em exercício (POOLE et al. 1991), devido ao recrutamento de fibras musculares do tipo II durante o exercício (BARSTOW; MOLE, 1991; GAESSER; POOLE, 1996; POOLE, 2008; PRINGLE et al., 2002). Portanto, é possível que devido ao custo adicional de energia da contração das fibras do tipo II recrutadas, o aumento da atividade dos tipos I e Fibras II e a fadiga das fibras

que foram recrutadas ao início do exercício, se relacionam para que ocorra o desenvolvimento/aparecimento do CL do VO₂.

Estudos que envolvem a cinética do VO₂ durante a corrida com inclinação e também comparada com os demais tipos de corrida (plano e descida) ainda são escassos. O estudo de Pringle et al. (2002), em que os autores analisaram a cinética de VO₂ durante a corrida com inclinação (10%) e a corrida plana (0%) em intensidades relativas nos domínios moderado onde a velocidade foi de 9,8 km/h para a corrida no plano e 5,8 km/h para corrida com inclinação e no domínio pesado a velocidade foi de 15 km/h e 10,3 km/h respectivamente, foi observado que a amplitude da fase 2 (fase rápida) não foi significativamente diferente entre os tipos de corrida.

Quando os autores analisaram as corridas (0% e 10%) durante o exercício realizado na intensidade moderada, tanto durante a corrida no plano, quanto na corrida com 10% de inclinação, o estado estável de VO₂ (3,4 ml/min) foi atingido em torno de 2 min após o início do exercício, o [Lac] ficou em valores basais (-0.2 e -0.1 mMol/L) e a FC (133 e 129 bpm), apesar da FC não apresentar diferença significativa nas duas condições de corrida, tendeu a ser menor para a condição de corrida com inclinação. Quando comparado as corridas durante o domínio pesado, a fase II, apesar de não apresentar diferença entre os tipos de corrida, foi mais rápida na corrida com inclinação (19.6 s *versus* 18.1 s). Foi notado durante a corrida com inclinação que o CL do VO₂ foi maior tanto em valores absolutos como em relação ao VO₂ ao final do exercício, a amplitude do CL do VO₂, foi 40% maior para a corrida com 10% de inclinação em comparação com a corrida no plano, possivelmente devido ao regime maior de contrações concêntricas durante a execução deste tipo de corrida, fazendo com que se tenha uma maior tensão metabólica e neuromuscular nas fibras ativas, gerando uma maior taxa de fadiga e conseqüentemente um aumento no recrutamento de fibras do tipo II.

2.5 MARCADORES DE INTENSIDADE DO EXERCÍCIO AERÓBIO

Como destacado anteriormente o exercício aeróbio pode ser realizado em diferentes domínios de intensidade (moderado, pesado, severo e extremo) sendo esses demarcados por índices ou respostas fisiológicas. Uma dessas respostas é respectiva ao lactato, importante marcador fisiológico que desempenha um papel fundamental para o controle da intensidade do exercício aeróbio (CAPUTO, 2006; TURNES, 2013). Seu acúmulo no sangue reflete a ocorrência de um aumento do metabolismo anaeróbio, uma diminuição nos mecanismos responsáveis pela sua remoção, permitindo que se possa fazer o zoneamento dos domínios

fisiológicos. A literatura aponta que o limiar de lactato (LL), limiar anaeróbio (LAn) e a máxima fase estável de lactato (MFEL), marcadores estes que estão associados ao [Lac], juntamente com potência/velocidade crítica (PC/VC) representam a capacidade aeróbia, apresentando forte associação com o desempenho de longa duração (CAPUTO et al., 2009).

Apesar de existirem várias terminologias utilizadas para a identificação dos limiares associados ao lactato sanguíneo durante a realização do exercício de carga progressiva, os limiares se restringem em duas categorias. A primeira categoria pretende identificar o início do acúmulo de lactato no sangue, definida comumente como o limiar de lactato (LL). Ela é caracterizada como a última intensidade antes de ocorrer um aumento exponencial de lactato sanguíneo ou aumento do nível de lactato acima de 1 mMol/L dos valores de repouso (CAPUTO, 2006; TURNES, 2013).

A segunda categoria se baseia principalmente por meio de quantidades fixas de lactato no sangue para que se possa estimar a máxima fase estável de lactato (MFEL), que representa a maior intensidade de carga constante em que há equilíbrio entre produção e remoção de lactato sanguíneo. Em outras palavras, a maior intensidade em que ainda ocorre estabilidade nos níveis de lactato sanguíneo (BILLAT et al., 2003; CAPUTO, 2006). Devido a necessidade de ao menos 2 sessões de 30 minutos de exercício constante e em dias diferentes para determinar a MFEL, sua estimativa indireta se dá geralmente por meio do Limiar Anaeróbio (LAn) ou *onset of blood lactate accumulation* (OBLA). Para a determinação do LAn, utiliza-se com frequência concentrações fixas de lactato sanguíneo de 3,5 ou 4 mMol/L, a depender da duração de cada estágio do teste incremental (CAPUTO, 2006; HECK et al., 1985).

Acima desses dois primeiros limiares, a literatura demonstra que a potência/velocidade crítica (PC/VC) é de fato o limite inferior do domínio severo (GAESSER; POOLE, 1996). Pois exercícios executados na PC/VC, o VO_2 não consegue atingir valores máximos e até mesmo pode apresentar um valor estável, mas quando se aumenta a intensidade em 5-10% o VO_{2max} pode ser alcançado (HILL; POOLE; SMITH, 2002). Dependendo do estado de treinamento aeróbio o valor da PC/VC pode ser de 70-95% do VO_{2max} (BRICKLEY; DOUST; WILLIAMS, 2002; DE LUCAS; DENADAI; GRECO, 2009; JONES; VANHATALO, 2017). Devido a isso, é possível alcançar o VO_{2max} em diferentes intensidades levemente acima da PC/VC (GAESSER; POOLE, 1996). Estas intensidades se estendem até a ISUP, considerada a maior intensidade em que o VO_{2max} é alcançado durante exercício constante (TURNES, 2013).

A ISUP é considerada o limite entre os domínios severo e extremo, e o fato dela ser uma intensidade alta, a duração do exercício até que ocorra a exaustão nestas condições é curto, sendo este o último limite possível para se alcançar o VO_{2max} . Então, qualquer exercício

realizado acima deste limite estará dentro do domínio extremo, fazendo com que a exaustão ocorra antes do $VO_2\text{max}$ ser atingido (CAPUTO; DENADAI, 2008). A exaustão durante o exercício realizado na ISUP estaria associada à depleção dos estoques finitos de energia representados pelo W' ou déficit de O_2 e/ou acumulação de metabólitos associados à fadiga (BURNLEY; JONES, 2007).

2.6 AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS BIOMECÂNICAS ENVOLVENDO CORRIDAS COM INCLINAÇÃO

Durante o exercício excêntrico submáximo, a ativação neuromuscular necessária para gerar qualquer tensão absoluta é cerca de 10% a 50% menor do que durante as contrações concêntricas (MORITANI; MURO; NAGATA, 1986). Considerando que a corrida prolongada induz uma redução na capacidade de produção de força dos músculos extensores do joelho, o modelo de experimento com alta validade ecológica envolvendo corridas em aclive, declive e terreno plano vem sendo utilizado para investigar os mecanismos envolvidos na fadiga neuromuscular.

Com atenção especial às variáveis biomecânicas, Vernillo et al. (2020) analisaram em esteira instrumentada as respostas em velocidades de corrida de 9,0 km/h, 11,9 km/h e 15,0 km/h em cinco diferentes inclinações: 0°, 5°, -5°, 10° e -10° (aproximadamente $\pm 11\%$ e $\pm 22\%$ de inclinação respectivamente). Em destaque, os autores observaram que os aumentos na frequência de passada se acentuaram em maiores velocidades de corrida. Ainda, as forças de reação foram influenciadas em maior magnitude pela inclinação e velocidade, embora as forças de reação a 10° não se alteraram com mudanças na velocidade. Assim, os autores concluíram que comparado a corrida no plano, em que aumentos na velocidade foram acompanhados por pequenos ajustes na frequência de passada, maiores aumentos na frequência de passada foram necessários em maiores velocidades na corrida em subida.

Ainda, baseado na produção de força e análise eletromiográfica, foi verificado que os corredores podem apresentar parâmetros de força similares apesar de diferentes padrões de recrutamento muscular. A eletromiografia trata-se de um método de registro dos potenciais elétricos gerados nas fibras musculares em ação. O registro da atividade eletromiográfica permite a investigação de quais músculos estão sendo utilizados durante o exercício, o nível de ativação muscular durante a execução do movimento, a intensidade e duração da solicitação muscular, além de possibilitar inferências relativas à fadiga muscular (MARTÍN-FUENTES; OLIVA-LOZANO; MUYOR, 2020). Os registros de eletromiografia (EMG) podem ser

divididos em dois tipos, dependendo do local onde são colocados os eletrodos de registro. Quando posicionados na pele, o procedimento é considerado eletromiografia de superfície, quando no músculo, é referido como eletromiografia intramuscular. Como a EMG intramuscular é uma técnica invasiva que pode causar desconforto aos sujeitos, a EMG de superfície é a técnica mais utilizada nos estudos da ciência do esporte (ABE et al., 2007; FRAGA et al., 2013).

A EMG é uma das principais ferramentas utilizadas para medir a ativação muscular, e pode ser definida como uma tecnologia de registro eletrofisiológico utilizada para a detecção do potencial elétrico que atravessa as membranas das fibras musculares, possibilitando estudos relacionados à fadiga muscular (MARTÍN-FUENTES; OLIVA-LOZANO; MUYOR, 2020). Assim, dados específicos da tarefa em relação aos padrões de recrutamento de unidades motoras são relatados por meio desta técnica (ABE et al., 2007; FRAGA et al., 2013; SODERBERG; KNUTSON, 2000).

Esta técnica, consiste na aquisição e tratamento do sinal elétrico produzido na musculatura a partir da estimulação de unidades motoras (UM). Para a manutenção da contração muscular, o sistema nervoso envia uma sequência de estímulos, para que as UM sejam repetidamente ativadas, resultando em um pulso de ativação de unidades motoras (PAUM), que indicará a taxa de disparo de impulsos eletromiográficos. Dois parâmetros principais são usados para estudar a amplitude de EMG: o valor retificado médio (ARV) e o valor quadrático médio (RMS). A amplitude dos sinais EMG é influenciada pelo número de unidades motoras ativas, suas taxas de descarga, a forma e velocidade de propagação dos potenciais de ação intracelulares (DIMITROVA; DIMITROV, G, 2002; MORITANI; MURO; NAGATA, 1986).

Um aumento da EMG durante a continuidade do exercício representa um recrutamento progressivo principalmente de unidades motoras do tipo II, devido ao fato das fibras que foram recrutadas no início do exercício estarem fadigadas. Também é possível que esse aumento com o tempo represente um recrutamento aumentado de ambos os tipos de fibras principais ou uma frequência de disparo aumentada das fibras inicialmente ativadas (FRAGA et al., 2013; PRINGLE et al., 2002; TURNES et al., 2016).

Assim, Garnier et al. (2018) investigaram as respostas neuromusculares e perceptuais na corrida com inclinação, com declive e em plano em esteira. Para isso, 15 homens realizaram testes de 45 min de corrida a 75% da frequência cardíaca de reserva em 1% (plano), 15% (inclinação) e -15% (declive) com avaliação da função neuromuscular antes e após o esforço e respostas da percepção subjetiva de esforço, sensação de dor muscular e prazer para o exercício. Foi observado que o aplane e declive reduziram e aumentaram a velocidade de corrida,

respectivamente, com reduções similares na produção de força isométrica e ativação voluntária máxima entre as condições. Assim, em uma intensidade moderada, a corrida em declive provocou maior fadiga muscular associada a maior percepção de esforço e dor muscular do que exercício com inclinação ou em terreno plano. Desta forma, os autores recomendam o monitoramento apropriado da intensidade do exercício durante exercícios de corrida em aclive e em declive tanto com fins de treinamento como de reabilitação locomotora, o que destaca ainda mais a relevância da proposta do presente projeto.

Em outro estudo, Padulo et al. (2013) compararam respostas fisiológicas e metabólicas a inclinações de corrida de 0%, 2% e 7% a 70% do $VO_2\text{max}$ em 18 corredores competitivos, foi verificado que o tempo de contato com o solo e a frequência de passadas é maior nas maiores inclinações em relação ao plano, evidenciando os ajustes biomecânicos e fisiológicos para manutenção da intensidade de exercício. Esses ajustes, inclusive, parecem provocar adaptações específicas com o treinamento sistemático.

Além disso, a corrida nivelada é uma marcha que normalmente exibe uma fase aérea clara, sem contato pé-solo, enquanto a corrida com inclinação não exibe uma fase aérea (GIOVANELLI et al., 2015; WHITING et al., 2020). Fazendo com que a corrida em subida represente um desafio, pois o centro de massa do corpo atinge o seu ponto mais baixo no início da fase de apoio (SNYDER et al., 2012).

3 METODOLOGIA

3.1 BASE FILOSÓFICA E TIPO DE ABORDAGEM

Fundamentado no problema da pesquisa e nas variáveis que serão analisadas e comparadas ($VO_2\text{max}$, FC, [Lac], velocidade, inclinação e frequência de passada), a base filosófica deste estudo está voltada ao positivismo, que supõem que a realidade existe independentemente dos sujeitos, sendo regido por leis imutáveis (REHMAN; ALHARTHI, 2016), e realizado por meio de uma abordagem quantitativa. Nesta abordagem, o objeto do conhecimento está “fora” do sujeito (GAYA, 2016). O intuito é revelar uma realidade tangível e singular, por meio de dados (VO_2 , FC e [Lac]) que se manifestam de forma direta sem que necessite de interpretações subjetivas. Os instrumentos de coleta de dados pretendem codificar esses dados por meio do processo de quantificação, para que possivelmente sejam realizados tratamentos estatísticos. Seu propósito final, portanto, é descrever, correlacionar e comparar os

resultados, para que esses resultados sejam inferidos para populações com características parecidas (GAYA, 2016).

3.2 PARTICIPANTES

Foram selecionados, por amostragem não probabilística e intencional, 13 corredores (9 homens e 4 mulheres) com média \pm DP de idade de $37,7 \pm 9,1$ anos, massa corporal de $67,1 \pm 7,8$ kg, estatura de $172,0 \pm 8,8$ cm e $VO_2\text{max}$ de $57,0 \pm 6,5$ ml/kg/min. Os voluntários atenderam aos seguintes critérios de inclusão: I - faixa etária entre 20 e 45 anos; II - praticantes de corrida de montanha por no mínimo 2 anos; III - volume semanal mínimo de 40 km de corrida; IV - realização de ao menos uma sessão de corrida em subidas por semana. Como critério de exclusão, foram excluídos aqueles acometidos por lesões musculoesqueléticas nos 60 dias que precederam o início das coletas de dados. Antes de iniciarem os procedimentos, os atletas foram esclarecidos sobre os objetivos da pesquisa e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE, devidamente aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

3.3 ASPECTOS ÉTICOS

O projeto foi enviado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina conforme o parecer n. 5.121.903. Foi entregue aos participantes do estudo o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) para que os mesmos pudessem estar cientes do objetivo da pesquisa e assinassem o documento concordando com sua participação.

3.4 INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Todos os testes foram realizados em esteira rolante motorizada (Imbramed Millenium Super ATL, Imbrasport, Porto Alegre, Brasil). A massa corporal foi medida através de uma balança com resolução de 0,1 kg (Soehnle, Alemanha) e a estatura foi medida utilizando um estadiômetro de parede (Sanny, São Paulo, Brasil).

As variáveis cardiorrespiratórias foram analisadas a cada respiração por equipamento analisador de gases (Quark CPET – Cosmed, Roma, Itália). Antes de cada teste, o analisador de gases foi calibrado com o ar ambiente e gases contendo 16% de oxigênio e 5% de dióxido

de carbono. O medidor de fluxo da turbina utilizado para a determinação da ventilação foi calibrado com uma seringa de 3 litros (COSMED, Roma, Itália).

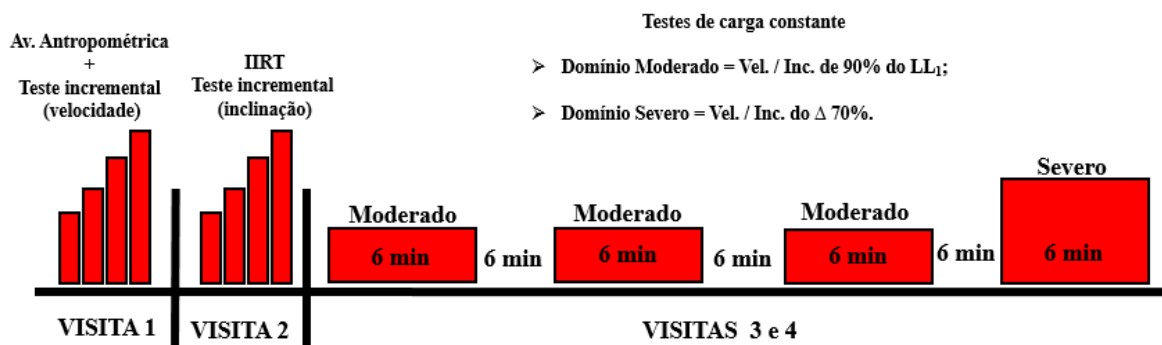
A FC foi mensurada por frequencímetro (Polar, Finlândia) acoplado ao equipamento. A percepção subjetiva de esforço (PSE) nos testes foi obtida utilizando a escala de Borg. Para a análise do lactato sanguíneo, foram coletadas amostras de 25 µl de sangue capilar do lóbulo da orelha utilizando um capilar heparinizado, imediatamente transferidas para microtubos de polietileno com tampa do tipo Eppendorff, contendo 50 µL de solução de fluoreto de sódio. A análise das concentrações de lactato sanguíneo foi realizada utilizando um analisador eletroquímico (YSI 2300 STAT, Yellow Spring, Ohio, EUA).

3.5 DELINEAMENTO DO ESTUDO

3.5.1 Procedimentos

Cada participante realizou 4 visitas ao laboratório. Na primeira visita, após avaliação da massa corporal e estatura, foi conduzido em esteira rolante motorizada um teste incremental com acréscimos de velocidade e inclinação fixa. Na segunda visita, foi realizado o teste incremental com aumento da inclinação e velocidade fixa. Os testes foram realizados até a exaustão voluntária. Nas duas visitas subsequentes foram conduzidos, em ordem aleatória, testes de velocidade constante com e sem inclinação nos domínios da intensidade moderado e severo. Foram realizadas quatro corridas com 6 min de duração por dia, com intervalo de 6 min de recuperação entre eles. As três primeiras foram em domínio moderado e a quarta corrida foi no domínio severo. Os testes foram precedidos por aquecimento padronizado.

Figura 2 – Representação do procedimento dos testes em cada visita ao laboratório



Fonte: Próprio autor.

Legenda: Avaliação Antropométrica = mensuração da massa corporal e estatura; Teste incremental = teste padrão com incrementos na velocidade; IIRT = teste de corrida com inclinação incremental; Vel./Inc. 90% LL₁ = velocidade ou inclinação correspondente a 90% do primeiro limiar de lactato; Vel./Inc. Δ 70% = velocidade ou inclinação correspondente a diferença de 70% LL₂ e o VO₂max.

As visitas foram realizadas com intervalo superior às 48 h entre cada teste e no mesmo horário do dia (± 2 h). Todos os participantes foram orientados a chegarem ao laboratório alimentados e hidratados. Também foi orientado aos participantes para evitarem exercício extenuante 24 h antes dos testes e o consumo de cafeína 2 h anterior aos testes.

3.5.2 Testes Incrementais

A velocidade inicial do teste incremental de velocidade progressiva foi de 7 km/h para nove participantes, 9 km/h para um participante e 10 km/h para três participantes. A velocidade inicial foi selecionada baseada nos relatos de cada atleta sobre seu desempenho em provas no plano. Foi adotado o início dos testes a 7 km/h para garantir a identificação do primeiro limiar de lactato naqueles atletas que não souberam informar seu desempenho. Durante os testes, ocorreram incrementos de velocidade de 1 km/h a cada 3 min, e inclinação fixa de 1%. A velocidade aeróbia máxima (VAM) foi considerada a velocidade final atingida (BENTLEY; NEWELL; BISHOP, 2007). O teste incremental de inclinação progressiva iniciou com inclinação de 1% e foram realizados incrementos de 2% a cada 3 min, a velocidade foi mantida fixa em 50% da velocidade pico (Vpico) obtida no teste incremental de velocidade progressiva durante todo o teste (DE LUCAS et al., 2021). Intervalos de 30 s entre cada estágio foram necessários para realizar a coleta de sangue e análise da [Lac]. Em ambos os testes, o VO₂max foi definido como a maior média móvel de 15 respirações, enquanto a FCmax foi o maior valor nos testes. O primeiro limiar de lactato foi identificado por inspeção visual da intensidade associada ao primeiro aumento das [Lac] acima dos valores de base (BENTLEY; NEWELL; BISHOP, 2007). Já o segundo limiar de lactato foi identificado por método Berg et al. (1990), que considera um valor de [Lac] de 1,5 mMol/L acima dos valores de linha de base (SOUZA et al., 2011).

3.5.3 Testes de Intensidade Constante

Nas duas visitas subsequentes, cada participante realizou oito testes de carga constante com 6 min de duração. Foram realizadas três transições no domínio moderado e uma transição

em intensidade do domínio severo por dia em cada condição (corrida com ou sem inclinação). Para determinar a ordem dos testes de transições com e sem inclinação foi realizado um sorteio no dia da realização do primeiro teste de carga constante. Cada transição foi precedida por 3 min de repouso, em posição em pé, com medidas de VO_2 para identificar a linha de base. Amostras de sangue capilar foram coletadas nos 20 s antes e após o término do exercício para determinação da [Lac]. A intensidade do domínio moderado foi correspondente a velocidade ou inclinação de 90% do primeiro limiar de lactato. A intensidade do domínio severo foi considerada a velocidade ou inclinação de Δ 70% que corresponde a 70% da diferença entre o segundo limiar de lactato e o $\text{VO}_{2\text{max}}$. O intervalo de recuperação entre transições no mesmo dia foi de 6 min.

Nenhum dos voluntários chegou a exaustão antes da conclusão dos 6 minutos de corrida das 8 transições de carga constante, tanto para o domínio de intensidade do exercício moderado, como para as transições realizadas no severo em ambas as condições de corrida, com e sem inclinação.

A análise da cinética do VO_2 seguiu os procedimentos metodológicos previamente publicados por Turnes et al. (2016). Inicialmente, em cada transição, a fim de excluir possíveis respirações errôneas ocasionadas por tosse, deglutição, suspiro, etc, a respirações errôneas foram consideradas apenas aquelas que apresentaram valores superiores à média local de 3 desvios padrões (DP), e então excluídos da análise. Os dados respiração a respiração foram interpolados linearmente para fornecer valores segundo a segundo, e, para cada indivíduo, repetições idênticas de cada intensidade foram alinhadas no tempo ao início do exercício e depois calculada a média do conjunto. Para essas análises foi utilizado o programa GRAPHPAD for Windows.

Além disso, os primeiros 20 s após o início do exercício foram excluídos, ou seja, a resposta da fase cardiodinâmica da cinética do VO_2 . Após isso, um algoritmo de mínimos quadrados não linear foi usado para ajustar os dados. Foi utilizado um modelo linear monoexponencial para analisar as respostas do VO_2 durante o exercício executado na intensidade do domínio moderado e severo, conforme descrito na equação a seguir:

$$\text{VO}_2(t) = \text{VO}_{2b} + \text{Ap} (1 - e^{-t-\text{TDP}/\tau_p}) \quad (\text{equação 1})$$

Onde $\text{VO}_2(t)$ representa o absoluto de VO_2 em um dado instante (t); VO_{2b} representa a média VO_2 nos 60 segundos finais do período basal; Ap, TDP e τ_p representam a amplitude, tempo de atraso e constante de tempo, respectivamente, descrevendo o aumento da fase II em

VO₂ acima da linha de base. Durante o exercício no domínio severo, a amplitude do componente lento do VO₂ também foi descrita como a diferença entre VO₂ do sexto e do terceiro minuto de exercício (Δ VO₂). Ainda, para fornecer informações da resposta geral da cinética do VO₂ no domínio severo, sem distinção feita para as várias fases da resposta durante o exercício de alta intensidade, o tempo médio de resposta (MRT) do VO₂ também foi ajustado por uma curva monoexponencial única sem atraso de tempo para os dados do início até os 120 segundos iniciais do exercício. O déficit de oxigênio foi estimado pela seguinte fórmula: Amplitude VO₂ x tau (POOLE; JONES, 2012). Por fim, o VO₂pico durante o exercício no domínio severo foi definido como a maior média móvel de 15 respirações.

3.5.4 Frequência de Passadas

A frequência de passadas foi obtida por meio de filmagem com duração de 23 segundos, feita por um telefone (iPhone X, Apple, EUA). A avaliação foi realizada durante as transições de carga constante de 6 min. Durante a transição do exercício realizado no domínio moderado, a coleta aconteceu no segundo minuto de teste. Durante a transição do exercício realizado no domínio severo, a coleta foi realizada no segundo minuto e no sexto minuto do teste. Posteriormente, foi realizada a contagem de passos utilizando o *software* KINOVEA versão 0.7.10. Foram desprezados os primeiros 3 segundos e realizada a contagem de passadas nos 20 segundos restantes, sendo este número multiplicado por 3, obtendo assim a frequência de passadas por minuto de cada domínio da intensidade.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi utilizada a estatística descritiva (média e desvio-padrão) para apresentação dos dados. Após a verificação da normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk, as comparações entre testes incrementais (velocidade *versus* inclinação) foram realizadas pelo teste t de *Student* para dados pareados. A associação entre variáveis foi verificada pelo coeficiente de correlação de Pearson. Sendo adotado nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Todas as análises foram realizadas no software R.comander 4.0.5 (Rcmdr) para Windows.

4 RESULTADOS

Quando comparado o número total de estágios completos durante a realização dos testes incrementais, foi observado que durante o teste no plano a quantidade de estágios para a conclusão do teste foi significativamente maior em relação ao teste com inclinação ($9,2 \pm 2,1$ vs. $7,9 \pm 0,8$; $p = 0,044$).

A tabela 2 mostra a intensidade máxima obtida ao final de cada um dos testes, a intensidade relativa em que foram obtidos o LL₁ e LL₂, bem como a comparação dos índices fisiológicos máximos e submáximos. Dentre as comparações realizadas, a FCmax foi significativamente menor no teste incremental com inclinação comparado ao teste no plano ($p = 0,031$; tabela 2). Em relação ao VO₂max, e a concentração de lactato ao final dos testes, não foram observadas diferenças entre as duas condições de corrida. Referente às comparações dos limiares fisiológicos, o LL₁ ($p = 0,014$) e o LL₂ ($p = 0,003$) foram significativamente maiores no teste incremental inclinado comparado ao teste incremental no plano ($p < 0,01$).

Tabela 2 - Comparação dos índices fisiológicos máximos e submáximos entre os testes incrementais.

Variáveis	Plano	Inclinado
Intensidade máxima (km/h ou %)	$16,3 \pm 1,8$	$15,9 \pm 0,9$
VO ₂ max (L/min)	$3,87 \pm 0,80$	$3,95 \pm 0,75$
FCmax (bpm)	184 ± 13	$180 \pm 10^*$
Lactato final (mMol/L)	$8,9 \pm 2,7$	$8,3 \pm 2,9$
LL ₁ (%VO ₂ max)	$69,3 \pm 6,2$	$74,3 \pm 3,8^*$
LL ₁ (km/h ou %)	$10,8 \pm 1,3$	$7,7 \pm 1,0$
LL ₂ (%VO ₂ max)	$85,5 \pm 4,8$	$89,6 \pm 4,2^*$
LL ₂ (km/h ou %)	$13,9 \pm 1,6$	$11,7 \pm 1,2$

Fonte: Elaborada pelo autor.

Legenda: LL₁: primeiro limiar de lactato. LL₂: segundo limiar de lactato.

* diferença significativa ($p < 0,05$).

Sobre a cinética do VO_2 no domínio moderado, os resultados estão apresentados na Tabela 3 e a Figura 3A demonstra a resposta da cinética do VO_2 para um sujeito representativo. Não foram observadas diferenças entre as condições no plano e na subida no VO_2 base ($p = 0,846$). Porém, o *time delay* ($p = 0,005$) e o *tau* ($p = 0,041$) foram significativamente mais lentos na condição inclinado em comparação ao plano. Ainda, a amplitude do VO_2 ($p = 0,005$) e o déficit de O_2 ($p = 0,011$) foram significativamente maiores no exercício realizado com inclinação comparado ao plano.

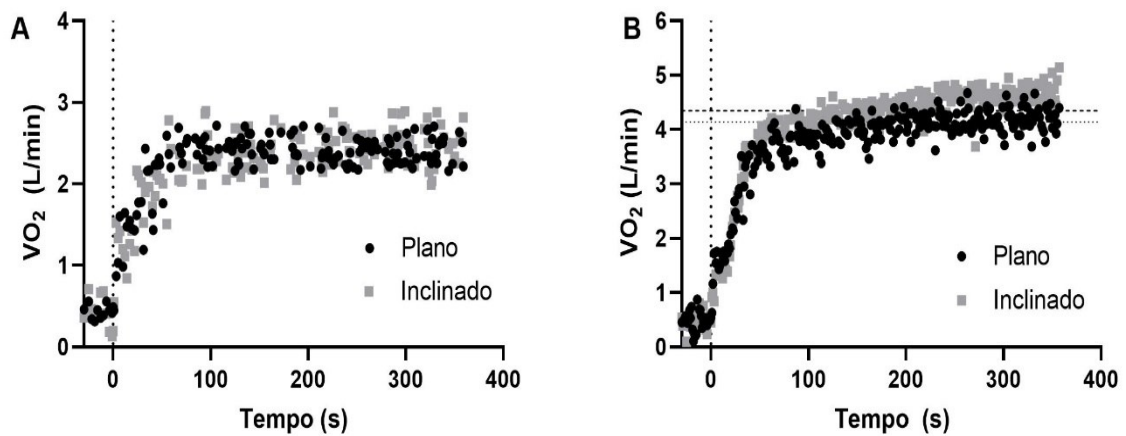
Tabela 3 - Média e desvio padrão dos parâmetros da cinética do VO_2 do domínio moderado nas corridas com e sem inclinação.

	Plano	Inclinado
VO_2 base (L.min)	$0,43 \pm 0,06$	$0,43 \pm 0,06$
Amplitude do VO_2 (L.min)	$2,04 \pm 0,53$	$2,37 \pm 0,50^*$
VO_2 final (L.min)	$2,47 \pm 0,56$	$2,80 \pm 0,54^*$
<i>Time delay</i> (s)	12 ± 4	$9 \pm 7^*$
<i>Tau</i> (s)	16 ± 5	$20 \pm 6^*$
Déficit de O_2 (ml.min)	33064 ± 12596	$48458 \pm 19226^*$

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Diferença significativa em relação ao teste realizado no plano ($p < 0,05$)

Figura 3 – Resposta da cinética do VO₂ do domínio moderado (A) e severo (B) nas corridas com e sem inclinação para um sujeito representativo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Legenda: = valor do VO₂max obtido no teste incremental; ---- = valor do VO₂pico alcançado no teste incremental carga constante.

Com relação a cinética do VO₂ do domínio severo, os dados estão apresentados na tabela 4 e a figura 3B demonstra a resposta da cinética do VO₂ para um sujeito representativo. Não foram observadas diferenças entre as condições no VO₂base ($p = 0,458$), na amplitude do VO₂ ($p = 0,069$), no *time delay* ($p = 0,726$), no *tau* ($p = 0,851$), na amplitude do componente lento do VO₂ ($p = 0,074$) e no déficit de O₂ ($p = 0,390$). Quando analisado apenas os 120 segundos iniciais do exercício no domínio severo, não foram observadas diferenças no MRT ($p = 0,197$) e no déficit de O₂ ($p = 0,102$). O VO₂pico foi significativamente maior no exercício inclinado comparado ao plano ($p = 0,037$). Porém, o VO₂pico atingido no domínio severo no plano ($p = 0,117$) e no inclinado ($p = 0,273$) não foi diferente do VO₂max no respectivo teste incremental, indicando o alcance do VO₂max em ambas situações.

Tabela 4 - Média e desvio padrão dos parâmetros da cinética do VO₂ do domínio severo nas corridas com e sem inclinação.

	Plano	Inclinado
VO ₂ base (L.min)	0,47 ± 0,08	0,45 ± 0,08
Amplitude do VO ₂ (L.min)	2,91 ± 0,74	3,14 ± 0,80
VO ₂ final (L.min)	3,38 ± 0,76	3,59 ± 0,82
<i>Time delay</i> (s)	7 ± 6	8 ± 5
<i>Tau</i> (s)	29 ± 11	29 ± 10
Amplitude do CL do VO ₂ (L.min)	0,28 ± 0,14	0,15 ± 0,10
VO ₂ pico (L.min)	3,65 ± 0,78	3,86 ± 0,81*
Déficit de O ₂ (.min)	87760 ± 48210	94205 ± 44074
MRT 120-s (s)	17 ± 6	20 ± 8
Déficit de O ₂ 120-s (ml.min)	47971 ± 19156	63752 ± 34936

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Diferença significativa em relação ao teste realizado no plano ($p < 0,05$)

As comparações da [Lac] nos testes de carga constante no domínio moderado e severo estão representadas na tabela 5. Referente ao domínio moderado, não houve diferença significativa nos momentos pré-exercício entre as condições com ou sem inclinação ($p = 0,110$). No momento pós-exercício, as concentrações de lactato sanguíneo foram maiores no teste inclinado comparado ao plano ($p = 0,0001$). No domínio severo, as concentrações de lactato sanguíneo foram maiores no momento pré-exercício ($p = 0,003$) e pós-exercício ($p = 0,015$) na condição inclinado comparado ao plano.

Com relação às alterações nas concentrações de lactato sanguíneo do início para o fim do exercício, houve aumento significativo após o exercício no domínio moderado na condição

inclinado ($p = 0,009$), sem alterações durante o exercício no plano ($p = 0,96$). No domínio severo, houve aumento significativo após o exercício para condição plano ($p < 0,001$) e inclinado ($p < 0,001$). O delta do lactato sanguíneo (pós - pré exercício) foi maior no teste realizado com inclinação comparado ao plano ($p = 0,048$) apenas no domínio moderado, sem diferenças no domínio severo ($p = 0,122$).

Tabela 5 - Média e desvio padrão das concentrações de lactato sanguíneo nos domínios moderado e severo.

	Plano	Inclinado
Moderado		
Lactato pré (mmol/L)	1,38 ± 0,33	1,23 ± 0,30
Lactato pós (mmol/L)	1,24 ± 0,54	1,96 ± 0,65* [#]
Delta lactato (pós – pré; mmol/L)	0,11 ± 0,54	0,58 ± 0,64*
Severo		
Lactato pré (mmol/L)	1,15 ± 0,36	1,57 ± 0,54*
Lactato pós (mmol/L)	5,41 ± 1,27 [#]	6,55 ± 1,65* [#]
Delta lactato (pós – pré; mmol/L)	4,26 ± 1,13	4,98 ± 1,69

Fonte: Elaborada pelo autor.

* Diferença significativa em relação ao teste realizado no plano ($p < 0,05$);

[#] Diferença significativa em relação ao pré-teste realizado na mesma condição ($p < 0,05$).

Durante a análise da FC, não foram observadas diferenças significativas entre a corrida no plano e na subida, tanto para o domínio moderado (Plano: 137 ± 10 ; Inclinado: 146 ± 11 bpm; $p = 0,078$), quanto para o domínio severo (Plano: 171 ± 8 ; Inclinado: 175 ± 7 bpm; $p = 0,071$). Digno de nota que esta análise incluiu apenas 8 participantes ($n = 8$), devido a problemas na extração dos dados do monitor de FC.

As comparações da frequência de passada durante os testes de carga constante nos domínios de intensidade moderado e severo no plano e com inclinação estão apresentadas na Tabela 6. Quando comparado os dois testes, foi observado que durante a corrida com inclinação ocorreu uma diminuição da frequência de passada em comparação com o plano no domínio moderado ($p = 0,029$). No domínio severo a frequência de passada foi maior durante a corrida no plano tanto no segundo ($p = 0,0003$) quanto no sexto minuto ($p = 0,0002$) de exercício comparado ao inclinado. Quando realizado a comparação da frequência de passada entre o domínio severo e moderado nas duas condições de corrida, foi observado que no domínio

severo a frequência de passada foi maior em comparação com o moderado na mesma condição de exercício (Plano: $p < 0,001$; Inclinado: $p = 0,035$).

Referente a percepção subjetiva de esforço, não apresentou diferença entre a corrida no plano e na subida, tanto para o domínio moderado (Plano: 10 ± 2 ; Inclinado: 12 ± 2 u.a.; $p = 0,087$), quanto para o domínio severo (Plano: 16 ± 2 ; Inclinado: 17 ± 2 u.a.; $p = 0,154$).

Tabela 6 - Comparação da frequência de passadas nos domínios moderado e severo.

Variáveis	Plano	Inclinado
Moderado (passos/min)	178 ± 7	$175 \pm 7^*$
Severo 2° min (passos/min)	$187 \pm 9^\#$	$177 \pm 8^*$
Severo 6° min (passos/min)	$189 \pm 9^\#$	$177 \pm 7^{*\#}$

Fonte: Elaborada pelo autor.

*diferença significativa comparado ao mesmo momento no plano ($p < 0,05$).

$^\#$ diferença significativa comparado ao moderado na mesma condição ($p < 0,05$).

5 DISCUSSÃO

O objetivo principal deste estudo foi analisar as respostas cardiorrespiratórias, metabólicas e neuromusculares entre dois tipos diferentes de corrida, a corrida no plano e com subida, nos domínios de intensidade do exercício moderado e severo. Devido às diferenças biomecânicas, neuromusculares e fisiológicas inerentes à corrida com inclinação e no plano, estudos prévios formularam a hipótese que a cinética do VO_2 seria afetada pela inclinação do exercício. No entanto, investigações que realizassem a comparação no mesmo domínio de intensidade do exercício ainda não haviam sido realizadas. A partir disso, nossa principal hipótese foi de que quando as corridas fossem equalizadas pelo mesmo domínio de intensidade, moderado e severo, não haveria diferenças para corrida no plano e com inclinação nas variáveis fisiológicas e metabólicas, indicando que os dois tipos de corrida estavam sendo executados no mesmo domínio de intensidade. A novidade do nosso estudo foi comparar a resposta da cinética do VO_2 pulmonar durante exercício realizado com inclinação e no plano no mesmo domínio fisiológico a fim de permitir uma comparação “justa” destes parâmetros. Desta forma, quando equalizados, e contrariando a hipótese inicial, a cinética do VO_2 no domínio moderado foi afetada pela inclinação de corrida, apresentando uma resposta mais lenta durante o teste inclinado, com maiores $[\text{Lac}]$, VO_2 e menor frequência de passadas. Por outro lado, confirmando parcialmente a hipótese inicial, durante o exercício no domínio severo, não foram observadas alterações na cinética do VO_2 apesar de maiores valores de $[\text{Lac}]$ e menor frequência de passadas.

Pringle et al. (2002) realizaram um dos únicos estudos que compararam a cinética do VO_2 em corrida realizadas no plano e em subida. Os autores conduziram dois testes incrementais (plano = 0%, inclinado = 10%) com incrementos de velocidade. Com isso, a cinética do VO_2 foi analisada nos domínios moderado e pesado. Os autores sugeriram que a cinética de VO_2 poderia ser influenciada por diferenças nas ações musculares predominantes durante as corridas com e sem inclinação (i.e. concêntrica e excêntrica). Diferentemente do nosso estudo, foi encontrada uma menor amplitude do componente lento do VO_2 no domínio pesado sem inclinação, sugerindo assim que uma maior predominância muscular excêntrica pode ter sido o principal fator do aumento da eficiência metabólica, fazendo com que não houvesse a necessidade de um recrutamento adicional de fibras para realização do exercício neste domínio. Já durante o domínio de intensidade moderado, a condição de corrida não apresentou diferenças entre os parâmetros temporais e de amplitude do VO_2 . Os resultados

mostraram estar em acordo com estudos prévios, em que a cinética do VO_2 pareceu não ser alterada pela inclinação de corrida, sendo ela executada ou não no mesmo domínio fisiológico.

Sobre a cinética do VO_2 no domínio moderado, nossos resultados para o *tau* contrariam os achados de Willis et al (2019), que não encontraram diferenças significativas para este parâmetro da cinética de VO_2 . Quanto ao resultados encontrados para o *time delay* nossos resultados estão de acordo com os resultados obtidos por eles, onde também foi reportado que o *time delay* foi mais lento para a corrida realizada com inclinação ($p < 0,05$), nossos resultados para a FC estão de acordo com os resultados encontrados por Willis et al. (2019) (plano: 143 ± 7 bpm, inclinado: 159 ± 5 bpm), apesar da FC ser maior para a condição de corrida com inclinação em comparação com o plano, quando analisado estatisticamente, não apresentou diferenças entre os tipos de corrida, tanto para o domínio moderado (Plano: 137 ± 10 ; Inclinado: 146 ± 11 bpm), quanto para o domínio severo (Plano: 171 ± 8 ; Inclinado: 175 ± 7 bpm). Uma justificativa dos autores para os resultados obtidos nos dois tipos de corrida foi de que devido aos corredores serem altamente treinados em corridas de montanhas e realizarem seus treinos predominantemente em terrenos com vários aclives, acabou por contribuir para os achados do estudo, vale ressaltar que o estudo foi realizado com 12 ultramaratonistas de elite. Partindo desse pressuposto, os avaliados do nosso estudo foram atletas que tinham experiência de no mínimo 2 anos em corrida em montanha, o que pode ter auxiliado para as diferenças encontradas em alguns parâmetros da cinética do VO_2 .

Sabe-se que o τVO_2 é afetado pelo estado de treinamento, idade ou doença crônica, podendo ser até 10x mais rápido para atletas de resistência de elite ($\tau = 12$ s), tornando-se mais lento em pacientes idosos com doença pulmonar obstrutiva crônica ($\tau = 120$ s) (ROSSITER, 2010; POOLE; JONES, 2012; GOULDING et al., 2021). Os resultados encontrados durante os testes demonstraram que além de ser influenciado pelo estado de treinamento, idade ou doença crônica, na condição de exercício executado na intensidade moderada o τVO_2 também sofre influência do tipo corrida (plano = 16 ± 5 vs. inclinado 20 ± 6 s), sendo mais lento para a corrida realizado com inclinação. Já durante corridas executadas no domínio de intensidade severo, os resultados mostraram que o tipo de corrida não influencia na τVO_2 (plano = 29 ± 11 vs. inclinado 29 ± 10 s).

A análise da resposta da cinética do VO_2 permite quantificar o déficit no fornecimento de energia, que é atendido por uma redução nos estoques de oxigênio (usado para fosforilação oxidativa) e fosforilação em nível de substrato (quebra de fosfocreatina - PCr e glicólise/glicogenólise formando lactato), um fenômeno denominado de déficit O_2 . O déficit de O_2 para produção de energia é influenciado principalmente por τVO_2 , em que aqueles atletas

com uma resposta mais rápida da cinética do VO_2 alcançarão a mesma saída de potência/velocidade em estado estacionário com um menor déficit de O_2 do que atletas com uma resposta mais lenta (GOULDING et al., 2021). Nossos resultados reforçam essa suposição pois o déficit de O_2 foi influenciado pelo τVO_2 principalmente na corrida executada no domínio moderado, sendo estatisticamente maior para a condição inclinada em comparação ao plano na mesma intensidade. Analisar o déficit de O_2 é importante, pois é um componente associado à resposta ao exercício, já que evita perturbações rápidas, excessivas ou mesmo crônicas em vários sistemas envolvidos no apoio ao fornecimento de energia. Assim, a cinética rápida do consumo de oxigênio muscular requer forte ativação paralela das vias de consumo e produção de ATP, alta atividade enzimática oxidativa e entrega mitocondrial suficiente de ADP regulada pela reação da creatina quinase (KORZENIEWSKI; ROSSITER, 2015; GOULDING et al., 2021; GLANCY et al., 2013; GRASSI et al., 2011).

Na mesma linha dos nossos achados para as corridas realizadas no moderado, Olesen (1992) demonstrou maior déficit de O_2 conforme aumento da inclinação da corrida, quando analisadas inclinações variando entre 1% e 20%. Já nossos resultados de déficit de O_2 para as corridas realizados no domínio de intensidade severo não demonstram diferenças significativas entre os tipos de corrida. Embora o mecanismo envolvido nesse fenômeno ainda é incerto, pode ser atribuído ao maior envolvimento da massa muscular e/ou uma menor extração periférica de O_2 (desencadeada pelo menor fluxo sanguíneo). No geral, o déficit de O_2 é incapaz de explicar as limitações no desempenho do exercício, isso ocorre na maioria das vezes porque o déficit de O_2 só é calculado de forma confiável para a produção de energia que atinge um estado estável ou que atinge de forma rápida o $\text{VO}_{2\text{max}}$. Pois durante as intensidades que resultam em uma maior acidose metabólica (domínios pesado e severo), o cálculo pode ser influenciado pelo aparecimento do componente lento de O_2 , resultando em um déficit de O_2 maior do que o previsto para os exercícios executados na intensidade moderada (OZYENER et al., 2003; CANNON et al., 2011; GOULDING et al., 2021). Sendo assim, para as transições de corridas realizadas no domínio severo, realizamos o cálculo do déficit de O_2 de duas formas, uma utilizando o período total de exercício, e outra utilizando apenas os primeiros 120 s de exercícios, tanto no plano quanto no inclinado, pois a literatura demonstra que esse é o período que antecede o aparecimento do componente lento. Além do déficit de O_2 , foi utilizado apenas os 120 segundos iniciais do exercício no domínio severo para a análise do MRT, nos quais também não foram observadas diferenças entre os dois tipos de corrida. Juntos, os resultados demonstram que a cinética do VO_2 e conseqüentemente o déficit de O_2 não foram afetados pelo grau de inclinação durante o exercício realizado no domínio severo.

Quanto aos resultados encontrados nas concentrações de lactato sanguíneo, para o domínio moderado, durante o pré-exercício não foram observadas diferenças entre as condições de corrida, mas foram maiores ao final do exercício para a condição de corrida realizada com inclinação. Exercícios com ações musculares predominantemente concêntricas, como a corrida com inclinação, faz com que ocorram mudanças fisiológicas e metabólicas ocasionadas por uma maior tensão muscular e aumento da massa muscular ativa, o que pode afetar a eficiência da “bomba” muscular (LAUGHLIN, SCHRAGE, 1999). Prejudicando o retorno venoso e reduzindo a eficiência da remoção de metabólitos (lactato) durante a execução do exercício, contribuindo para maior acumulação de lactato. No domínio severo, as concentrações de lactato sanguíneo foram maiores no momento pré-exercício e pós-exercício na condição inclinado comparado ao plano. Uma justificativa para a maior concentração de lactato no início do exercício para esta condição pode ter sido a recuperação de 6 minutos insuficiente para a remoção dos metabólitos presentes ao final do exercício anterior. Foi observado, que mesmo sendo equalizado os domínios fisiológicos, a corrida realizada com inclinação mostrou que a acumulação das concentrações de lactato sanguíneo, verificada pelo delta lactato, bem como os valores pós exercício moderado e severo, foram maiores. Esses achados corroboram com a hipótese levantada.

Digno de nota que nosso estudo realizou a avaliação eletromiográfica dos músculos vasto lateral e sóleo, porém devido a problemas técnicos nos canais (cabos), os dados foram afetados e impossibilitaram as análises para essa variável biomecânica. Os resultados obtidos na frequência de passada durante as corridas com inclinação e no plano nos testes de carga constates vão contra aos encontrados na literatura (VERNILLO et al., 2020; PADULO et al., 2013), em que no presente estudo a frequência de passadas foi mais rápida durante as corridas no plano. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Willis et al. (2019), que utilizaram dois testes de cargas constantes com duração de 5 minutos para cada condição de corrida no plano e na subida na intensidade moderada. Os autores observaram diferenças significativas na frequência de passada ($p < 0,001$) sendo menor na corrida com inclinação (88 ± 1 passos/min) em comparação com a corrida no plano (90 ± 2 passos/min). No entanto, vale ressaltar que Willis et al. (2019) compararam a frequência de passadas no domínio moderado, porém com intensidades diferentes entre o plano (13 e 15 km/h) e inclinado (9 e 10 km/h), o que pode ter impossibilitado uma comparação justa entre domínios, tendo em vista a diferença no VO_2 pico atingido entre os testes (plano: $48,9 \pm 6,7$; inclinado: $60,0 \pm 6,9$ ml/kg/min). Ainda, o VO_2 max dos sujeitos não foi determinado, pois foram realizadas apenas uma transição de 5 minutos em cada intensidade, sem teste incremental.

As corridas em subidas são caracterizadas por frequências de passada mais rápidas em comparação com a corrida nivelada. Giovanelli et al. (2015) verificaram que a frequência da passada era, em média, cerca de 28% mais rápida na corrida em comparação com a caminhada na mesma velocidade. Em um outro estudo realizado por Whiting et al. (2020) com 10 corredores de montanha competitivos de alto nível, a frequência de passada entre a caminhada e a corrida foi comparada na mesma velocidade (3,6 km/h) tanto no plano quanto com inclinação, observando-se que frequência da passada durante a corrida foi 40% mais rápida do que na caminhada ($p < 0,001$). As frequências de passada das condições de corrida em subidas, planas e íngremes não foram estatisticamente diferentes ($p = 0,30$). No entanto, a frequência da passada durante a subida da inclinação de 30° foi 15% mais rápida do que a caminhada nivelada ($p < 0,001$). Mas, a corrida em subidas íngremes exibiu uma frequência de passada 40% mais rápida e um tempo de contato 40% mais curto em comparação com a caminhada em subidas íngremes. Como as velocidades foram combinadas para as duas marchas, as frequências de passada mais rápidas se traduzem em comprimentos de passada mais curtos para corrida, porque a velocidade é igual ao produto da frequência da passada e do comprimento da passada. Em segundo lugar, para corridas em subidas íngremes, a frequência da passada será mais rápida, quando executado na mesma velocidade de corrida. Uma possível resposta para os resultados encontrados em nosso estudo é de que, por mais que as duas corridas estivessem na mesma intensidade (moderado ou severo), a velocidade em que elas foram executadas diferiu entre uma corrida e outra. Na corrida no plano a velocidade em que o exercício foi executado foi mais elevada em comparação a corrida com inclinação, fazendo com que ocorresse uma frequência de passada superior para a corrida no plano em comparação a corrida com inclinação. Novos estudos envolvendo a análise do comprimento da passada juntamente com a frequência, em cada condição de corrida auxiliará a responder a questões como essa.

Para que fosse possível equalizar as intensidades dos testes de carga constante, foi utilizado dois testes incrementais, baseados nos protocolos propostos por De Lucas et al. (2021). Mesmo não sendo o foco principal do nosso estudo os resultados obtidos nestes testes apresentam informações importantes. Em relação ao $VO_2\text{max}$, nossos resultados apresentam estar de acordo com outros estudos (DE LUCAS et al., 2021; BALDUCCI et al., 2016; LEMIRE et al., 2019). De Lucas et al. (2021) reportaram valores menores da FCmax (Inclinado = 178 ± 9 bpm, plano = 183 ± 9 bpm) durante o teste com inclinação em comparação com o plano ($p < 0,001$). Nossos resultados reforçam esses dados, em que a FCmax foi menor para o teste incremental realizado com incrementos na inclinação. É possível que a FCmax durante o teste incremental com inclinação (IIRT) por ter sido mantido a velocidade fixa tenha provocado

por um aumento no retorno venoso, resultando num maior volume sistólico, mesmo com o VO_2max similar entre os testes (SMITH et al., 1976; DE LUCAS et al., 2021), diferentemente do que outros estudos reportam, onde o retorno venoso pode ser prejudicado devido ao grau de inclinação.

5.1 LIMITAÇÕES E APLICAÇÕES PRÁTICAS DO ESTUDO

Convém destacar, que nosso estudo apresentou algumas limitações. Uma delas foi justamente na análise da eletromiografia (EMG), que devido a uma falha nos cabos receptores dos sinais durante as coletas, detectada *a posteriori*, impossibilitou a inclusão da medida no trabalho. Essa falta de análise da EMG limitou a análise das variáveis biomecânicas. Sabe-se que a utilização da eletromiografia poderia fornecer informações mais precisas sobre o recrutamento de fibras, contribuindo na interpretação dos dados da cinética do VO_2 , bem como da amplitude do componente lento durante o exercício executado no domínio severo. Tratando-se da cinética do VO_2 , outra limitação encontrada foi nas transições das corridas executadas no domínio de intensidade severo. Nosso protocolo utilizou apenas uma transição para a análise da cinética do VO_2 , tanto no plano quanto com inclinação. Embora seja possível realizar tal análise, que não deve ter impactado nos resultados pela intensidade do exercício, um número maior de transições poderia aumentar a confiabilidade dos resultados. Como a transição do domínio severo foi realizada no mesmo dia das transições do moderado, o tempo de recuperação de 6 minutos entre os testes proposto em nosso estudo pode ter sido insuficiente para a corrida com inclinação, prejudicando a remoção dos metabólitos (lactato) presentes ao final do teste anterior. Por fim, nosso estudo apresentou uma limitação na análise da FC dos sujeitos, limitado a apenas oito corredores devido a problemas técnicos, prejudicando assim a apresentação dos resultados de forma mais precisa.

Mesmo diante das limitações mencionadas, os resultados do presente estudo demonstram informações importantes sobre a influência ou não da inclinação nas respostas fisiológicas e biomecânicas durante exercícios executados em dois domínios diferentes. Apesar de que algumas explicações não tenham sido completamente respondidas para as diferenças fisiológicas, o VO_2 final encontrado durante a corrida realizada no domínio de intensidade moderado foi maior no inclinado versus o plano, em que uma maior intensidade pode levar a cinética do VO_2 mais rápida. Isso questiona se a cinética do VO_2 diferente no domínio moderado foi devido a inclinação da esteira ou a uma maior demanda metabólica durante o exercício no plano. Sendo assim, futuros estudos sobre a cinética do VO_2 poderiam pensar em

estratégias na utilização desta abordagem e superação das limitações apresentadas, a fim de tentarem explicar e responder algumas das questões que não foram totalmente respondidas nos resultados encontrados durante os testes realizados no presente estudo.

Entre as principais aplicações práticas, o presente estudo corrobora com os resultados encontrados na literatura sobre o tema, com protocolos semelhantes ou não ao utilizado por nós (PRINGLE et al., 2002; WILLIS et al., 2019; LEMIRE et al., 2021; DE LUCAS et al., 2021). Nosso estudo buscou principalmente superar as limitações encontradas em outros estudos, como equalizar as intensidades das corridas para serem realizadas no mesmo domínio. Outra aplicação prática refere-se à utilização do estudo como uma referência no auxílio para a aplicação da prescrição de treinamentos para pessoas envolvidas em corrida de montanha, devido a um melhor entendimento das respostas fisiológicas presentes na corrida com inclinação. No que se refere aos limiares de lactato, estes foram obtidos em % VO_2max maiores do maiores no exercício inclinado versus plano, podendo assim afetar a prescrição do treino, a depender do objetivo. Por fim, a presente pesquisa busca dar início a exploração das respostas biomecânicas, fisiológicas e de cinética do VO_2 durante testes de cargas constantes envolvendo a corrida com e sem inclinação. Ainda, busca instigar que sejam realizadas mais pesquisas envolvendo os protocolos similares aos utilizados em nosso estudo.

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados encontrados, pode-se concluir que os parâmetros *tau*, *time delay*, amplitude do VO_2 , concentração de lactato e déficit de O_2 durante o exercício realizado no domínio de intensidade moderado sofrem influência da corrida realizada com inclinação. Já no domínio de intensidade severo, o tipo de corrida não influencia os parâmetros da cinética do VO_2 , nem o déficit de O_2 , mas as concentrações de lactato e o $\text{VO}_{2\text{pico}}$ mostraram que a inclinação afeta estes parâmetros. Outro fator influenciado pelo tipo de corrida em ambos os domínios de intensidade do exercício moderado e severo foi a frequência de passada, sendo maior quando a corrida realizada é no plano em relação ao inclinado.

REFERÊNCIAS

- ABE, D. et al. Changes in EMG characteristics and metabolic energy cost during 90-min prolonged running. **Gait and Posture**, v. 26, n. 4, p. 607–610, 2007.
- BAILEY, S. . et al. Influence of repeated sprint training on pulmonary O₂ uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 106, n. 6, p. 1875–1887, 2009.
- BALDUCCI, P. et al. Comparison of level and graded treadmill tests to evaluate endurance mountain runners. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 15, n. 2, p. 239–246, 2016.
- BALDUCCI, P. et al. Performance factors in a mountain ultramarathon. **International Journal of Sports Medicine**, v. 38, n. 11, p. 819–826, 2017.
- BARNES, K. R. et al. Effects of different uphill interval-training programs on running economy and performance. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 8, n. 6, p. 639–647, 2013.
- BARNES, K. R.; KILDING, A. E. Running economy: measurement, norms, and determining factors. **Sports Medicine - Open**, v. 1, n. 1, p. 1–15, 2015.
- BARSTOW, T. J.; MOLE, P. A. Linear and nonlinear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 71, n. 6, p. 2099–2106, 1991.
- BENTLEY, D. J.; NEWELL, J.; BISHOP, D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. **Sports Medicine**, v. 37, n. 7, p. 575–586, 2007.
- BILLAT, V. et al. Times to exhaustion at 90, 100 and 105% of velocity at vo₂max (maximan aerobic speed) and critical speed in elite long distance runners. **Archives of Physiology and Biochemistry**, v. 103, n. 2, p. 129–135, 1995.
- BILLAT, V. L. et al. The concept of maximal lactate steady state: A bridge between biochemistry, physiology and sport science. **Sports Medicine**, v. 33, n. 6, p. 407–426, 2003.
- BRICKLEY, G.; DOUST, J.; WILLIAMS, C. . Physiological responses during of applied physiology. **European Journal of Applied Physiology**, v. 88, n. 1–2, p. 146–151, 2002.
- BURFOOT, A. The history of the marathon. **Sports Med**, v. 37, n. 4–5, p. 284–287, 2007.
- BURNLEY, M.; JONES, A. M. Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. **European Journal of Sport Science**, v. 7, n. 2, p. 63–79, 2007.
- CANNON, D. T.; WHITE, A.C.; ANDRIANO, M.F.; KOLKHORST, F.W.; ROSSITER, H.B. Skeletal muscle fatigue precedes the slow component of oxygen uptake kinetics during exercise in humans. **J Physiol (Lond)**, 2 1, 589 (Pt 3), p. 727–39, 2011.
- CAPUTO, F. **Determinação da maior intensidade de esforço onde o consumo máximo de oxigênio é atingido durante o ciclismo: influência do estado e especificidade do**

treinamento aeróbio. Universidade Estadual Paulista, 2006.

CAPUTO, F. et al. Exercício aeróbio: Aspectos bioenergéticos, ajustes fisiológicos, fadiga e índices de desempenho. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v. 11, n. 1, p. 94–102, 2009.

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

CARITÁ, A. R.; GRECO, C.; FILHO, D. M. Cinética VO_2 do durante o exercício realizado na potência crítica em ciclistas e indivíduos não-treinados no ciclismo. **Motriz**, v. 19, n. 2, p. 412–422, 2013.

CARITÁ, R. A. et al. Componente lento da cinética do VO_2 : Determinantes fisiológicos e implicações para o desempenho em exercícios aeróbios. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v. 16, n. 2, p. 233–246, 2014.

DE LUCAS, R.; DENADAI, B.; GRECO, C. Respostas fisiológicas durante o exercício contínuo e intermitente: implicações para a avaliação e a prescrição do treinamento aeróbio. **Motriz. Journal of Physical Education. UNESP**, v. 15, n. 4, p. 810–820, 2009.

DE LUCAS, R. D. et al. A novel treadmill protocol for uphill running assessment: the incline incremental running test (IIRT). **Research in Sports Medicine**, v. 28, n. 04, p. 1–12, 2021.

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

DIMITROVA, N.; DIMITROV, G. V. Amplitude-related characteristics of motor unit and M-wave potentials during fatigue. A simulation study using literature data on intracellular potential changes found in vitro. **Journal Electromyogr Kinesiol**, v. 12, n. 5, p. 339–349, 2002.

FLECKENSTEIN, D. et al. Effect of Uphill Running on VO_2 , Heart Rate and Lactate Accumulation on Lower Body Positive Pressure Treadmills. **Sports**, v. 9, n. 4, p. 1–9, 2021.

FRAGA, C. H. W. et al. Comparação das variáveis eletromiográficas e cinemáticas entre uma corrida do “triathlon” e uma corrida prolongada. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 27, n. 2, p. 179–186, 2013.

GAESSER, G.; POOLE, D. The Slow Component of Oxygen Uptake Kinetics in Humans. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 24, n. 1, p. 35, 1996.

GARNIER, Y. et al. Neuromuscular and perceptual responses to moderate-intensity incline, level and decline treadmill exercise. **European Journal of Applied Physiology**, n. 118, p. 2040–2053, 2018.

GAYA, A. **Projetos de Pesquisa Científica e Pedagógica.** Belo Horizonte: Casa da Educação Física, 2016.

GIOVANELLI, N.; ORTIZ, A.L.R.; HENNINGER, K.; KRAM, R. Energetics of vertical kilometer foot races; is steeper cheaper. **J. Appl. Physiol**, v. 120, p. 370–375, 2015.

GOULDING, R.P.; ROSSITER, H.B.; MARWOOD, S.; FERGUSON, C. Bioenergetic mechanisms linking $\dot{V}O_2$ kinetics and exercise tolerance. **Exerc Sport Sci**. October 01; 49(4): 274–283, 2021. doi:10.1249/JES.0000000000000267.

GOTTSCHALL, J. S.; KRAM, R. Ground reaction forces during downhill and uphill running. **Journal of Biomechanics**, v. 38, n. 3, p. 445–452, 2005.

GLANCY, B.; WILLIS, W. T.; CHESS, D.J.; BALABAN, R. S. Effect of calcium on the oxidative phosphorylation cascade in skeletal muscle mitochondria. **Biochemistry**. 4 23;52 (16):2793–809, 2013.

GRASSI, B; ROSSITER, H. B. et al. Faster O_2 uptake kinetics in canine skeletal muscle in situ after acute creatine kinase inhibition. **J. Physiol.**, (Pt 1), p. 221–33, 2011.

HECK, H. et al. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. **International Journal of Sports Medicine**, v. 6, n. 3, p. 117–130, 1985.

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

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

IAAF; WA; CBAT. **Regras de Competição e Regras Técnicas da World Athletics - Edição 2020**. São Paulo, 2020.

JONES, A. M. et al. Slow component of $\dot{V}O_2$ kinetics: Mechanistic bases and practical applications. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 43, n. 11, p. 2046–2062, 2011.

JONES, A. M.; BURNLEY, M. Oxygen uptake kinetics: An underappreciated determinant of exercise performance. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 4, n. 4, p. 524–532, 2009.

JONES, A. M.; DOUST, J. H. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. **Journal of Sports Sciences**, v. 14, n. 4, p. 321–327, 1996.

JONES, A. M.; VANHATALO, A. The ‘Critical Power’ concept: applications to sports performance with a focus on intermittent high-intensity exercise. **Sports Medicine**, v. 47, n. 1, p. 65–78, 2017.

KORZENIEWSKI, B.; ROSSITER, H. B. Each-step activation of oxidative phosphorylation is necessary to explain muscle metabolic kinetic responses to exercise and recovery in humans. **J Physiol.**, 12 15, 593(24), p. 5255–68, 2015.

- LAUGHLIN, M.; SCHRAGE, W. Effects of muscle contraction on skeletal muscle blood flow: when is there a muscle pump? **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 31, n. 7, p. 1027–1035, 1999.
- LEMIRE, M. et al. Cardiorespiratory Responses to Downhill Versus Uphill Running in Endurance Athletes. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 89, n. 4, p. 511–517, 2018.
- LEMIRE, M. et al. Trail Runners Cannot Reach VO₂max during a Maximal Incremental Downhill Test. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 52, n. 5, p. 1135–1143, 2020.
- LEMIRE, M. et al. Physiological factors determining downhill vs uphill running endurance performance. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 24, n. 1, p. 85–91, 2021.
- MARTÍN-FUENTES, I.; OLIVA-LOZANO, J.; MUYOR, J. Electromyographic activity in deadlift exercise and its variants. A systematic review. **Plos One**, v. 15, n. 2, p. 1–18, 2020.
- MILLET, G. P.; MILLET, G. Y. Ultramarathon is an outstanding model for the study of adaptive responses to extreme load and stress. **BMC Medicine**, v. 10, p. 7–9, 2012.
- MORITANI, T.; MURO, M.; NAGATA, A. Intramuscular and surface electromyogram changes during muscle fatigue. **Journal of Applied Physiology**, v. 60, n. 4, p. 1179–1185, 1986.
- OLESEN, H.L. Accumulated oxygen deficit increases with inclination of uphill running. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 73, no. 3, p.1130-1134, 1992.
- OZYENER, F. et al. Negative accumulated oxygen deficit during heavy and very heavy intensity cycle ergometry in humans. **European Journal of Applied Physiology**, Berlin, v. 90, no. 1-2, p. 185-190, 2003.
- PAAVOLAINEN, L.; NUMMELA, A.; RUSKO, H. Muscle power factors and VO₂max as determinants of horizontal and uphill running performance. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**, v. 10, n. 5, p. 286–291, 2000.
- PADULO, J. et al. Uphill running at iso-efficiency speed. **International Journal of Sports Medicine**, v. 33, n. 10, p. 819–823, 2012.
- PADULO, J. et al. A Paradigm of Uphill Running. **Plos One**, v. 8, n. 7, p. 1–8, 2013.
- PARADISIS, G. P.; BISSAS, A.; COOKE, C. B. Combined uphill and downhill sprint running training is more efficacious than horizontal. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 4, n. 2, p. 229–243, 2009.
- PIVARNIK, J. M.; SHERMAN, N. W. Responses of aerobically fit men and women to uphill/downhill walking and slow jogging. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 22, p. 127–130, 1990.
- POOLE, D. . Resolving the determinants of high-intensity exercise performance. **Exp**

Physiol, v. 94, n. 2, p. 197–198, 2008.

POOLE, D. C., JONES, AM. Oxygen uptake kinetics. **Compr Physiol**. v. 4, n. 2, 933–96, 2012.

POSSAMAI, L. . et al. Similar $\dot{V}O_2$ max assessment from a step cycling incremental test and verification tests on the same or different day. p. 1–24, 2019.

PRINGLE, J. S. M. et al. Oxygen uptake kinetics during horizontal and uphill treadmill running in humans. **European Journal of Applied Physiology**, v. 88, n. 1–2, p. 163–169, 2002.

RAIMUNDO, J. A. G. et al. The severe exercise domain amplitude: a comparison between endurance runners and cyclists. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 90, n. 1, p. 3–13, 2019.

RASO, V.; GREVE, J. M. D.; POLITO, M. **Pollock: fisiologia clínica do exercício**. Barueri, SP: Manole, 2013.

REHMAN, A. A.; ALHARTHI, K. An introduction to research paradigms in distance education. **International Journal of Educational Investigations**, v. 3, n. 8, p. 51–59, 2016.

ROSSITER H. B. Exercise: Kinetic Considerations for Gas Exchange. In: *Comprehensive Physiology* [Internet]. John Wiley & Sons, Inc.; 2010.

ROSTON, W. . et al. Oxygen uptake kinetics and lactate concentration during exercise in humans. **American Review of Respiratory Disease**, v. 135, n. 5, p. 1080–1084, 1987.

SCHEER, V. et al. $\dot{V}O_2$ max testing in trail runners: is there a specific exercise test protocol? **International Journal of Sports Medicine**, v. 39, n. 6, p. 456–461, 2018.

SODERBERG, G.; KNUTSON, L. A guide for use and interpretation of kinesiological electromyographic data. **Physical Therapy**, v. 80, p. 485–498, 2000.

SOUZA, K. M. DE et al. Variáveis fisiológicas e neuromusculares associadas com a performance aeróbia em corredores de endurance: efeitos da distância da prova. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 17, n. 1, p. 40–44, 2011.

SMITH, E. E.; GUYTON, A. C.; MANNING, R. D.; WHITE, R. J. Integrated mechanisms of cardiovascular response and control during exercise in the normal human. **Progress in Cardiovascular Diseases**, 18 (6), 421–443, 1976.

STAAB, J.; AGNEW, J.; SICONOLFI, S. F. Metabolic and performance responses to uphill and downhill running in distance runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 24, p. 124–127, 1991.

TOWNSHEND, A. D.; WORRINGHAM, C. J.; STEWART, I. B. Spontaneous pacing during overground hill running. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 42, n. 1, p. 160–169, 2010.

TURNES, T. **Treinamento Intervalado No Limite Inferior E Superior Do Domínio Severo: Efeitos Sobre Variáveis Fisiológicas E Desempenho No Ciclismo**. Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, 2013.

TURNES, T. et al. Short-term interval training at both lower and higher intensities in the severe exercise domain result in improvements in VO₂ on-kinetics. **European Journal of Applied Physiology**, v. 116, n. 10, p. 1975–1984, 2016.

VERNILLO, G. et al. Biomechanics and physiology of uphill and downhill running. **Sports Medicine**, v. 47, n. 4, p. 615–629, 2017.

VERNILLO, G. et al. Biomechanics of graded running: Part I - Stride parameters, external forces, muscle activations. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 30, n. 9, p. 1632–1641, 2020.

WILLIS, S. J. et al., Level Versus Uphill Economy and Mechanical Responses in Elite Ultratrail Runners. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, v. 14, n. 7, p. 1001–1005, 1 ago. 2019.

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

WHITING, C.S.; ALLEN, S. P.; BRILL, J. W. et al. Steep (30°) uphill walking vs. running: COM movements, stride kinematics, and leg muscle excitations. **Eur J Appl Physiol**, 120, p. 2147–2157, (2020).

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

ZÜRCHER, S.; CLÉNIN, G.; MARTI, B. Uphill running capacity in Swiss elite orienteers. **Scientific Journal of Orienteering**, v. 16, n. 2, p. 4–11, 2005.