

Influência da suplementação pré-exercício de hidratos de carbono e proteína na cinética do consumo de oxigénio em corredores de meio-fundo

Dissertação apresentada com vista à obtenção do 2º ciclo em Treino Desportivo, especialização em Treino de Alto Rendimento, da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, ao abrigo do Decreto-Lei nº 74/2006, de 24 de março, na redação dada pelo Decreto-Lei nº 65/2018 de 16 de agosto.

Orientador: Professor Doutor Ricardo Fernandes

Coorientador: Professor Doutor António Ascensão

Eduardo José Pereira Coelho

Porto, 2019

Pereira Coelho, E. J. (2019). INFLUÊNCIA DA SUPLEMENTAÇÃO PRÉ-EXERCÍCIO DE HIDRATOS DE CARBONO E PROTEÍNA NA CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÉNIO EM CORREDORES DE MEIO-FUNDO. Porto: E. Pereira Coelho. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Treino Desportivo- Especialização em Treino de Alto Rendimento Desportivo, apresentado à Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

PALAVRAS-CHAVE: CORRIDA, MEIO-FUNDO, CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÉNIO, PROTEÍNA, HIDRATOS DE CARBONO.

A vós.

Agradecimentos

Certamente não constarão nestas seguintes menções todos aqueles que, por algum motivo, merecem a minha consideração e palavras de apreço. No entanto, são aqueles que sabem merecê-las que me obrigam, pela incansável ajuda, amizade e suporte prestados até hoje, a referi-los nesta curta prova do meu agradecimento:

ao Prof. Doutor Ricardo Fernandes, pelo exemplo de profissionalismo, pela sua orientação e pela confiança diária com que me agraciou na realização desta dissertação.

ao Prof. Doutor António Ascensão por me iniciar neste vasto campo de saber.

à Mestre Ana Margarida Lopes pelo seu imprescindível contributo à realização deste trabalho e pelo seu exemplo de profissionalismo e determinação.

ao Prof. Doutor Rodrigo Zacca pela ajuda diária e incansável paciência para atender às mais elementares dúvidas que me foram surgindo ao longo deste processo de aprendizagem.

às minhas colegas de mestrado, Ana Monteiro e Aléxia Fernandes, e aos restantes companheiros de gabinete, Diogo Carvalho, Ana Cardoso e Manoel Rios, pela partilha diária de conhecimento e por tornarem a realização deste trabalho bastante menos penosa. Foi um privilégio trabalhar com todos vós e espero que as vossas conquistas atinjam o patamar de excelência que o vosso potencial permite prever.

ao Miguel Fernandes, pela constante partilha, honesta, de conhecimentos durante estes anos de mestrado. Espero que continuemos a rir do que ainda não sabemos mas pensávamos saber.

à Rita Pinho, João Miguel Silva, Tânia Cruz e Catarina Ribeiro pela vossa amizade, apoio incansável e constante fonte de motivação ao longo do meu percurso.

à Rafaela Barata pela amizade que, mesmo à distância, conseguimos preservar. Que ela nunca se esgote em terras transmontanas e que cresça onde quer que estejamos.

à Sílvia Brandão pela amizade e referência que és para mim enquanto pessoa. Espero que continuemos a acompanhar os sucessos um do outro, fazendo, sempre que possível, parte deles.

às minhas amigas (quase) doutoras, Ana Silva e Sara Fernandes, pelas constantes palavras de apoio e pela vossa presença na minha vida, desde sempre. Só faltam vocês meninas!

à minha família, que através do exemplo se constitui a maior escola de aprendizagem da minha vida.

Índice Geral

Agradecimentos	V
Índice de Tabelas	IX
Índice de Figuras	XI
Índice de Equações	XIII
Resumo	XV
Abstract	XVII
Lista de abreviaturas	XIX
1. Introdução	1
2. Material e Métodos	7
3. Resultados	19
4. Discussão	25
5. Conclusões	35
6. Bibliografia	36

Índice de Tabelas

Tabela 1.	Valores médios \pm DP da idade e principais características antropométricas.	7
Tabela 2.	Volume (km) e velocidade (km/h) de corrida das sessões de treino dois dias antes dos testes nas condições de placebo (PLA), hidratos de carbono (HC) e hidratos de carbono com adição de proteína (HC + PRO) realizados pelos sujeitos femininos (F) e masculinos (M).	8
Tabela 3.	VO ₂ max (ml.kg.min) e velocidade (km/h) de corrida ao VO ₂ max (vVO ₂ max) de cada sujeito feminino (F) e masculino (M) nas condições de placebo (PLA), hidratos de carbono (HC) e hidratos de carbono com adição de proteína (HC + PRO).	9
Tabela 4.	Valores médios \pm DP da ingestão energética, hidratos de carbono (HC), proteína (PRO), ácidos gordos (AG) e suplementos ingeridos nas 48 h anteriores à realização dos testes na condição de placebo (PLA), hidratos de carbono (HC) e hidratos de carbono com adição de proteína (HC + PRO) realizados pelos corredores femininos (F) e masculinos (M).	10
Tabela 5.	Composição dos suplementos fornecidos 30 min antes do início do protocolo incremental discriminados quanto à energia, gordura, hidratos de carbono, fibra, proteína e sal.	14
Tabela 6.	Valores médios \pm DP dos parâmetros da cinética do VO ₂ , variáveis respiratórias e [La ⁻] determinados no domínio de intensidade baixa a moderada nas condições de placebo	20

(PLA), hidratos de carbono (HC) e hidratos de carbono com adição de proteína (HC + PRO).

Tabela 7.	Valores médios \pm DP dos parâmetros da cinética do VO_2 , variáveis respiratórias e $[\text{La}^-]$ determinados no domínio de intensidade alta nas condições de placebo (PLA), hidratos de carbono (HC) e hidratos de carbono com adição de proteína (HC + PRO).	21
Tabela 8.	Valores médios \pm DP dos parâmetros da cinética do VO_2 , variáveis respiratórias e $[\text{La}^-]$ determinados no domínio de intensidade severa nas condições de placebo (PLA), hidratos de carbono (HC) e hidratos de carbono com adição de proteína (HC + PRO).	22
Tabela 9.	Valores médios \pm DP da percepção subjetiva de esforço nos domínios de intensidade baixa a moderada, alta e severa nas condições de placebo (PLA), hidratos de carbono (HC) e hidratos de carbono com adição de proteína (HC + PRO).	23
Tabela 10.	Valores médios \pm DP do desconforto gastrointestinal nos domínios de intensidade baixa a moderada, alta e severa nas condições de placebo (PLA), hidratos de carbono (HC) e hidratos de carbono com adição de proteína (HC + PRO).	23

Índice de Figuras

Figura 1.	Momento experimental realizado por um sujeito da amostra. Ingestão da bebida (painel central) após 15 min em repouso (painel esquerdo), seguida do protocolo incremental de corrida, 30 min após a sua ingestão (painel direito).	11
Figura 2.	Exemplo das $[La^-]$ determinadas através das regressões linear e exponencial com critérios de seleção dos domínios de intensidade considerados. Dados obtidos por um sujeito representativo da amostra do presente estudo.	12
Figura 3.	Escala de Borg (1982) utilizada para classificar a percepção subjetiva de esforço (esquerda) e escala adaptada de Laird et al. (2015) para classificar o desconforto gastrointestinal (direita).	13
Figura 4.	Exemplo gráfico do VO_2 individual obtido através do programa VO_2 FITTING com critérios de seleção dos domínios de intensidade considerados. Dados obtidos por um sujeito representativo da amostra do presente estudo.	17
Figura 5.	Modelação da cinética do VO_2 através de um modelo monoexponencial (painel esquerdo) e de um modelo bi-exponencial (painel direito). A linha vermelha representa as fases cardiodinâmica e componente rápida e a linha azul representa a componente lenta.	19

Índice de Equações

Equação 1.	$\dot{V}O_2(t) = A_0 + H(t-TD_1) \cdot A_p(1-e^{-(t-TD_1)/\tau_1})$	16
Equação 2.	$\dot{V}O_2(t) = A_0 + H(t-TD_1) \cdot A_p(1-e^{-(t-TD_1)/\tau_1}) + H(t-TD_1) \cdot A_p(1-e^{-(t-TD_1)/\tau_1})$	16
Equação 3.	$A_{2_final} = A_2(-e^{-(t_{final}-TD_2)/\tau_2})$	16

Resumo

A cinética do consumo de oxigénio (VO_2) altera-se com a intensidade do esforço, demonstrando que o seu estudo é relevante para melhor entender os mecanismos fisiológicos responsáveis pelo exercício e recuperação. Complementarmente, o estudo das intervenções nutricionais que visam melhorar a performance, permite aumentar o entendimento da resposta fisiológica ao exercício. O objetivo desta dissertação foi analisar se a ingestão pré-exercício de hidratos de carbono com adição de proteína ($0.75 + 0.25 \text{ g/kg}$) vs. hidratos de carbono (1.0 g/kg) influencia a cinética do VO_2 em corredores de meio-fundo. Sugere-se que a ingestão de hidratos de carbono e de hidratos de carbono com adição de proteína, 30 min antes do exercício, traduz-se em alterações na cinética do VO_2 e nos indicadores fisiológicos associados ao metabolismo oxidativo em corredores de meio-fundo. Dez sujeitos realizaram sete patamares de 4 min com 1 min de intervalo passivo e incrementos de 1 km/h por patamar, 30 min após ingerirem três bebidas diferentes (placebo, hidratos de carbono, hidratos de carbono com adição de proteína). Foram recolhidas variáveis respiratórias (através de oximetria direta), lactatemia, frequência cardíaca (FC), desconforto gastrointestinal e percepção subjetiva de esforço. As condições de suplementação não influenciaram nenhum parâmetro da cinética do VO_2 , enquanto que a FC foi mais elevada na condição de hidratos de carbono com adição de proteína em relação às condições de hidratos de carbono e placebo (192 ± 7 , 188 ± 6 e $187 \pm 7 \text{ b.min}^{-1}$) no domínio de intensidade severa e o quociente respiratório (QR) mais elevado na condição de hidratos de carbono com adição de proteína (0.93 ± 0.04) em relação à condição de placebo (0.90 ± 0.04 e 0.93 ± 0.04) no domínio de intensidade baixa a moderada. A ingestão de hidratos de carbono e hidratos de carbono com adição de proteína parece não influenciar a cinética do VO_2 em corredores de meio-fundo durante um protocolo intermitente de intensidade incremental.

PALAVRAS-CHAVE: CORRIDA, MEIO-FUNDO, CINÉTICA DO CONSUMO DE OXIGÉNIO, PROTEÍNA, HIDRATOS DE CARBONO.

Abstract

The oxygen uptake (VO_2) kinetics varies with the intensity of the effort, showing that its study is relevant to better understand the physiologic mechanisms responsible for exercise and recovery. In addition, the study of nutritional interventions aimed to achieve better performance, increases the understanding of the physiological response to exercise. The purpose of this dissertation was to analyze whether pre-exercise intake of carbohydrates plus protein ($0.75 + 0.25$ g/kg) vs. carbohydrate (1.0 g/kg) influences VO_2 kinetics in middle-distance runners. It is suggested that the intake of carbohydrate and protein-added carbohydrates, 30 min before exercise, results into kinetic changes in VO_2 and in physiological indicators associated with oxidative metabolism in middle-distance runners. Ten subjects performed seven 4-min steps with 1 min of passive interval and 1 km/h increments per step, 30 min after ingesting a drink (placebo, carbohydrate, protein-added carbohydrate). Data were collected on respiratory parameters (through direct oximetry), blood lactate concentration, heart rate (HR), gastrointestinal discomfort and subjective perception of exertion. Supplementation conditions did not influence any VO_2 kinetics parameter, while HR was higher ($p < 0.05$) in the carbohydrate plus protein condition (192 ± 7) than in the carbohydrate (188 ± 6) and placebo (187 ± 7) conditions in the severe intensity domain and higher respiratory quotient (QR) ($p < 0.05$) in the carbohydrate plus protein condition (0.93 ± 0.04) compared to placebo (0.90 ± 0.04) in the low to moderate intensity domain. It was suggested that the addition of protein to a lower carbohydrate intake, ingested 30 min before the beginning of the exercise, lead to changes in VO_2 kinetics and in the other physiological indicators associated with oxidative metabolism in middle-distance runners when compared to carbohydrate intake alone and the placebo conditions. Intake of carbohydrates and protein-added carbohydrates does not appear to influence VO_2 kinetics in middle-distance runners during an intermittent incremental intensity protocol.

KEYWORDS: RUNNING, MIDDLE-DISTANCE, OXYGEN UPTAKE KINETICS, PROTEIN, CARBOHYDRAT

Lista de abreviaturas

τ	Constante temporal
T_1	Constante temporal da componente rápida da cinética do consumo de oxigénio
T_2	Constante temporal da componente lenta da cinética do consumo de oxigénio
[La]	Concentrações sanguíneas de lactato
A_0	Consumo de oxigénio antes do início do exercício
A_1	Amplitude da componente rápida do consumo de oxigénio durante o exercício
A_2	Amplitude da componente lenta do consumo de oxigénio durante o exercício
ADP	Adenosina difosfato
ATP	Adenosina trifosfato
b.min ⁻¹	batimentos por minuto
CO ₂	Dióxido de carbono
DGI	Desconforto gastrointestinal
DP	Desvio Padrão
FC	Frequência cardíaca
h	hora
i.e.	isto é
Kg	kilograma

La ⁻	Lactato
L _{AN}	Limiar anaeróbio individual
L.min ⁻¹	Litros por minuto
MIR	Método dos intervalos rígidos
min	Minutos
mmol.l ⁻¹	milimoles por litro
O ₂	Oxigénio
PSE	Perceção subjetiva de esforço
QR	Quociente respiratório
r.min ⁻¹	respirações por minuto
SPSS	Statistical package for the social sciences
TD	Tempo de atraso
TD ₁	Tempo de atraso da componente rápida da cinética do VO ₂ durante o exercício.
TD ₂	Tempo de atraso da componente lenta da cinética do VO ₂ durante o exercício.
VE	Ventilação respiratória
VO ₂	Consumo de oxigénio
VO _{2max}	Consumo máximo de oxigénio
VO _{2abs}	Consumo de oxigénio absoluto
VO _{2rel}	Consumo de oxigénio relativizado ao peso

1. Introdução

As corridas de meio-fundo são das competições mais populares a nível mundial e têm um grande impacto social em Portugal. Os primeiros campeões olímpicos portugueses (Carlos Lopes, Rosa Mota e Fernanda Ribeiro) foram o expoente máximo da designada “escola de ouro” do meio-fundo e fundo português. De facto, os resultados conseguidos por esses corredores (entre outros) serviram para afirmar o nível de relevo internacional que Portugal conseguira nas corridas de meio-fundo e fundo. Atualmente, em Portugal, o Atletismo é a sétima modalidade desportiva com mais praticantes federados (Instituto Português e da Juventude, 2017), revelando uma estagnação de crescimento em comparação com outras.

A performance em desportos individuais é o resultado da complexa interação entre muitos fatores, dos quais os aspetos fisiológicos têm sido enfatizados, em relação próxima com outros fatores como a nutrição, biomecânica e psicologia (Mujika et al., 2018). Entre os vários determinantes fisiológicos, o consumo máximo de oxigénio (VO_{2max}) é um dos principais fatores associados a corredores de meio-fundo e fundo de sucesso (Billat et al., 2003; Thompson, 2017). Complementarmente, as intervenções nutricionais apresentam-se como um fator essencial para a obtenção de uma melhor performance desportiva (Heck et al., 2004), sendo as que enfatizam a otimização das reservas musculares de glicogénio as que merecem maior atenção (Stellingwerff et al., 2019).

Enquanto que o metabolismo anaeróbio predomina nos eventos de curta duração como 100 e 200 m, o sistema energético oxidativo possibilita o desenvolvimento de esforço prolongado no tempo, razão pela qual os corredores de meio-fundo e fundo treinam a sua capacidade aeróbia, expressa em percentagem do VO_{2max} (Berryman et al., 2018; Jones & Whipp, 2002). Apesar da velocidade máxima sustentada ao VO_{2max} (vVO_{2max}) estar significativamente correlacionada com a performance no meio-fundo (Ingham et al., 2008; Thompson, 2017), existe a necessidade de estabelecer diferentes zonas de treino tendo em conta os valores submáximos de VO_2 e das concentrações de

lactato ($[La^-]$) (Figueiredo et al., 2013; Santos, 1995). De facto, o limiar anaeróbio individual (L_{AN}) parece representar um ponto de transição fisiológico a partir do qual se verifica um comprometimento da função muscular (Gladden, 2004), sendo por isso um excelente indicador da intensidade de treino.

Complementarmente, a cinética do VO_2 expressa os mecanismos fisiológicos responsáveis pela dinâmica da resposta do oxigénio (O_2) ao exercício (Jones & Burnley, 2009; Poole & Richardson, 1997), sendo os seus parâmetros (amplitude, constante temporal e tempo de atraso) usados para melhor a caracterizar. Inicialmente, foram descritos para essa cinética, em função da intensidade, três domínios – baixo a moderado, alto e severo (Gaesser & Poole, 1996; Whipp, 1987). Mais recentemente, um quarto domínio de intensidade - domínio extremo - foi descrito como o que enquadra o exercício realizado a uma intensidade acima do VO_{2max} , a qual a maioria dos esforços competitivos se realiza (Burnley & Jones, 2007; Hill et al., 2002).

Desde o trabalho pioneiro de Whipp et al. (1982) têm sido descritas três fases que caracterizam a cinética do VO_2 durante o exercício. A primeira fase, designada por “cardiodinâmica”, corresponde a um rápido incremento do VO_2 alveolar e representa os primeiros 15-20 s de exercício (Demarle et al., 2001; Whipp, 1987). A segunda fase, denominada “fundamental” ou “componente rápida”, é caracterizada por um aumento exponencial do VO_2 exigido a nível muscular e demora entre 2-3 min até estabilizar (Barstow & Mole, 1991; Grassi et al., 1996). A última fase, conhecida por “plateau”, corresponde a um equilíbrio entre o VO_2 que é fornecido e aquele que é necessário como resposta ao exercício (Barstow & Mole, 1991). Este comportamento da cinética do VO_2 verifica-se para o domínio de intensidade baixa a moderada (Figura 1; Burnley & Jones, 2007).

Enquanto que no domínio de intensidade baixa a moderada existe estabilidade do VO_2 , no domínio de intensidade alta, o exercício, por ser realizado a uma intensidade acima do L_{AN} , leva a um distúrbio homeostático (Barstow & Mole, 1991). Observa-se então que o VO_2 não estabiliza após ~2 min, continuando a aumentar (como demonstrado na Figura 2) até surgir exaustão ou o exercício

terminar (Gaesser & Poole, 1996). Este aumento acrescido, comumente chamado de “componente lenta” só é observável nos domínios de intensidade que não permitem atingir um estado de equilíbrio metabólico, ou seja, nos domínios posteriores ao domínio de intensidade baixa a moderada, isto é, que se situam acima do L_{AN} e quando a sua magnitude atinge um valor fisiologicamente considerável ($200 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$) (Billat, 2000). A componente lenta está relacionada com o recrutamento das fibras rápidas, o que só acontece a partir desta intensidade de exercício, levando a um progressivo uso das vias glicolíticas de produção de energia (Korzeniewski & Zoladz, 2015).

No domínio de intensidade severa, o exercício é realizado a uma intensidade significativamente superior ao L_{AN} e os valores do $\dot{V}O_2$ e das $[La^-]$ não chegam a estabilizar, subindo exponencialmente até ser atingido o $\dot{V}O_{2max}$ (de Jesus et al., 2015; Gaesser & Poole, 1996). Neste domínio, a amplitude da componente lenta do $\dot{V}O_2$ é mais pronunciada do que no domínio de intensidade alta, sendo esse um fator diferenciador entre estas intensidades de exercício (Pringle et al., 2003). No domínio extremo de exercício, a intensidade é de tal forma elevada que a tarefa termina antes do $\dot{V}O_{2max}$ ser atingido e da componente lenta ter tempo de aparecer (Burnley & Jones, 2007; Ribeiro et al., 2017).

Durante o exercício são considerados três parâmetros na resposta do $\dot{V}O_2$: (i) a amplitude de cada fase (A_1 – fundamental e A_2 - componente lenta) diz respeito à diferença entre o valor inicial dessa amplitude e o seu final; (ii) o tempo de atraso (TD_1 – fundamental e TD_2 – componente lenta) representa o espaço temporal entre o início do exercício e o início da respetiva fase; (iii) a constante temporal (τ_1 – fundamental e τ_2 - componente lenta) representa o tempo que é necessário para atingir 63% da resposta total do $\dot{V}O_2$ (Whipp et al., 2002). Whipp & Wasserman (1972) foram os primeiros autores a verificar que, para uma mesma amplitude do $\dot{V}O_2$, quanto menor fosse o TD, ou seja, quanto mais rápida fosse a resposta ao exercício, maior seria a sua tolerância. Foi posteriormente verificado que corredores bem treinados atingiam valores de constante temporal mais baixos, i.e., uma rápida estabilização no $\dot{V}O_2$ (Carter et al., 2000) o que, em

consonância com outros estudos (Gaesser, 1994; Kuipers et al., 1985), indica ser uma adaptação ao treino de resistência aeróbia.

Complementarmente à análise da cinética do VO_2 , o estudo da utilização dos diferentes substratos energéticos pode igualmente contribuir para a compreensão da resposta metabólica ao exercício, uma vez que a sua taxa de oxidação varia com a intensidade e duração do esforço (Hargreaves & Spriet, 2018). É neste contexto que este trabalho se apresenta associado à dissertação de mestrado de Lopes (2018) realizada no interface entre as ciências do desporto e as ciências da nutrição. Desta forma, a amostra e o protocolo experimental utilizados por nós é comum ao referido estudo. Apesar dos hidratos de carbono e dos ácidos gordos constituírem os principais substratos do metabolismo oxidativo durante o exercício aeróbio (van Loon et al., 2001), recentemente têm surgido evidências de que a co-ingestão de hidratos de carbono com proteína apresenta melhorias na performance em exercícios prolongados (Finger et al., 2018; Kerksick et al., 2017). Este facto justifica a necessidade do presente estudo, cujo objetivo está descrito abaixo.

A cinética do VO_2 durante o exercício tem sido extensivamente estudada com o propósito de descobrir quais as relações existentes entre a performance em corridas de meio-fundo e corridas de fundo (do Nascimento Salvador et al., 2016). De igual forma, os estudos existentes sobre as intervenções nutricionais têm-se debruçado significativamente sobre os efeitos que a sua administração durante e após o exercício provoca na fadiga (Saunders et al., 2007). Uma vez que não são conhecidos estudos relacionados com a influência das intervenções nutricionais pré-exercício na cinética do VO_2 , o objetivo principal deste trabalho visa analisar a influência que a co-ingestão de hidratos de carbono e hidratos de carbono com adição de proteína provoca na resposta do metabolismo oxidativo na corrida às várias intensidades.

Num exercício prolongado no domínio de intensidade baixa a moderada, a fadiga está associada à depleção das reservas de glicogénio hepático e muscular (Hargreaves & Spriet, 2018). Uma vez que essas reservas são limitadas, existe a necessidade de atrasar a sua depleção o maior tempo possível de forma a

assegurar a continuidade do seu contributo para o metabolismo oxidativo (Kerksick et al., 2017). Tem sido demonstrado que a adição de proteína a bebidas contendo apenas hidratos de carbono favorece um atraso da depleção das reservas de glicogénio, melhorando assim a performance (Ivy et al., 2003; Saunders et al., 2004). Coloca-se como hipótese do presente estudo que o aumento da disponibilidade de hidratos de carbono atrasa a entrada em fadiga, traduzindo-se num menor valor da A_2 sem comprometer os restantes parâmetros da cinética.

2. Material e Métodos

Dez corredores de meio fundo (sete masculinos e três femininos), saudáveis, com idades compreendidas entre os 20 e os 34 anos e que realizavam seis ou mais sessões de treino por semana, participaram voluntariamente no presente estudo. O protocolo experimental foi aprovado pelo comité de ética da Universidade do Porto e está em conformidade com os princípios éticos estabelecidos pela Declaração de Helsínquia de 1964. Todos os sujeitos foram informados dos procedimentos do estudo e possíveis riscos associados, tendo assinado um consentimento informado.

A avaliação antropométrica realizada aos corredores permitiu determinar a altura, peso corporal, perímetros (braço, cintura, anca, coxa e gémio) e pregas cutâneas (tricipital, abdominal, crural e geminal) individuais. Para tal recorreu-se ao estadiómetro portátil Seca® model 213 (Hamburgo, Deutschland), à balança plana modelo HSB-BI (West Sussex, UK) e à fita ergonómica de medição de circunferência Seca® modelo 203 (Hamburgo, Deutschland). Para estimar a percentagem de massa gorda e de massa muscular foram utilizadas as equações de Evans et al. (2005) e de Lee et al. (2000), respetivamente. As principais características etárias e antropométricas dos participantes do estudo estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios \pm DP da idade e principais características antropométricas.

Variáveis	Média \pm DP Masculino	Média \pm DP Feminino
Idade (anos)	24.7 \pm 5.7	24.3 \pm 1.5
Altura (m)	1.71 \pm 0.04*	1.64 \pm 0.04
Peso (kg)	63.6 \pm 6.8*	54.4 \pm 3.1
IMC (kg.m ²)	21.8 \pm 1.9	20.3 \pm 0.2
Massa Gorda (%)	8.8 \pm 4.0*	19.2 \pm 3.4
Massa Magra (%)	29.7 \pm 3.3*	21.6 \pm 1.6

*diferenças significativas entre sexos ($p < 0.05$)

Os dados do presente estudo foram recolhidos no período da época desportiva correspondente à transição entre pista coberta e de ar livre. Foi pedido aos corredores que mantivessem as mesmas rotinas alimentares e de treino durante o período de duração do estudo mas que evitassem qualquer tipo de exercício exaustivo nas 48 h anteriores a cada teste. O volume e a velocidade de corrida das sessões de treino nos dois dias (dia -2 e dia -1) anteriores a cada teste foram controladas através de um GPS (Forerunner®735XT) e os seus valores podem ser consultados na Tabela 2. Os valores do VO_{2max} e da vVO_{2max} individuais atingidos durante o protocolo experimental nas diferentes condições de suplementação podem ser consultados na Tabela 3. A velocidade nas sessões de treino anteriores aos testes, quando comparada com as vVO_{2max} individuais, representa um esforço de intensidade baixa a moderada.

Tabela 2. Volume (km) e velocidade (km/h) de corrida das sessões de treino dois dias antes dos testes nas condições de placebo (PLA), hidratos de carbono (HC) e hidratos de carbono com adição de proteína (HC + PRO) realizados pelos sujeitos femininos (F) e masculinos (M).

Participante, Sexo	PLA				HC				HC + PRO			
	Dia -2		Dia -1		Dia -2		Dia -1		Dia -2		Dia -1	
	Km	Km/h	Km	Km/h	Km	Km/h	Km	Km/h	Km	Km/h	Km	Km/h
1, F	10.3	12.4	8.3	12.5	11.9	14.1	8.6	12.4	11.3	13.4	8.9	12.6
2, F	-	-	8.3	12.1	-	-	7.3	10.9	9.0	12.0	7.2	10.7
3, F	7.0	10.5	6.0	12.0	7.5	11.2	6.0	12.0	-	-	6.8	10.1
4, M	11.0	13.3	8.0	12.2	-	-	9.0	13.1	10.5	14.0	-	-
5, M	11.6	13.8	6.0	12.0	-	-	9.5	14.2	7.0	13.3	-	-
6, M	7.0	12	6.0	12.0	6.0	12	6.0	12.0	6.0	12.0	6.0	12.0
7, M	-	-	7.0	10.4	10.0	12.9	8.4	12.5	-	-	8.0	12.0
8, M	-	-	10.7	13.3	13.0	14.4	12.5	13.6	7.0	14.1	11.5	13.8
9, M	-	-	7.3	14.6	-	-	7.4	14.8	8.6	14.6	7.2	14.5
10, M	-	-	8.7	13.1	-	-	6.8	13.6	-	-	7.1	14.1
Média ±	9.4	12.4	7.6	12.4	9.7	12.9	8.2	12.9	8.5	13.3	7.8	12.5
DP	2.0	1.1	1.4	1.0	2.6	1.2	1.8	1.1	1.8	0.9	1.6	1.5

Tabela 3. VO₂max (ml.kg.min⁻¹) e velocidade (km/h) de corrida ao VO₂max (vVO₂max) de cada sujeito feminino (F) e masculino (M) nas condições de placebo (PLA), hidratos de carbono (HC) e hidratos de carbono com adição de proteína (HC + PRO).

Participante, Sexo	PLA		HC		HC + PRO	
	VO ₂ max (ml.kg.min ⁻¹)	Velocidade (km/h)	VO ₂ max (ml.kg.min ⁻¹)	Velocidade (km/h)	VO ₂ max (ml.kg.min ⁻¹)	Velocidade (km/h)
1, F	61.3	18.3	62.8	18.3	63.8	18.3
2, F	49.5	15.0	49.5	15.0	46.7	15.0
3, F	53.0	15.4	52.0	15.4	54.9	16.4
4, M	56.1	18.9	58.9	18.9	56.4	18.9
5, M	68.6	19.5	68.7	19.5	69.4	19.5
6, M	57.3	19.6	57.4	18.6	60.3	19.6
7, M	56.6	19.0	60.2	18.0	60.1	19.0
8, M	70.5	20.5	70.4	20.5	70.4	20.5
9, M	66.3	19.6	66.1	19.6	69.9	20.6
10, M	70.4	18.7	69.5	18.7	68.5	18.7
(Média ± DP)	61.0 ± 7.59	18.5 ± 1.72	61.6 ± 7.29	18.3 ± 1.67	62.0 ± 7.86	18.7 ± 1.65

Os participantes foram alertados quanto ao consumo de álcool e tabaco nas 48 h anteriores a cada teste e desaconselhados a experimentarem novos alimentos e bebidas. O controlo nutricional da ingestão energética, de hidratos de carbono, proteína e ácidos gordos nos dois dias anteriores a cada teste foi realizado através do registo dos alimentos, bebidas e suplementos ingeridos, utilizando-se para tal efeito o software Nutrium® (Healthium 2018, Braga, Portugal). Os seus valores podem ser consultados na Tabela 4. De acordo com a literatura (Burke et al., 2011; Kerksick et al., 2017), à exceção do participante número 2, todos os corredores apresentaram valores adequados de ingestão diárias de hidratos de carbono.

Tabela 4. Valores médios \pm DP da ingestão energética, hidratos de carbono (HC), proteína (PRO), ácidos gordos (AG) e suplementos ingeridos nas 48 h anteriores à realização dos testes na condição de placebo (PLA), hidratos de carbono (HC) e hidratos de carbono com adição de proteína (HC + PRO) realizados pelos corredores femininos (F) e masculinos (M).

Participante, Sexo		Ingestão energética (kcal/dia)	HC (g/kg/d)	PRO (g/kg/d)	AG (g/kg/d)	Suplementos
1, F	PLA	2620 \pm 391	5.1 \pm 0.4	2.9 \pm 0.7	1.5 \pm 0.7	x
	HC	2786 \pm 12	6.1 \pm 1.5	2.5 \pm 0.2	1.5 \pm 0.5	x
	HC + PRO	2396 \pm 391	5.1 \pm 0.4	2.9 \pm 0.7	1.5 \pm 0.7	x
2, F	PLA	891 \pm 164	1.5 \pm 0.3	0.8 \pm 0.5	0.7 \pm 0.0	x
	HC	794 \pm 214	1.4 \pm 0.4	0.6 \pm 0.0	0.6 \pm 0.1	x
	HC + PRO	748 \pm 279	2.2 \pm 0.9	0.6 \pm 0.4	0.3 \pm 0.0	x
3, F	PLA	1690 \pm 313	3.8 \pm 1.0	1.5 \pm 0.2	1.2 \pm 0.1	Magnésio
	HC	1944 \pm 706	7.9 \pm 6.2	1.6 \pm 0.7	2.0 \pm 1.0	Magnésio
	HC + PRO	1371 \pm 488	3.0 \pm 0.6	1.2 \pm 0.9	1.1 \pm 0.4	Magnésio
4, M	PLA	1729 \pm 524	3.8 \pm 1.1	1.5 \pm 0.1	0.7 \pm 0.5	x
	HC	1701 \pm 139	3.7 \pm 0.3	1.0 \pm 0.2	0.9 \pm 0.2	x
	HC + PRO	1377 \pm 471	3.3 \pm 0.7	1.1 \pm 0.6	0.5 \pm 0.3	x
5, M	PLA	1968 \pm 191	4.8 \pm 0.1	1.7 \pm 0.2	1.1 \pm 0.3	x
	HC	2479 \pm 663	6.0 \pm 1.9	1.9 \pm 0.1	1.5 \pm 0.5	x
	HC + PRO	3129 \pm 141	8.7 \pm 0.9	2.4 \pm 0.2	1.4 \pm 0.2	x
6, M	PLA	1882 \pm 523	3.0 \pm 0.5	1.2 \pm 0.5	0.8 \pm 0.3	x
	HC	1928 \pm 417	2.6 \pm 0.7	1.2 \pm 0.1	1.1 \pm 0.3	x
	HC + PRO	2584 \pm 408	3.5 \pm 0.2	1.6 \pm 0.5	1.5 \pm 0.3	x
7, M	PLA	2667 \pm 28	6.2 \pm 0.1	2.3 \pm 0.6	1.0 \pm 0.3	x
	HC	3068 \pm 303	5.5 \pm 1.1	2.1 \pm 0.2	1.2 \pm 0.1	x
	HC + PRO	2501 \pm 304	5.4 \pm 0.2	2.0 \pm 0.5	1.1 \pm 0.2	x
8, M	PLA	3389 \pm 1546	5.9 \pm 1.4	2.0 \pm 0.8	1.9 \pm 1.5	x
	HC	2447 \pm 817	4.6 \pm 1.0	2.0 \pm 0.1	2.6 \pm 1.8	x
	HC + PRO	3405 \pm 544	5.2 \pm 0.8	2.3 \pm 0.4	2.2 \pm 0.7	x
9, M	PLA	3611 \pm 2026	6.7 \pm 2.2	2.7 \pm 1.3	2.4 \pm 2.1	x
	HC	3543 \pm 1269	8.7 \pm 3.2	2.1 \pm 0.2	1.6 \pm 0.9	x
	HC + PRO	2987 \pm 47	6.3 \pm 0.6	1.6 \pm 0.2	1.9 \pm 0.2	x
10, M	PLA	2923 \pm 209	5.9 \pm 1.0	1.8 \pm 0.2	1.8 \pm 0.1	x
	HC	3211 \pm 266	6.6 \pm 1.1	1.8 \pm 0.1	2.0 \pm 0.0	x
	HC + PRO	3467 \pm 153	6.1 \pm 0.3	2.1 \pm 0.3	2.4 \pm 0.2	x

O momento experimental foi realizado em laboratório com condições ambientais idênticas (temperatura a 21°C) e à mesma hora (durante o período matinal) para cada participante, de modo a limitar a potencial influência do ritmo circadiano na variância dos resultados. Os sujeitos foram testados de forma randomizada e duplamente-cega em três ocasiões (placebo, hidratos de carbono e hidratos de carbono com adição de proteína), com intervalos entre testes de dois a três dias. Os sujeitos chegaram ao laboratório com um mínimo de 10 h de jejum e, após 15 min de repouso, ingeriram a bebida.

Após 30 min da sua ingestão, realizou-se o teste numa passadeira (h/p/cosmos model Quasar, Munich, Germany) com 0% de declive, tal como demonstrado na Figura 1. O protocolo de corrida incremental consistiu na realização de sete patamares com a duração de 4 min com 1 min de intervalo passivo (adaptado de Sousa et al. 2015). Se a exaustão não fosse atingida nos sete patamares protocolados, o teste prosseguiria até que a fadiga se instaurasse e não permitisse atingir o final do patamar em que os participantes se encontrassem. A velocidade do sétimo patamar, para cada sujeito, correspondia à velocidade alcançada aos 3000 m naquele momento da época desportiva. Para cada patamar anterior, a velocidade definia-se reduzindo 1 km/h ao sétimo patamar, sucessivamente (adaptado de Sousa et al. 2015).

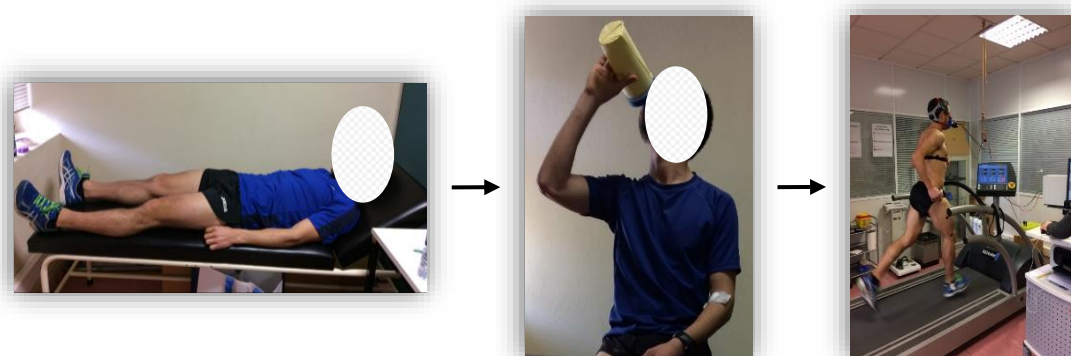


Figura 1. Momento experimental realizado por um sujeito da amostra. Ingestão da bebida (painel central) após 15 min em repouso (painel esquerdo), seguida do protocolo incremental de corrida, 30 min após a sua ingestão (painel direito).

Durante os intervalos entre patamares, assim como no final do teste, foram colhidas amostras de sangue capilar para determinar as $[La^-]$. Para tal, utilizou-se o analisador Lactate Pro2 (Arkay, Inc, Kyoto, Japan). Através da análise das regressões linear e exponencial referentes às $[La^-]$ foi possível determinar para cada participante, nas três condições experimentais, o L_{AN} . Como demonstrado na Figura 2, o seu valor correspondeu à interseção da curva de La^- (regressão exponencial) com a regressão linear (Fernandes et al., 2011). No final de cada patamar, os participantes classificaram o seu desconforto gastrointestinal através da utilização de uma escala de 0 (completamente confortável) a 10 (insuportável) (adaptado de Laird et al. 2015), e a sua percepção subjetiva de esforço utilizando uma escala de 6 a 20 (Borg, 1982), as quais podem ser consultadas na Figura 3.

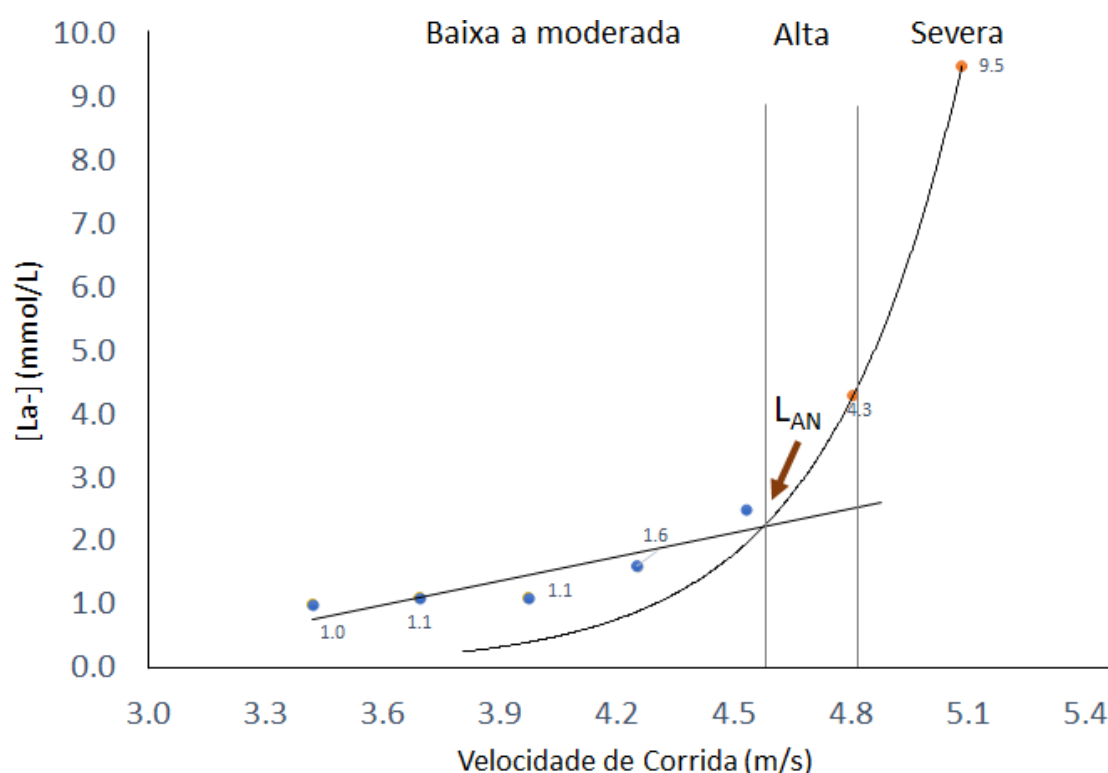


Figura 2. Exemplo das $[La^-]$ determinadas através das regressões linear e exponencial com critérios de seleção dos domínios de intensidade considerados. Dados obtidos por um sujeito representativo da amostra do presente estudo.

Escala de Borg		Desconforto Gastrointestinal	
6			
7	Muito, muito Leve	0	Completamente Confortável
8		1	
9	Muito leve	2	
10		3	
11	Leve	4	
12		5	Desconfortável
13	Um pouco difícil	6	
14		7	
15	Difícil	8	
16		9	
17	Muito difícil	10	Insuportável
18			
19	Muito, muito difícil		
20			

Figura 3. Escala de Borg (1982) utilizada para classificar a percepção subjetiva de esforço (esquerda) e escala adaptada de Laird et al. (2015) para classificar o desconforto gastrointestinal (direita).

As bebidas foram fornecidas em volumes iguais (400 mL) em três condições: placebo (sem hidratos de carbono, proteína ou gordura), hidratos de carbono (dextrose (100%), 1.0g/kg) e hidratos de carbono com adição de proteína (dextrose e whey hidrolisada (lecitina de soja), 0.75 e 0.25g/kg, respetivamente). Foi acrescentado a todas as bebidas 2.5mL de aromatizante (Flavdrops, My Protein composto por glicosídeos de esteviol) de sabor a morango com o objetivo de impossibilitar a diferenciação de paladar entre as mesmas. A composição dos suplementos pode ser consultada na Tabela 5.

Tabela 5. Composição dos suplementos fornecidos 30 min antes do início do protocolo incremental discriminados quanto à energia, gordura, hidratos de carbono, fibra, proteína e sal.

Ingredientes (por 100g)	Suplementos		
	Aromatizante	Dextrose	Proteína whey hidrolisada
Energia (kJ/kcal)	0/0	1700/400	1588/375
Gordura (g)	0.0	0.0	4.7
da qual saturada (g)	0.0	0.0	1.6
Hidratos de carbono (g)	0.0	100.0	3.2
dos quais saturados (g)	0.0	100.0	3.2
Fibra (g)	0.0	0.0	0.0
Proteína (g)	0.0	0.0	80.0
Sal (g)	0.0	<0.01	1.5
<u>Aminoácidos Essenciais (g)</u>			
Histidina	-	-	1.9
Isoleucina	-	-	6.2
Leucina	-	-	11.2
Lisina	-	-	9.9
Metionina	-	-	2.4
Fenilalanina	-	-	3.6
Treonina	-	-	2.1
Triptofano	-	-	2.1
Valina	-	-	6.1
<u>Não essenciais (g)</u>			
Alanina	-	-	5.2
Arginina	-	-	2.6
Ácido aspártico	-	-	11.2
Cistina	-	-	2.4
Glutâmico	-	-	18.4
Glicina	-	-	1.9
Prolina	-	-	6.3
Serina	-	-	5.1
Tirosina	-	-	3.2

As trocas gasosas foram registadas durante todo o período de realização do teste (incluindo o intervalo passivo) através da utilização das máscaras oronasais flexíveis 7450 Series V2 Mask (Hans Rudolph, Inc., USA). A turbina, o fluxómetro e os respetivos cabos de conexão foram inseridos na máscara, a qual foi ajustada antes de cada teste de acordo com as dimensões da face do participante. Antes do início de cada teste, o volume do espaço morto de cada máscara (XS-88mL, S-99mL, M-125mL) e os dados dos respetivos participantes (código, altura, peso e idade) foram inseridos no sistema informático. O oxímetro

Oxycon Pro Metabolic Cart (Jaeger, CareFusion, Alemanha) recebia os dados por telemetria (sistema JLAB, versão 5.30.0.155). A FC, frequência respiratória (FR), quociente respiratório (QR) e ventilação pulmonar (VE) foram determinados recorrendo à média dos valores correspondentes aos últimos 30 s de cada patamar. Foi utilizado um cardiófrequencímetro (Polar Wearlink, Kempele, Finlândia) para monitorizar a FC durante todo o período do teste.

O valor correspondente ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ de cada corredor nas três condições experimentais (placebo, hidratos de carbono e hidratos de carbono com adição de proteína) foi considerado tendo em conta os seguintes critérios principais e secundários, respetivamente (Howley et al., 1995; Poole et al., 2008): (i) ocorrer o plateau do VO_2 ($\leq 2.1 \text{ ml/min/kg}$ entre os dois últimos patamares); (ii) elevados níveis de $[\text{La}^-]$ ($\geq 8 \text{ mmol/l}$), elevado QR (≥ 1.1), elevada FC ($> 90\%$ de $[220 - \text{idade}]$) e exaustão percebida. A $v\text{VO}_{2\text{max}}$ foi estimada como sendo a velocidade correspondente ao primeiro patamar do teste que permitiu atingir o $\text{VO}_{2\text{max}}$. Se um plateau inferior a $2.1 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ fosse observável, a velocidade ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ seria determinada como proposto por Kuipers et al. (1985).

O processamento e modelação dos dados relativos à resposta do VO_2 ao exercício foi realizado através do *software* $\text{VO}_2\text{FITTING}$ (Zacca et al., 2019). Os valores acima dos quatro desvios padrão da média local foram considerados aberrantes e omitiram-se (Ozyener et al., 2001). Posteriormente, aplicou-se uma média móvel de dois valores a cada 10 s, suavizando os dados brutos. Além da utilização do $\text{VO}_2\text{FITTING}$ utilizou-se o método de intervalos rígidos ($\Delta\text{VO}_{2\text{SC}}$) com base na diferença entre a média dos 30 s finais do patamar do $\text{VO}_{2\text{max}}$ e a média dos últimos 30 s do 2º min desse patamar para determinar a componente lenta da cinética. (Fernandes et al., 2003; Koppo & Bouckaert, 2002).

Os valores do VO_2 foram categorizados, dividindo o protocolo incremental nos domínios de intensidade baixa a moderada, alta e severa (Burnley & Jones, 2007), tal como representado na Figura 2. O L_{AN} e o $\text{VO}_{2\text{max}}$ foram os indicadores metabólicos utilizados para determinar o domínio a que pertenciam os patamares do protocolo experimental, sendo que o patamar imediatamente abaixo do L_{AN} representa o domínio de intensidade baixa a moderada e os

patamares imediatamente abaixo e ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ representam os domínios de intensidade alta e severa (respetivamente) (de Jesus et al., 2014).

De forma a analisar a cinética do VO_2 , as curvas consideradas (do patamar imediatamente abaixo do L_{AN} , do patamar imediatamente abaixo do $\text{VO}_{2\text{max}}$ e do patamar correspondente ao $\text{VO}_{2\text{max}}$) foram modeladas através da modelação mono-exponencial (equação 1):

$$\dot{V}O_2(t) = A_0 + H(t - TD_1) \cdot A_1(1 - e^{-(t-TD_1)/\tau_1}) \quad (1)$$

Adicionalmente, as curvas do VO_2 correspondentes aos patamares imediatamente abaixo e ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ foram também modeladas considerando o modelo bi-exponencial (equação 2):

$$\dot{V}O_2(t) = A_0 + H(t - TD_1) \cdot A_1(1 - e^{-(t-TD_1)/\tau_1}) + H(t - TD_2) \cdot A_2(1 - e^{-(t-TD_2)/\tau_2}) \quad (2)$$

em que o $\dot{V}O_2(t)$ (ml/kg/min) representa o VO_2 normalizado ao peso corporal em função do tempo, A_0 é o valor do VO_2 em repouso (ml/kg/min), A_1 e A_2 (ml/kg/min), TD_1 e TD_2 (s), e τ_1 e τ_2 (s) são respetivamente as amplitudes, os correspondentes tempos de atraso e os tempos constantes das componentes rápida e lenta do VO_2 e H a função do patamar de intensidade alta (Ma et al., 2010). Foram considerados exclusivamente os valores obtidos pelo modelo que oferecia melhor ajuste à cinética do VO_2 .

Os parâmetros da cinética do VO_2 foram estimados por *bootstrapping* (Corduas, 1992; Zacca et al., 2019), não considerando os primeiros 20 s após o início do exercício (fase cardiodinâmica) para a sua análise (Murias et al., 2011). O VO_2 final de cada patamar foi calculado através da média dos 60 s finais de exercício para ambos os modelos. A A_2 no final do exercício foi também calculada (equação 3):

$$A_{2_final} = A_2(-e^{-(t_{final}-TD_2)/\tau_2}) \quad (3)$$

em que t_{final} é o tempo no final de cada patamar e A_2 representa a diferença entre o VO_2 no final de cada patamar (média dos últimos 60 s) e A_1 .

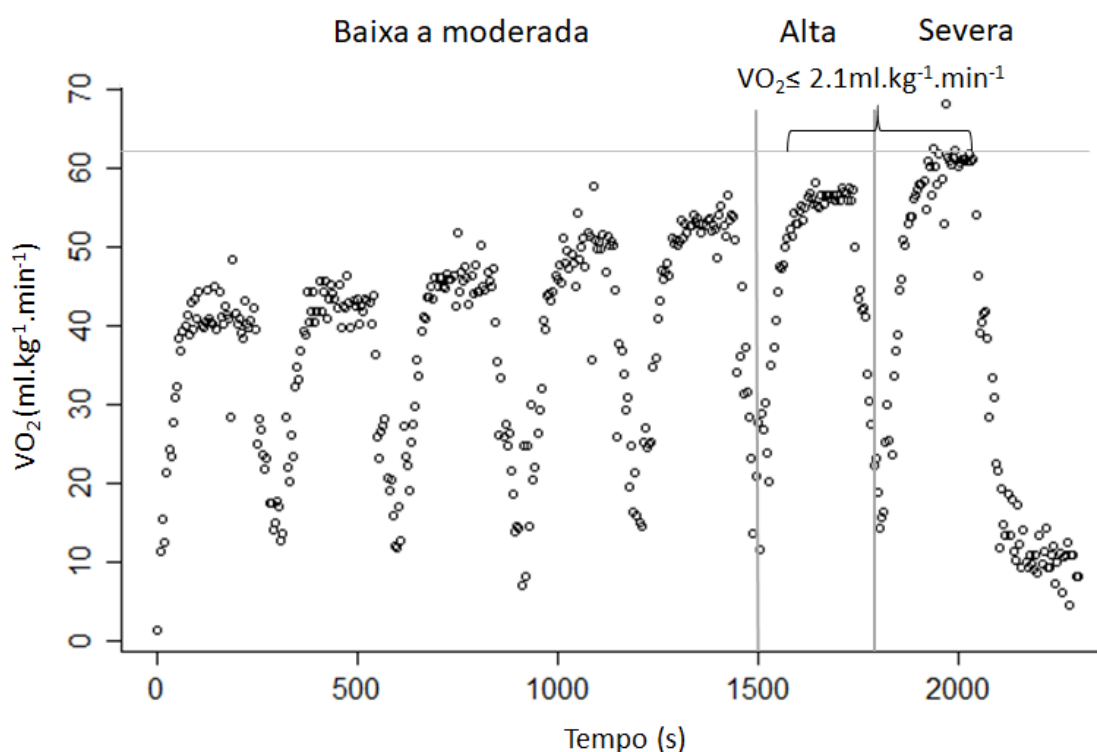


Figura 4. Exemplo gráfico do VO_2 individual obtido através do programa $\text{VO}_2\text{FITTING}$ com critérios de seleção dos domínios de intensidade considerados. Dados obtidos por um sujeito representativo da amostra do presente estudo.

Os valores médios \pm DP para a análise descritiva foram obtidos para todas as variáveis do estudo e para todos os sujeitos, e a normalidade da distribuição dessas variáveis foi verificada através do teste Shapiro-Wilk. A ANOVA de medidas repetidas foi utilizada para comparar as diferenças obtidas entre as três condições de suplementação e entre os três domínios de intensidade. Para as múltiplas comparações post hoc utilizou-se o teste de Bonferroni. A análise estatística foi realizada através do programa IBM® SPSS® Statistics, versão 25 para o Windows e o nível de significância foi estabelecido em 5% ($p < 0.05$).

3. Resultados

O valor do desvio padrão de regressão é um indicador da qualidade da modelação realizada à curva de VO_2 introduzida (Zacca et al., 2019). No presente estudo não foram obtidos ajustes perfeitos (erro padrão = 0; $p < 0.001$) para as curvas analisadas, considerando-se entre os modelos utilizados para a modelação da cinética aquele que apresentava um menor valor deste parâmetro. Assim, a cinética do VO_2 nos domínios de intensidade baixa a moderada e alta demonstrou ser bem descrita por uma função monoexponencial (Figura 5, painel esquerdo), sendo que apenas um sujeito na condição de hidratos de carbono e outros dois na condição de hidratos de carbono com adição de proteína no domínio de intensidade alta apresentaram uma cinética melhor descrita por uma função bi-exponencial. No domínio de intensidade severa a cinética do VO_2 demonstrou ser bem descrita por uma função bi-exponencial (Figura 5, painel direito) para seis sujeitos na condição de placebo e para outros quatro nas restantes condições.

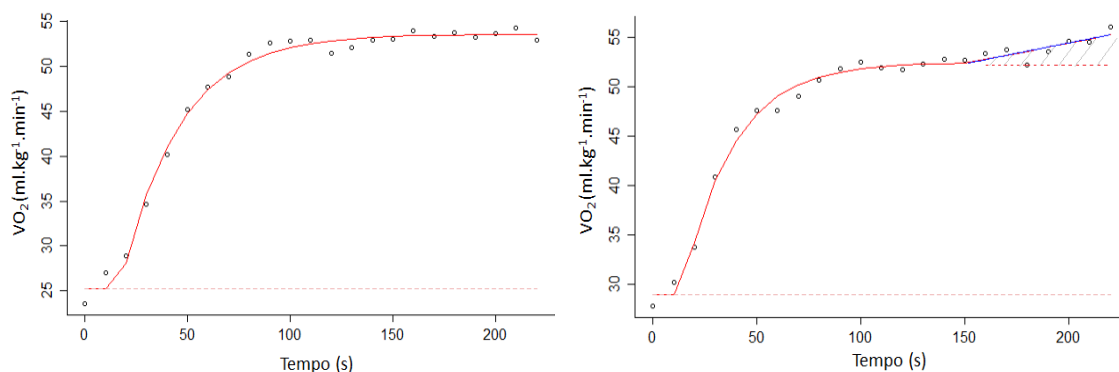


Figura 5. Modelação da cinética do VO_2 através de um modelo monoexponencial (painel esquerdo) e de um modelo bi-exponencial (painel direito). A linha vermelha representa as fases cardiodinâmica e componente rápida e a linha azul representa a componente lenta.

Os valores médios \pm DP do $\text{VO}_{2\text{abs}}$ e $\text{VO}_{2\text{rel}}$, A_1 , TD_1 e τ_1 , A_2 , TD_2 e τ_2 (e respetivos coeficientes de variação e intervalos de confiança), $\Delta\text{VO}_{2\text{SC}}$, VE, FC, FR, QR e $[\text{La}^-]$, para os domínios de intensidade baixa a moderada, alta e severa podem

ser consultados, nas Tabelas 6, 7 e 8 (respectivamente). Obtiveram-se diferenças na FC entre a condição de hidratos de carbono com adição de proteína e as restantes condições no domínio de intensidade severa ($p = 0.01$ e 0.04 para placebo e para hidratos de carbono) e no QR entre a condição de placebo e hidratos de carbono com adição de proteína no domínio de intensidade baixa a moderada ($p = 0.02$). A componente lenta da cinética do VO_2 não foi observada para o domínio de intensidade baixa a moderada e, para os restantes domínios, foi somente observada para os corredores cujas cinéticas foram melhor descritas através do modelo bi-exponencial. Apenas um corredor apresentou componente lenta em todas as condições no domínio de intensidade severa, não demonstrando diferenças entre elas para os parâmetros considerados.

Tabela 6. Valores médios \pm DP dos parâmetros da cinética do VO_2 , variáveis respiratórias e $[\text{La}^-]$ determinados no domínio de intensidade baixa a moderada nas condições de placebo (PLA), hidratos de carbono (HC) e hidratos de carbono com adição de proteína (HC + PRO).

Condições	PLA	HC	HC + PRO
VO_2 ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	50.69 ± 6.35	51.90 ± 6.51	53.10 ± 7.31
VO_2 (ml.min^{-1})	3082.88 ± 588.47	3152.64 ± 647.61	3226.76 ± 702.20
A_1 ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	31.69 ± 6.93	34.24 ± 6.29	33.31 ± 6.90
95% IC ($\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$)	30.85 a 32.57	34.19 a 36.15	32.63 a 34.05
CV (%)	1.37	1.37	1.11
TD_1 (s)	11.26 ± 6.22	11.18 ± 5.81	12.35 ± 4.66
95% IC (s)	8.70 a 13.71	6.03 a 12.18	9.71 a 14.49
CV (%)	19.23	17.48	11.68
τ_1 (s)	28.81 ± 6.84	30.09 ± 6.88	28.17 ± 6.29
95% IC (s)	25.93 a 34.11	26.50 a 36.88	24.50 a 32.24
CV (%)	6.96	8.37	6.75
$\Delta\text{VO}_{2\text{SC}}$ (ml.min^{-1})	62.17 ± 35.85	60.38 ± 32.72	61.93 ± 35.34
VE (L.min^{-1})	81.8 ± 17.7	83.5 ± 17.9	85.6 ± 19.5
FC (b.min^{-1})	165 ± 8	166 ± 5	168 ± 6
FR (r.min^{-1})	43.2 ± 9.5	43.9 ± 9.2	43.9 ± 12.8
QR	$0.90 \pm 0.04^*$	0.92 ± 0.05	0.93 ± 0.04
$[\text{La}^-]$ (mmol.L^{-1})	2.0 ± 0.9	1.8 ± 0.5	2.0 ± 0.5

* $p < 0.05$ entre a condição de placebo e hidratos de carbono com adição de proteína

Tabela 7. Valores médios \pm DP dos parâmetros da cinética do VO_2 , variáveis respiratórias e $[\text{La}^-]$ determinados no domínio de intensidade alta nas condições de placebo (PLA), hidratos de carbono (HC) e hidratos de carbono com adição de proteína (HC + PRO).

Condições	PLA	HC	HC + PRO
VO_2 (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	58.36 \pm 7.36	59.01 \pm 7.04	60.02 \pm 7.55
VO_2 (ml.min ⁻¹)	3568.53 \pm 681.25	3579.39 \pm 699.69	3639.91 \pm 730.22
A_1 (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	37.19 \pm 6.49	36.97 \pm 8.00	35.95 \pm 8.65
95% IC (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	32.63 a 34.05	36.28 a 37.64	33.74 a 36.43
CV (%)	1.94	0.90	0.83
TD_1 (s)	11.44 \pm 5.68	9.74 \pm 4.30	13.18
95% IC (s)	9.69 a 14.49	7.51 a 12.04	10.80 a 14.75
CV (%)	24.61	15.26	8.17
τ_1 (s)	31.92 \pm 5.84	30.78 \pm 5.43	23.52 \pm 8.85
95% IC (s)	24.50 a 32.54	27.37 a 34.38	21.75 a 29.07
CV (%)	5.92	5.63	6.02
A_2 (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	-	6.69 \pm 6.69	12.16 \pm 9.00
95% IC (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	-	0.61 a 20.00	2.7 a 16056.43
CV (%)	-	100.01	194.74
TD_2 (s)	-	151.24 \pm 24.02	125.90 \pm 90.65
95% IC (s)	-	8.29 a 180.00	5.77 a 440191.7
CV (%)	-	15.88	56.78
τ_2 (s)	-	68.78	73.04 \pm 40.93
95% IC (s)	-	8.29 a 180.00	0 a 184.32
CV (%)	-	160.59	1.78
$\Delta\text{VO}_{2\text{SC}}$ (ml.min ⁻¹)	80.00 \pm 57.11	71.89 \pm 42.66	80.06 \pm 80.27
VE (L.min ⁻¹)	115.7 \pm 24.0	111.4 \pm 22.0	115.0 \pm 21.3
FC (b.min ⁻¹)	179 \pm 14	181 \pm 7	185 \pm 7
FR (r.min ⁻¹)	55.1 \pm 9.6	51.6 \pm 8.7	53.6 \pm 7.9
QR	1.01 \pm 0.04	1.00 \pm 0.05	1.02 \pm 0.04
$[\text{La}^-]$ (mmol.L ⁻¹)	5.2 \pm 2.8	4.6 \pm 1.5	6.4 \pm 2.6

Tabela 8. Valores médios \pm DP dos parâmetros da cinética do VO_2 , variáveis respiratórias e $[\text{La}^-]$ determinados no domínio de intensidade severa nas condições de placebo (PLA), hidratos de carbono (HC) e hidratos de carbono com adição de proteína (HC + PRO).

Condições	PLA	HC	HC + PRO
VO_2 (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	62.96 \pm 11.83	61.56 \pm 7.29	62.05 \pm 7.86
VO_2 (ml.min ⁻¹)	3701.89 \pm 682.98	3728.70 \pm 7.29	3724.15 \pm 733.69
A_1 (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	36.12 \pm 6.82	35.98 \pm 2.42	36.75 \pm 6.62
95% IC (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	35.25 a 36.74	32.09 a 34.43	31.62 a 33.71
CV (%)	7.51	6.94	7.99
TD_1 (s)	5.56 \pm 3.95	3.67 \pm 3.36	4.00 \pm 3.58
95% IC (s)	10.00 a 14.42	9.72 a 14.00	10.28 a 15.02
CV (%)	45.79	13.68	36.77
τ_1 (s)	31.63 \pm 6.72	29.80 \pm 4.57	31.23 \pm 4.60
95% IC (s)	26.20 a 33.73	22.23 a 30.00	21.94 a 29.97
CV (%)	7.51	7.53	8.20
A_2 (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	10.18 \pm 3.29	7.25 \pm 3.45	9.88 \pm 4.63
95% IC (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	1.075 a 20	1.17 a 20	0.99 a 20
CV (%)	74.64	99.85	80.66
TD_2 (s)	106.22 \pm 32.09	117.65 \pm 21.55	118.90 \pm 20.52
95% IC (s)	15.67 a 180.33	34.14 a 170	9.98 a 181.71
CV (%)	43.01	30.64	36.86
τ_2 (s)	71.80 \pm 13.14	76.21 \pm 8.36	71.36 \pm 12.10
95% IC (s)	6.45 a 1129.34	5.98 a 934.35	6.28 a 1098.48
CV (%)	0.18	0.10	0.16
$\Delta\text{VO}_{2\text{SC}}$ (ml.min ⁻¹)	96.1 \pm 69.7	98.66 \pm 65.70	68.46 \pm 69.77
VE (L.min ⁻¹)	129.1 \pm 27.7	140.0 \pm 22.8	131.5 \pm 22.5
FC (b.min ⁻¹)	187 \pm 7	188 \pm 6	192 \pm 7 ^{*,**}
FR (r.min ⁻¹)	58.1 \pm 7.1	59.8 \pm 10.6	60.4 \pm 6.5
QR	1.05 \pm 0.04	1.05 \pm 0.06	1.06 \pm 0.03
$[\text{La}^-]$ (mmol.L ⁻¹)	7.9 \pm 3.1	7.0 \pm 2.4	8.7 \pm 2.0

*p < 0.05 entre as condições de hidratos de carbono com adição de proteína e placebo.

**p < 0.05 entre as condições de hidratos de carbono com adição de proteína e hidratos de carbono.

Os valores médios \pm DP da percepção subjetiva de esforço e do desconforto gastrointestinal, obtidos nos domínios de intensidade baixa a moderada, alta e severa nas condições de placebo, hidratos de carbono e hidratos de carbono com adição de proteína, podem ser consultados nas tabelas 9 e 10, respetivamente. Verificou-se que a percepção subjetiva de esforço aumentou com o incremento de intensidade em todas as condições, assim como o desconforto gastrointestinal. Este último, no domínio de intensidade baixa a moderada e entre as condições de placebo e hidratos de carbono, apresentou diferenças significativas ($p = 0.04$), sendo que apenas três sujeitos na condição de placebo e oito sujeitos na condição de hidratos de carbono manifestaram algum nível de desconforto gastrointestinal.

Tabela 9. Valores médios \pm DP da percepção subjetiva de esforço nos domínios de intensidade baixa a moderada, alta e severa nas condições de placebo (PLA), hidratos de carbono (HC) e hidratos de carbono com adição de proteína (HC + PRO).

Condições	PLA	HC	HC + PRO
Baixa a moderada	11.0 \pm 2.4	11.1 \pm 1.7	11.6 \pm 1.8
Alta	14.9 \pm 3.3	15.6 \pm 1.6	16.4 \pm 1.3
Severa	18.2 \pm 1.3	17.9 \pm 1.1	18.5 \pm 1.1

Tabela 10. Valores médios \pm DP do desconforto gastrointestinal nos domínios de intensidade baixa a moderada, alta e severa nas condições de placebo (PLA), hidratos de carbono (HC) e hidratos de carbono com adição de proteína (HC + PRO).

Condições	PLA	HC	HC + PRO
Baixa a moderada	0.6 \pm 1.2*	1.9 \pm 1.3	1.0 \pm 1.2
Alta	1.6 \pm 2.2	2.8 \pm 2.4	1.9 \pm 2.0
Severa	1.9 \pm 2.6	2.7 \pm 2.9	2.3 \pm 2.8

* $p < 0.05$ entre as condições de placebo e hidratos de carbono

4. Discussão

O presente estudo avaliou a influência da suplementação pré-exercício em hidratos de carbono e hidratos de carbono com adição de proteína na cinética do VO_2 em corredores de meio-fundo. Apesar da resposta da cinética do VO_2 não ter apresentado diferenças significativas entre condições, verificou-se que a componente lenta foi observada em mais sujeitos na condição de placebo do que nas restantes condições no domínio de intensidade severa, sem diferenças nos respetivos parâmetros mas com A_2 tendencialmente maiores para essa condição. Os resultados não corroboram a hipótese de que o aumento da disponibilidade em hidratos de carbono influencia a cinética do VO_2 em corredores de meio-fundo, atrasando a entrada em fadiga.

O $\text{VO}_{2\text{max}}$ é um dos indicadores mais avaliados na fisiologia do exercício, utilizando-se para a sua determinação uma variedade de protocolos incrementais (Billat et al., 1996; Sousa et al., 2015). Para que os valores sejam considerados válidos e confiáveis são seguidos um conjunto de critérios que aumentam a probabilidade do valor obtido corresponder ao verdadeiro valor do $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Ozyener et al., 2001; Sousa et al., 2015). A ocorrência de plateau do VO_2 é tradicionalmente considerado o principal critério fisiológico para se determinar o $\text{VO}_{2\text{max}}$ (Duncan et al., 1997; Fernandes et al., 2003). Contudo, uma vez que nem sempre se verifica estabilidade entre patamares (Poole et al., 2008), consideram-se também critérios fisiológicos secundários, nomeadamente as $[\text{La}^-] \geq 8 \text{ mmol.L}^{-1}$, $\text{QR} > 1.15$ e FC elevada [$> 90\%$ (220-idade)] (Duncan et al., 1997; Fernandes et al., 2012; Poole et al., 2008).

Apesar de existirem evidências de que os valores do VO_2 não apresentam diferenças quando obtidos através de protocolos contínuos ou intermitentes (Cardoso et al., 2003), para se poder recolher sangue capilar para análise das $[\text{La}^-]$ é necessário que exista uma interrupção entre patamares durante o protocolo (Cardoso et al., 2003; Howley et al., 1995). No presente estudo, a utilização de um protocolo de corrida intermitente permitiu a recolha de amostras de sangue capilar, aparentemente sem comprometer a validade dos valores das variáveis respiratórias (VO_2 , FC e QR) e das $[\text{La}^-]$, pois os intervalos de

recuperação foram o mais curto possível. Por sua vez, o incremento de intensidade possibilitou analisar, para as diferentes condições de suplementação induzidas antes do exercício, o comportamento dessas variáveis nos domínios de intensidade baixa a moderada, alta e severa. Esse facto contribuiu para melhor compreender a influência a diferentes condições de suplementação pré-exercício nas diferentes intensidades de esforço comumente utilizadas em situação de treino e competição de corrida de meio-fundo.

A utilização de patamares de 4 min parece estar devidamente justificada pois alguns estudos concluíram que patamares de curta duração (~3 min) são suficientes para a estabilização dos valores de VO_2 e das $[\text{La}^-]$ (Chidnok et al., 2013; de Jesus et al., 2015; Kuipers et al., 2003). Contudo, o incremento do ritmo de corrida, necessário para contemplar diversos domínios de intensidade de exercício, levou a que o protocolo tivesse uma duração de ~30 min, claramente inferior às recomendações de suplementação pré-exercício indicadas para esforços de duração superior a 1 h (Burke et al., 2011). Esta pode ser uma das razões pelas quais não foram verificadas alterações na cinética do VO_2 entre as condições de suplementação e de controlo estudadas.

A literatura especializada indica que a adição de proteína a uma bebida que contém apenas hidratos de carbono induz um aumento das concentrações de insulina e cortisol devido à maior biodisponibilidade de aminoácidos. Essas alterações metabólicas e hormonais podem aumentar a oxidação de gordura em detrimento do glicogénio, poupando-o durante o exercício, levando a uma melhoria da performance desportiva no domínio de intensidade alta (Kerksick et al., 2017; Spiller et al., 1987). No entanto, no presente estudo, a resposta da cinética do VO_2 foi idêntica para as três condições existentes, não evidenciando uma melhoria da performance em qualquer das condições de suplementação. De facto, alguns estudos indicam que para esforços inferiores a 1 h, a suplementação pré-exercício atua apenas na capacidade de recuperação, beneficiando a performance de um exercício subsequente (Berardi et al., 2008; Betts et al., 2007; Kerksick et al., 2017).

A oxidação dos hidratos de carbono, gordura e proteína realiza-se na presença de O_2 . Quando a oxidação de gordura é utilizada como principal forma para obter energia, a produção de dióxido de carbono (CO_2) em relação ao O_2 consumido é menor. O aumento da sua produção verifica-se à medida que a oxidação dos hidratos de carbono se torna necessária para suprir as necessidades energéticas do exercício. Desta forma, a utilização do QR (razão entre o dióxido de carbono produzido e o O_2 consumido) torna-se muito importante por representar a variável fisiológica que estima o contributo dos hidratos de carbono e gorduras para a produção de energia. O QR apresenta valores teóricos que variam entre 0.7 (oxidação exclusiva de gorduras) e 1 (oxidação exclusiva de hidratos de carbono) (Prentice et al., 2013).

A literatura reporta que para um mesmo esforço, o QR é mais baixo quando as reservas musculares de glicogénio se encontram deplecionadas (Bouckaert et al., 2004; Gavin et al., 2015; Osborne & Schneider, 2006). Uma vez que a adição de proteína potencia a oxidação das gorduras em detrimento da utilização dos hidratos de carbono (Roberts et al., 2013), era esperado que valores significativamente inferiores do QR se verificassem na condição de hidratos de carbono com adição de proteína, principalmente no domínio de intensidade baixa a moderada, onde a utilização de gorduras como fonte energética é predominante. Os valores mais elevados do QR na condição de hidratos de carbono com adição de proteína no domínio de intensidade severa indicam que, ao contrário do esperado, parece existir um maior contributo glicolítico. Uma possível explicação reside no facto da adição de proteína poder aumentar as concentrações de glicagina (Jiang & Zhang, 2003), hormona responsável pela produção hepática de glicose, aumentando assim a quantidade de hidratos de carbono disponível (Ormsbee et al., 2014).

No presente estudo verificou-se que o aumento do QR é acompanhado pelo crescimento das $[La^-]$. O lactato (La^-) é uma importante fonte de energia e o principal precursor da gliconeogénese (produção de glicose a partir de aminoácidos e lactato), contribuindo para regular a glicemia (Brooks, 2018). Uma das principais causas do aumento das $[La^-]$ com a intensidade do exercício é o progressivo recrutamento das fibras musculares de contração rápida (Gladden,

2004). De igual forma, o aumento da glicólise (degradação de glicose) decorrente da ingestão e digestão de hidratos de carbono aumenta a produção de La^- nos tecidos periféricos (Brooks, 2018).

A literatura não é consensual quanto ao comportamento da cinética do La^- em função da disponibilidade de glicogénio. Alguns estudos verificaram que as $[\text{La}^-]$ são menores quando existe uma depleção das reservas de glicogénio comparativamente com uma situação normal (Bouckaert et al., 2004; Carter et al., 2004; Osborne & Schneider, 2006), enquanto outros apontam para maiores valores desta variável em condição de depleção (Gavin et al., 2015) ou até a inexistência de diferenças entre condições (Krustrup et al., 2004a). No presente estudo não foram verificadas diferenças nas $[\text{La}^-]$ entre condições de suplementação, apesar do seu aumento ser considerável com o aumento da intensidade, como esperado (Baldari & Guidetti, 2000; Sousa et al., 2015). Contudo, verifica-se que os valores das $[\text{La}^-]$ tendem a ser menores na condição de hidratos de carbono em todos os domínios de intensidade, demonstrando que possivelmente, os benefícios em termos de disponibilidade deste substrato não tiveram efeito.

O desconforto gastrointestinal é muito comum em atletas de meio-fundo e fundo (de Oliveira et al., 2014), sendo a ingestão de alimentos que contêm proteína e a intensidade do exercício, fatores associados a um maior risco de desenvolver este tipo de problemas (de Oliveira & Burini, 2014; Leiper et al., 2001). Assim, era esperado que a adição de proteína provocasse um maior desconforto gastrointestinal comparativamente com as restantes condições, principalmente no domínio de intensidade severa. O maior desconforto gastrointestinal observado na condição de hidratos de carbono, comparativamente com a condição de placebo, no domínio de intensidade baixa a moderada, não é acompanhado por um aumento da perceção subjetiva de esforço (que não apresentou diferenças entre condições), não oferecendo qualquer limitação à realização do exercício.

Relativamente à cinética do VO_2 , esta reflete a exigência energética a que o indivíduo está sujeito em determinada situação, pelo que a sua análise revela-se

uma ferramenta útil para melhorar a compreensão sobre a tolerância ao exercício (Duarte, 2010; Fernandes & Vilas-Boas, 2012). Durante um exercício no domínio de intensidade baixa a moderada, a contribuição de adenosina trifosfato (ATP) pela via da glicólise anaeróbia é diminuta, uma vez que a intensidade não é suficiente para potenciar a acumulação de iões de hidrogénio e adenosina difosfato (ADP), sinalizadores dessa via de produção de energia (Korzeniewski & Zoladz, 2015). Assim, para este domínio de intensidade as gorduras são o principal substrato energético responsável pela produção de energia (Venables et al., 2005; Volek et al., 2015).

Está amplamente descrito na literatura que no domínio de intensidade baixa a moderada, a cinética de VO_2 aumenta de forma monoexponencial e estabiliza em ~ 3 min (Hughson et al., 1988; Whipp, 1994), apresentando valores de τ_1 entre 25-35 s e de TD_1 entre 15-20 s (Burnley et al., 2000; Wilkerson et al., 2004). No presente estudo, verificou-se que a cinética do VO_2 no domínio de intensidade baixa a moderada foi melhor descrita através de um modelo monoexponencial, o que se encontra de acordo com a literatura anteriormente citada e com estudos realizados em corrida (Carter et al., 2000; Fawcner & Armstrong, 2003; Pringle et al., 2003). Para este tipo de esforços (abaixo do L_{AN}) são recrutadas preferencialmente as fibras musculares oxidativas (Vollestad & Blom, 1985), sendo que o aparecimento da componente lenta está associada a uma predominância no recrutamento das fibras musculares glicolíticas, que só se verifica para esforços acima do L_{AN} (Barstow et al., 2000).

A literatura reporta ainda que em condições de depleção das reservas musculares de glicogénio, o TD_1 e a τ_1 não apresentam diferenças comparativamente com uma condição de reposição normal desse substrato, enquanto que a A_1 aumenta na primeira condição (Krustrup et al., 2004a). Esse aumento da A_1 parece dever-se à estimulação do metabolismo lipídico observado nas fibras oxidativas nestas situações (Krustrup et al., 2004a; Pringle et al., 2003). Isto parece indicar que para uma condição de suplementação em hidratos de carbono, pelas razões inversas, ou seja, por um atraso na fadiga das fibras oxidativas e consequente atraso no recrutamento das fibras glicolíticas, os valores deste parâmetro sejam menores.

Os resultados do presente estudo relativos aos parâmetros da cinética do VO_2 não apresentam diferenças entre condições para o domínio de intensidade baixa a moderada. Estes resultados sugerem que neste domínio de intensidade, uma maior disponibilidade em hidratos de carbono não influenciou os parâmetros da cinética do VO_2 . Possivelmente, o maior contributo lipolítico verificado neste domínio de intensidade (Volek et al., 2015) foi suficiente para suprir as necessidades energéticas do exercício. De igual forma, o curto tempo de exercício decorrido para este domínio também explica a ausência de diferenças nos resultados (Burke et al., 2011). Contudo, os valores da A_1 , TD_1 e τ_1 encontram-se de acordo com outros estudos realizados em modalidades cíclicas (Cleuziou et al., 2004; Sousa et al., 2013) e em específico em corredores de meio-fundo (Carter et al., 2002), neste domínio de intensidade.

Como resposta ao exercício no domínio de intensidade alta, a cinética do VO_2 tende a apresentar um comportamento mais complicado do que no domínio de intensidade baixa a moderada (Barstow, 1994). O pequeno e moroso aumento de VO_2 verificado neste domínio, designado de componente lenta, indica que existe um aumento progressivo da ressíntese de ATP via oxidativa e via glicólise anaeróbia, sugerindo um decréscimo na eficiência da contração muscular (Grassi et al., 2015). Esta ineficiência leva ao aparecimento da fadiga, sendo que este efeito é menos pronunciado em indivíduos treinados (Grassi et al., 2015; Zoladz et al., 2008).

Adicionalmente, vários estudos têm verificado que o progressivo recrutamento das fibras musculares glicolíticas está associado ao desenvolvimento da componente lenta da cinética do VO_2 (Gaesser & Poole, 1996; Krstrup et al., 2004a; Pringle et al., 2003). Assim como as fibras oxidativas, as fibras glicolíticas são recrutadas desde o início do exercício. No entanto, ao longo de um esforço no domínio de intensidade alta, elas são recrutadas em maior proporção, enquanto que as fibras oxidativas entram em fadiga (Krstrup et al., 2004b). Quando deplecionadas as reservas de glicogénio das fibras oxidativas num exercício anterior, verifica-se um maior recrutamento das fibras glicolíticas no início de um exercício subsequente, levando ao aumento da A_1 (Carter et al., 2004; Osborne & Schneider, 2006) e A_2 (Osborne & Schneider, 2006), sem que

diferenças nos restantes parâmetros da cinética (Bouckaert et al., 2004; Krstrup et al., 2004a) e nas variáveis respiratórias (Gavin et al., 2015) se verifique.

A ausência de componente lenta verificada no presente estudo para a maioria dos sujeitos no domínio de intensidade alta, indica que a intensidade ou o tempo de exercício não foram suficientes para induzir o desequilíbrio metabólico esperado. Contudo, os patamares selecionados para caracterizar este domínio apresentam intensidades de esforço superiores ao L_{AN} , sendo por isso iminente o aparecimento da componente lenta caso o exercício continuasse. Outra possível explicação para a sua ausência no domínio de intensidade alta, reside no facto de indivíduos bem treinados aerobiamente, como corredores de meio fundo, apresentarem maior estabilização metabólica a nível muscular, levando a menores amplitudes da componente lenta em esforços acima do L_{AN} (Casaburi et al., 1987; Zoladz et al., 1998).

A literatura reporta um comportamento bi-exponencial para a cinética do VO_2 neste domínio de intensidade (Carter et al., 2000; Pringle et al., 2003; Reis et al., 2012). No entanto, os protocolos experimentais destes estudos foram realizados a uma intensidade constante, previamente definida e durante mais tempo do que aquele verificado no presente estudo. Por outro lado, a componente lenta tem sido reportada principalmente para o domínio de intensidade severa, onde os valores de VO_2 atingem o máximo (Billat, 2000; Fernandes et al., 2008), o que se encontra de acordo com os nossos resultados.

Ainda assim, no domínio de intensidade alta, a componente lenta verificou-se para um sujeito na condição de hidratos de carbono e em três sujeitos na condição de hidratos de carbono com adição de proteína. Os resultados de (Lopes, 2018) demonstram que a ingestão de hidratos de carbono induziu uma condição de hipoglicemia (derivada do aumento da resposta insulinémica), efeito contrário ao esperado, verificado noutros estudos (Foster et al., 1979; Kerksick et al., 2017) e que poderá ter contribuído para o aparecimento da componente lenta através de uma diminuição da disponibilidade dos hidratos de carbono.

Não foram verificadas diferenças entre condições em nenhum parâmetro da cinética do VO_2 no domínio de intensidade alta. Coletivamente, estes resultados

sugerem que, tal como no domínio de intensidade baixa a moderada, as condições de suplementação no domínio de intensidade alta não influenciaram a cinética do VO_2 . Era esperado que um maior desequilíbrio metabólico se verificasse para a condição de placebo, uma vez que sendo a única privada de suplemento, estaria mais cedo dependente das fibras glicolíticas para produzir energia. Esta condição (como descrito na literatura aqui já referida) levaria a uma maior A_1 e A_2 , sem que os restantes parâmetros fossem influenciados. Apesar de não se terem verificado diferenças, observou-se que os três sujeitos que manifestaram componente lenta na condição de hidratos de carbono com adição de proteína, apresentaram valores de A_1 tendencialmente mais baixos do que aqueles verificados para a condição de placebo. Este resultado, corrobora a hipótese de se ter verificado (principalmente para estes sujeitos) nesta condição uma hipoglicemia.

A manutenção do exercício no domínio de intensidade severa é de finita duração mas, caso se mantenha tempo suficiente (~ 3 min), é possível observar-se o aparecimento da componente lenta (Gaesser & Poole, 1996). Tem sido postulado que este parâmetro apresenta uma maior magnitude no domínio de intensidade severa, comparativamente com o domínio de intensidade alta (Billat et al., 1998a). Verificou-se no presente estudo que a componente lenta foi atingida por um maior número de sujeitos no domínio de intensidade severa, apresentando magnitudes mais elevadas do que no domínio de intensidade alta (para a maioria dos sujeitos), corroborando assim o referido postulado. Tal se deve ao facto de no domínio de intensidade severa o VO_2 não ser capaz de estabilizar, aumentando inexoravelmente até atingir o $\text{VO}_{2\text{max}}$, algo que não acontece no domínio de intensidade alta (Pringle et al., 2003; Whipp, 1994).

Observou-se que no domínio de intensidade severa os corredores apresentaram valores de A_1 e de τ_1 idênticos aos do domínio de intensidade alta. No entanto, os valores do TD_1 foram inferiores no último domínio. Estes resultados parecem demonstrar que houve uma diminuição do déficit de O_2 com o aumento da intensidade de esforço, o que se encontra de acordo com a literatura (Jones & Burnley, 2009). A magnitude do déficit de O_2 é uma função da amplitude da resposta do VO_2 e da sua constante temporal que exprime a contribuição da

energia obtida pela fosforilação de substratos energéticos de forma anaeróbia (Jones & Burnley, 2009). Assim, uma rápida cinética de VO_2 permite poupar a capacidade anaeróbia finita, reduzindo a utilização de glicogénio muscular e limitando a acumulação de metabolitos que estão associados à fadiga (Burnley & Jones, 2007).

No domínio de intensidade severa, contudo, a fadiga é atingida entre 2 a 4 min (Fernandes et al., 2003), observando-se que o VO_2 não chega a estabilizar, aumentando até atingir o $\text{VO}_{2\text{max}}$. De acordo com a literatura, a componente lenta verificada em corredores demonstra ser $\sim 20 \text{ ml.Kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$, magnitude reduzida quando comparada com outras modalidades cíclicas e individuais (Billat et al., 1998b; Carter et al., 2000). Uma possível justificação reside no facto das contrações excêntricas existentes no ciclo típico de corrida possibilitarem a acumulação de energia elástica que serve como fonte energética para a produção de movimento, diminuindo a necessidade de produzir energia via aeróbia (Billat et al., 1998b).

Além da determinação da componente lenta pelos modelos matemáticos, este parâmetro foi também calculado recorrendo ao método dos intervalos rígidos (MIR). Este método demonstrou de igual forma que a componente lenta da maioria dos sujeitos desta amostra não apresenta um valor fisiologicamente considerável (Billat, 2000) para as diferentes condições de suplementação nos domínios de intensidade alta e severa. A utilização dos 30 s finais do 2º min, parece ser o intervalo de tempo que mais se aproxima de uma estimação da componente lenta por modelos matemáticos (Koppo & Bouckaert, 2002; Oliveira et al., 2016), sendo que no presente estudo, ambos os métodos verificaram a inexistência da componente lenta para a maioria dos sujeitos.

Tem sido demonstrado que a amplitude da cinética do VO_2 aumenta com a intensidade, ao passo que a τ geralmente não se altera (Carter et al., 2002; Poole & Jones, 2012). Enquanto que corredores bem treinados aerobiamente apresentam respostas de VO_2 mais rápidas (menores valores de τ), tanto em esforços no domínio de intensidade baixa a moderada como nos domínios de intensidade alta e severa, quando comparados com corredores de distâncias

curtas, estes últimos apresentam amplitudes da componente lenta mais elevadas. Assim, τ menores apontam para um nível aeróbio elevado, enquanto que grandes amplitudes da componente lenta estão associadas a performances anaeróbias (Berger & Jones, 2007).

O estudo da cinética do VO_2 tem contribuído para aumentar o conhecimento sobre a resposta metabólica ao exercício, desvendando os mecanismos fisiológicos relacionados com a tolerância ao esforço. A maioria dos estudos, contudo, são realizados em ambiente laboratorial e demonstram pouca validade ecológica e pouca aplicabilidade prática. Além disso, são ainda escassos os estudos que avaliaram o efeito da suplementação pré-exercício em corredores de meio-fundo e ainda mais escassos aqueles que consideram essas condições de suplementação como variáveis explicativas da cinética do VO_2 . Assim, assume-se pertinente estudar os efeitos da suplementação pré-exercício nos parâmetros da cinética do VO_2 considerando:

- (i) Um protocolo retangular (“square-wave”) de corrida ao L_{AN} e ao $\text{VO}_{2\text{max}}$ (após determinar as intensidades correspondentes) até à exaustão para cada condição de suplementação.
- (ii) Uma amostra constituída unicamente por sujeitos do sexo masculino ou feminino, possibilitando inferir quais os efeitos da suplementação pré-exercício na cinética do VO_2 para uma dessas populações.
- (iii) O estudo de biomarcadores da fadiga muscular de forma a melhor entender qual o contributo das diferentes fibras musculares em situações de depleção/reposição das reservas dos diferentes macronutrientes.

5. Conclusões

Os benefícios da suplementação pré-exercício em hidratos de carbono e hidratos de carbono com adição de proteína na performance de corredores de meio-fundo são ambíguos. Acresce ainda que a literatura existente em relação aos efeitos destas estratégias de suplementação na cinética do VO_2 é escassa. Neste sentido, este estudo permitiu contribuir para afirmar que a suplementação pré-exercício em hidratos de carbono e hidratos de carbono com adição de proteína, induzida 30 min antes de um protocolo intermitente e de intensidade incremental não influencia a cinética do VO_2 em corredores de meio-fundo.

6. Bibliografia

- Baldari, C., & Guidetti, L. (2000). A simple method for individual anaerobic threshold as predictor of max lactate steady state. *Med Sci Sports Exerc*, 32(10), 1798-1802.
- Barstow, T. J. (1994). Characterization of VO₂ kinetics during heavy exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 26(11), 1327-1334.
- Barstow, T. J., Jones, A. M., Nguyen, P. H., & Casaburi, R. (2000). Influence of muscle fibre type and fitness on the oxygen uptake/power output slope during incremental exercise in humans. *Exp Physiol*, 85(1), 109-116.
- Barstow, T. J., & Mole, P. A. (1991). Linear and nonlinear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *J Appl Physiol* (1985), 71(6), 2099-2106.
- Berardi, J. M., Noreen, E. E., & Lemon, P. W. R. (2008). Recovery from a cycling time trial is enhanced with carbohydrate-protein supplementation vs. isoenergetic carbohydrate supplementation. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 5(1), 24.
- Berger, N. J., & Jones, A. M. (2007). Pulmonary O₂ uptake on-kinetics in sprint- and endurance-trained athletes. *Appl Physiol Nutr Metab*, 32(3), 383-393.
- Berryman, N., Mujika, I., Arvisais, D., Roubéix, M., Binet, C., & Bosquet, L. (2018). Strength Training for Middle- and Long-Distance Performance: A Meta-Analysis. *Int J Sports Physiol Perform*, 13(1), 57-63.
- Betts, J., Williams, C., Duffy, K., & Gunner, F. (2007). The influence of carbohydrate and protein ingestion during recovery from prolonged exercise on subsequent endurance performance. *Journal of Sports Sciences*, 25(13), 1449-1460.
- Billat, V. (2000). VO₂ slow component and performance in endurance sports. *Br J Sports Med*, 34(2), 83-85.
- Billat, V., Binsse, V., Petit, B., & Koralsztejn, J. P. (1998a). High level runners are able to maintain a VO₂ steady-state below VO₂max in an all-out run over their critical velocity. *Arch Physiol Biochem*, 106(1), 38-45.

- Billat, V., Hill, D. W., Pinoteau, J., Petit, B., & Koralsztein, J. P. (1996). Effect of protocol on determination of velocity at VO₂ max and on its time to exhaustion. *Arch Physiol Biochem*, 104(3), 313-321.
- Billat, V., Lepretre, P. M., Heugas, A. M., Laurence, M. H., Salim, D., & Koralsztein, J. P. (2003). Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Med Sci Sports Exerc*, 35(2), 297-304; discussion 305-296.
- Billat, V., Richard, R., Binsse, V. M., Koralsztein, J. P., & Haouzi, P. (1998b). The V(O₂) slow component for severe exercise depends on type of exercise and is not correlated with time to fatigue. *J Appl Physiol* (1985), 85(6), 2118-2124.
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, 14(5), 377-381.
- Bouckaert, J., Jones, A. M., & Koppo, K. (2004). Effect of glycogen depletion on the oxygen uptake slow component in humans. *Int J Sports Med*, 25(5), 351-356.
- Brooks, G. A. (2018). The Science and Translation of Lactate Shuttle Theory. *Cell Metab*, 27(4), 757-785.
- Burke, L. M., Hawley, J. A., Wong, S. H., & Jeukendrup, A. E. (2011). Carbohydrates for training and competition. *J Sports Sci*, 29 Suppl 1, S17-27.
- Burnley, M., & Jones, A. M. (2007). Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *European Journal of Sport Science*, 7(2), 63-79.
- Burnley, M., Jones, A. M., Carter, H., & Doust, J. H. (2000). Effects of prior heavy exercise on phase II pulmonary oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *J Appl Physiol* (1985), 89(4), 1387-1396.
- Cardoso, C., Fernandes, R. J., Magalhães, J., Santos, P., Colaco, P., Soares, S., Carmo, C., Barbosa, T., & Vilas Boas, J. P. (2003). Comparison of Continuous and Intermittent Incremental Protocols for Direct VO₂max Assessment. *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, 313-318.

- Carter, H., Jones, A. M., Barstow, T. J., Burnley, M., Williams, C. A., & Doust, J. H. (2000). Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison. *J Appl Physiol* (1985), 89(3), 899-907.
- Carter, H., Pringle, J. S., Boobis, L., Jones, A. M., & Doust, J. H. (2004). Muscle glycogen depletion alters oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 36(6), 965-972.
- Carter, H., Pringle, J. S., Jones, A. M., & Doust, J. H. (2002). Oxygen uptake kinetics during treadmill running across exercise intensity domains. *Eur J Appl Physiol*, 86(4), 347-354.
- Casaburi, R., Storer, T. W., Ben-Dov, I., & Wasserman, K. (1987). Effect of endurance training on possible determinants of VO₂ during heavy exercise. *J Appl Physiol* (1985), 62(1), 199-207.
- Chidnok, W., Dimenna, F. J., Bailey, S. J., Burnley, M., Wilkerson, D. P., Vanhatalo, A., & Jones, A. M. (2013). .VO₂max is not altered by self-pacing during incremental exercise. *Eur J Appl Physiol*, 113(2), 529-539.
- Cleuziou, C., Perry, S., Borrani, F., Lecoq, A. M., Candau, R., Courteix, D., & Obert, P. (2004). Dynamic responses of oxygen uptake at the onset and end of moderate and heavy exercise in trained subjects. *Can J Appl Physiol*, 29(1), 32-44.
- Corduas, M. (1992). Bootstrapping moving average models. *Journal of the Italian Statistical Society*, 1(2), 227-234.
- de Jesus, K., Guidetti, L., de Jesus, K., Vilas-Boas, J. P., Baldari, C., & Fernandes, R. J. (2014). Which are the best VO₂ sampling intervals to characterize low to severe swimming intensities? *Int J Sports Med*, 35(12), 1030-1036.
- de Jesus, K., Sousa, A., de Jesus, K., Ribeiro, J., Machado, L., Rodriguez, F., Keskinen, K., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2015). The effects of intensity on VO₂ kinetics during incremental free swimming. *Appl Physiol Nutr Metab*, 40(9), 918-923.
- de Oliveira, E. P., & Burini, R. C. (2014). Carbohydrate-dependent, exercise-induced gastrointestinal distress. *Nutrients*, 6(10), 4191-4199.

- de Oliveira, E. P., Burini, R. C., & Jeukendrup, A. (2014). Gastrointestinal complaints during exercise: prevalence, etiology, and nutritional recommendations. *Sports Med*, 44 Suppl 1(Suppl 1), S79-85.
- Demarle, A. P., Slawinski, J. J., Laffite, L. P., Bocquet, V. G., Koralsztejn, J. P., & Billat, V. L. (2001). Decrease of O₂ deficit is a potential factor in increased time to exhaustion after specific endurance training. *J Appl Physiol* (1985), 90(3), 947-953.
- do Nascimento Salvador, P. C., Dal Pupo, J., De Lucas, R. D., de Aguiar, R. A., Arins, F. B., & Guglielmo, L. G. (2016). The V[Combining Dot Above]O₂ Kinetics of Maximal and Supramaximal Running Exercises in Sprinters and Middle-Distance Runners. *J Strength Cond Res*, 30(10), 2857-2863.
- Duarte, J. A. (2010). Volume de oxigénio consumido por minuto (VO₂). *Revista de Medicina Desportiva informa*, 18-20.
- Duncan, G. E., Howley, E. T., & Johnson, B. N. (1997). Applicability of VO₂max criteria: discontinuous versus continuous protocols. *Med Sci Sports Exerc*, 29(2), 273-278.
- Evans, E. M., Rowe, D. A., Misic, M. M., Prior, B. M., & Arngrimsson, S. A. (2005). Skinfold prediction equation for athletes developed using a four-component model. *Med Sci Sports Exerc*, 37(11), 2006-2011.
- Fawkner, S., & Armstrong, N. (2003). Oxygen uptake kinetic response to exercise in children. *Sports Med*, 33(9), 651-669.
- Fernandes, R. J., Cardoso, C. S., Soares, S. M., Ascensao, A., Colaco, P. J., & Vilas-Boas, J. P. (2003). Time limit and VO₂ slow component at intensities corresponding to VO₂max in swimmers. *Int J Sports Med*, 24(8), 576-581.
- Fernandes, R. J., de Jesus, K., Baldari, C., de Jesus, K., Sousa, A. C., Vilas-Boas, J. P., & Guidetti, L. (2012). Different VO₂max time-averaging intervals in swimming. *Int J Sports Med*, 33(12), 1010-1015.
- Fernandes, R. J., Keskinen, K. L., Colaco, P., Querido, A. J., Machado, L. J., Morais, P. A., Novais, D. Q., Marinho, D. A., & Vilas Boas, J. P. (2008). Time limit at VO₂max velocity in elite crawl swimmers. *Int J Sports Med*, 29(2), 145-150.

- Fernandes, R. J., Sousa, M., Machado, L., & Vilas-Boas, J. P. (2011). Step length and individual anaerobic threshold assessment in swimming. *Int J Sports Med*, 32(12), 940-946.
- Fernandes, R. J., & Vilas-Boas, J. P. (2012). Time to Exhaustion at the VO₂max Velocity in Swimming: A Review. *J Hum Kinet*, 32, 121-134.
- Figueiredo, P., Morais, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2013). Changes in arm coordination and stroke parameters on transition through the lactate threshold. *Eur J Appl Physiol*, 113(8), 1957-1964.
- Finger, D., Lanferdini, F. J., Farinha, J. B., Brusco, C. M., Helal, L., Boeno, F. P., Cadore, E. L., & Pinto, R. S. (2018). Ingestion of carbohydrate or carbohydrate plus protein does not enhance performance during endurance exercise: a randomized crossover placebo-controlled clinical trial. *Appl Physiol Nutr Metab*, 43(9), 937-944.
- Foster, C., Costill, D. L., & Fink, W. J. (1979). Effects of preexercise feedings on endurance performance. *Med Sci Sports*, 11(1), 1-5.
- Gaesser, G. A. (1994). Influence of endurance training and catecholamines on exercise VO₂ response. *Med Sci Sports Exerc*, 26(11), 1341-1346.
- Gaesser, G. A., & Poole, D. C. (1996). The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sport Sci Rev*, 24, 35-71.
- Gavin, J. P., Myers, S. D., & Willems, M. E. (2015). The effect of glycogen reduction on cardiorespiratory and metabolic responses during downhill running. *Eur J Appl Physiol*, 115(5), 1125-1133.
- Gladden, L. B. (2004). Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *J Physiol*, 558(Pt 1), 5-30.
- Grassi, B., Poole, D. C., Richardson, R. S., Knight, D. R., Erickson, B. K., & Wagner, P. D. (1996). Muscle O₂ uptake kinetics in humans: implications for metabolic control. *J Appl Physiol* (1985), 80(3), 988-998.
- Grassi, B., Rossiter, H. B., & Zoladz, J. A. (2015). Skeletal muscle fatigue and decreased efficiency: two sides of the same coin? *Exerc Sport Sci Rev*, 43(2), 75-83.
- Hargreaves, M., & Spriet, L. L. (2018). Exercise Metabolism: Fuels for the Fire. *Cold Spring Harb Perspect Med*, 8(8).

- Heck, A. L., Barroso, C. S., Callie, M. E., & Bray, M. S. (2004). Gene-nutrition interaction in human performance and exercise response. *Nutrition*, 20(7-8), 598-602.
- Hill, D. W., Poole, D. C., & Smith, J. C. (2002). The relationship between power and the time to achieve .VO₂(max). *Med Sci Sports Exerc*, 34(4), 709-714.
- Howley, E. T., Bassett, D. R., Jr., & Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc*, 27(9), 1292-1301.
- Hughson, R. L., Sherrill, D. L., & Swanson, G. D. (1988). Kinetics of VO₂ with impulse and step exercise in humans. *J Appl Physiol* (1985), 64(1), 451-459.
- Ingham, S. A., Whyte, G. P., Pedlar, C., Bailey, D. M., Dunman, N., & Nevill, A. M. (2008). Determinants of 800-m and 1500-m running performance using allometric models. *Med Sci Sports Exerc*, 40(2), 345-350.
- Ivy, J. L., Res, P. T., Sprague, R. C., & Widzer, M. O. (2003). Effect of a carbohydrate-protein supplement on endurance performance during exercise of varying intensity. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 13(3), 382-395.
- Jiang, G., & Zhang, B. B. (2003). Glucagon and regulation of glucose metabolism. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 284(4), E671-678.
- Jones, A. M., & Burnley, M. (2009). Oxygen uptake kinetics: an underappreciated determinant of exercise performance. *Int J Sports Physiol Perform*, 4(4), 524-532.
- Jones, A. M., & Whipp, B. J. (2002). Bioenergetic constraints on tactical decision making in middle distance running. *Br J Sports Med*, 36(2), 102-104.
- Kerksick, C. M., Arent, S., Schoenfeld, B. J., Stout, J. R., Campbell, B., Wilborn, C. D., Taylor, L., Kalman, D., Smith-Ryan, A. E., Kreider, R. B., Willoughby, D., Arciero, P. J., VanDusseldorp, T. A., Ormsbee, M. J., Wildman, R., Greenwood, M., Ziegenfuss, T. N., Aragon, A. A., & Antonio, J. (2017). International society of sports nutrition position stand: nutrient timing. *J Int Soc Sports Nutr*, 14, 33.

- Koppo, K., & Bouckaert, J. (2002). The decrease in VO₂ slow component induced by prior exercise does not affect the time to exhaustion. *Int J Sports Med*, 23(4), 262-267.
- Korzeniewski, B., & Zoladz, J. A. (2015). Possible mechanisms underlying slow component of VO₂ on-kinetics in skeletal muscle. *J Appl Physiol* (1985), 118(10), 1240-1249.
- Krustrup, P., Soderlund, K., Mohr, M., & Bangsbo, J. (2004a). Slow-twitch fiber glycogen depletion elevates moderate-exercise fast-twitch fiber activity and O₂ uptake. *Med Sci Sports Exerc*, 36(6), 973-982.
- Krustrup, P., Soderlund, K., Mohr, M., & Bangsbo, J. (2004b). The slow component of oxygen uptake during intense, sub-maximal exercise in man is associated with additional fibre recruitment. *Pflugers Arch*, 447(6), 855-866.
- Kuipers, H., Rietjens, G., Verstappen, F., Schoenmakers, H., & Hofman, G. (2003). Effects of stage duration in incremental running tests on physiological variables. *Int J Sports Med*, 24(7), 486-491.
- Kuipers, H., Verstappen, F. T., Keizer, H. A., Geurten, P., & van Kranenburg, G. (1985). Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med*, 6(4), 197-201.
- Laird, K. T., Sherman, A. L., Smith, C. A., & Walker, L. S. (2015). Validation of the Abdominal Pain Index using a revised scoring method. *J Pediatr Psychol*, 40(5), 517-525.
- Lee, R. C., Wang, Z., Heo, M., Ross, R., Janssen, I., & Heymsfield, S. B. (2000). Total-body skeletal muscle mass: development and cross-validation of anthropometric prediction models. *Am J Clin Nutr*, 72(3), 796-803.
- Leiper, J. B., Prentice, A. S., Wrightson, C., & Maughan, R. J. (2001). Gastric emptying of a carbohydrate-electrolyte drink during a soccer match. *Med Sci Sports Exerc*, 33(11), 1932-1938.
- Lopes, A. (2018). Efeito da adição de proteína a uma bebida com hidratos de carbono ingerida antes do exercício em parâmetros fisiológicos e bioquímicos - Um estudo randomizado duplo-cego em atletas de meio-

fundo. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

- Ma, S., Rossiter, H. B., Barstow, T. J., Casaburi, R., & Porszasz, J. (2010). Clarifying the equation for modeling of VO₂ kinetics above the lactate threshold. *J Appl Physiol* (1985), 109(4), 1283-1284.
- Mujika, I., Halson, S., Burke, L. M., Balague, G., & Farrow, D. (2018). An Integrated, Multifactorial Approach to Periodization for Optimal Performance in Individual and Team Sports. *Int J Sports Physiol Perform*, 13(5), 538-561.
- Murias, J. M., Spencer, M. D., Kowalchuk, J. M., & Paterson, D. H. (2011). Influence of phase I duration on phase II VO₂ kinetics parameter estimates in older and young adults. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 301(1), R218-224.
- Oliveira, D. R., Goncalves, L. F., Reis, A. M., Fernandes, R. J., Garrido, N. D., & Reis, V. M. (2016). The oxygen uptake slow component at submaximal intensities in breaststroke swimming. *J Hum Kinet*, 51, 165-173.
- Ormsbee, M. J., Bach, C. W., & Baur, D. A. (2014). Pre-exercise nutrition: the role of macronutrients, modified starches and supplements on metabolism and endurance performance. *Nutrients*, 6(5), 1782-1808.
- Osborne, M. A., & Schneider, D. A. (2006). Muscle glycogen reduction in man: relationship between surface EMG activity and oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *Exp Physiol*, 91(1), 179-189.
- Ozyener, F., Rossiter, H. B., Ward, S. A., & Whipp, B. J. (2001). Influence of exercise intensity on the on- and off-transient kinetics of pulmonary oxygen uptake in humans. *J Physiol*, 533(Pt 3), 891-902.
- Poole, D. C., & Jones, A. M. (2012). Oxygen uptake kinetics. *Compr Physiol*, 2(2), 933-996.
- Poole, D. C., & Richardson, R. S. (1997). Determinants of oxygen uptake. Implications for exercise testing. *Sports Med*, 24(5), 308-320.
- Poole, D. C., Wilkerson, D. P., & Jones, A. M. (2008). Validity of criteria for establishing maximal O₂ uptake during ramp exercise tests. *Eur J Appl Physiol*, 102(4), 403-410.

- Prentice, R. L., Neuhouser, M. L., Tinker, L. F., Pettinger, M., Thomson, C. A., Mossavar-Rahmani, Y., Thomas, F., Qi, L., & Huang, Y. (2013). An exploratory study of respiratory quotient calibration and association with postmenopausal breast cancer. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev*, 22(12), 2374-2383.
- Pringle, J. S. M., Doust, J. H., Carter, H., Tolfrey, K., Campbell, I. T., & Jones, A. M. (2003). Oxygen uptake kinetics during moderate, heavy and severe intensity 'submaximal' exercise in humans: the influence of muscle fibre type and capillarisation. *European Journal of Applied Physiology*, 89(3), 289-300.
- Reis, J. F., Alves, F. B., Bruno, P. M., Vleck, V., & Millet, G. P. (2012). Oxygen uptake kinetics and middle distance swimming performance. In *J Sci Med Sport* (Vol. 15, pp. 58-63). Australia.
- Ribeiro, J., Figueiredo, P., Morais, S., Alves, F., Toussaint, H., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2017). Biomechanics, energetics and coordination during extreme swimming intensity: effect of performance level. *J Sports Sci*, 35(16), 1614-1621.
- Roberts, S., Desbrow, B., Grant, G., Anoopkumar-Dukie, S., & Leveritt, M. (2013). Glycemic response to carbohydrate and the effects of exercise and protein. *Nutrition*, 29(6), 881-885.
- Santos, J. A. R. (1995). Estudo comparativo, fisiológico, antropométrico e motor entre futebolistas de diferente nível competitivo e velocistas, meio-fundistas e fundistas de atletismo. Dissertação de Doutoramento apresentada à Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.
- Saunders, M. J., Kane, M. D., & Todd, M. K. (2004). Effects of a carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and muscle damage. *Med Sci Sports Exerc*, 36(7), 1233-1238.
- Saunders, M. J., Luden, N. D., & Herrick, J. E. (2007). Consumption of an oral carbohydrate-protein gel improves cycling endurance and prevents postexercise muscle damage. *J Strength Cond Res*, 21(3), 678-684.
- Sousa, A., Figueiredo, P., Zamparo, P., Pyne, D. B., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (2015). Exercise Modality Effect on Bioenergetical

- Performance at V O₂max Intensity. *Med Sci Sports Exerc*, 47(8), 1705-1713.
- Sousa, A., Jesus, K., Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. (2013). Oxygen uptake kinetics at moderate and extreme swimming intensities. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 19, 186-190.
- Spiller, G. A., Jensen, C. D., Pattison, T. S., Chuck, C. S., Whittam, J. H., & Scala, J. (1987). Effect of protein dose on serum glucose and insulin response to sugars. *Am J Clin Nutr*, 46(3), 474-480.
- Stellingwerff, T., Bovim, I. M., & Whitfield, J. (2019). Contemporary Nutrition Interventions to Optimize Performance in Middle-Distance Runners. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 29(2), 106-116.
- Thompson, M. A. (2017). Physiological and Biomechanical Mechanisms of Distance Specific Human Running Performance. In *Integr Comp Biol* (Vol. 57, pp. 293-300). England.
- van Loon, L. J., Greenhaff, P. L., Constantin-Teodosiu, D., Saris, W. H., & Wagenmakers, A. J. (2001). The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *J Physiol*, 536(Pt 1), 295-304.
- Venables, M. C., Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2005). Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women: a cross-sectional study. *J Appl Physiol* (1985), 98(1), 160-167.
- Volek, J. S., Noakes, T., & Phinney, S. D. (2015). Rethinking fat as a fuel for endurance exercise. *Eur J Sport Sci*, 15(1), 13-20.
- Vollestad, N. K., & Blom, P. C. (1985). Effect of varying exercise intensity on glycogen depletion in human muscle fibres. *Acta Physiol Scand*, 125(3), 395-405.
- Whipp, B. J. (1987). Dynamics of pulmonary gas exchange. *Circulation*, 76(6 Pt 2), Vi18-28.
- Whipp, B. J. (1994). The slow component of O₂ uptake kinetics during heavy exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 26(11), 1319-1326.
- Whipp, B. J., Rossiter, H. B., & Ward, S. A. (2002). Exertional oxygen uptake kinetics: a stamen of stamina? *Biochem Soc Trans*, 30(2), 237-247.

- Whipp, B. J., Ward, S. A., Lamarra, N., Davis, J. A., & Wasserman, K. (1982). Parameters of ventilatory and gas exchange dynamics during exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 52(6), 1506-1513.
- Whipp, B. J., & Wasserman, K. (1972). Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *J Appl Physiol*, 33(3), 351-356.
- Wilkerson, D. P., Koppo, K., Barstow, T. J., & Jones, A. M. (2004). Effect of prior multiple-sprint exercise on pulmonary O₂ uptake kinetics following the onset of perimaximal exercise. *J Appl Physiol* (1985), 97(4), 1227-1236.
- Zacca, R., Azevedo, R., Figueiredo, P., Vilas-Boas, J. P., Castro, F. A. S., Pyne, D. B., & Fernandes, R. J. (2019). VO₂FITTING: A Free and Open-Source Software for Modelling Oxygen Uptake Kinetics in Swimming and other Exercise Modalities. *Sports (Basel)*, 7(2).
- Zoladz, J., Duda, K., Majerczak, J., Emmerich, J., & Domanski, J. (1998). Pre-exercise acidification induced by ingestion of NH₄Cl increases the magnitude of the slow component of VO₂ kinetics in humans. *J Physiol Pharmacol*, 49(3), 443-455.
- Zoladz, J. A., Gladden, L. B., Hogan, M. C., Nieckarz, Z., & Grassi, B. (2008). Progressive recruitment of muscle fibers is not necessary for the slow component of VO₂ kinetics. *J Appl Physiol* (1985), 105(2), 575-580.