



Escola Superior de Ciências Sociais, Educação e Desporto

**EFEITOS DO DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO SELIM NO CONSUMO  
ENERGÉTICO DE CICLISTAS DE BTT**

**Trabalho realizador por:**

**Pedro Manuel de Castro Vigário Santos Silva**

**Aluno A034169**

**INSTITUTO POLITÉCNICO DA MAIA**

**2023**

# **EFEITOS DO DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO SELIM NO CONSUMO ENERGÉTICO DE CICLISTAS DE BTT**

Mestrado em Condição Física no Desporto e Exercício

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Instituto Politécnico da Maia  
Escola Superior de Ciências Sociais, Educação e Desporto

Trabalho realizado sob a orientação do professor:

Professor Doutor Pedro Martins

Coorientadores:

Professor Mestre António Sampaio

Professor Doutor Ricardo Ferreira

Pedro Manuel de Castro Vigário Santos Silva

Aluno nº 34169

**INSTITUTO POLITÉCNICO DA MAIA**

**OUTUBRO 2023**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta dissertação de mestrado à minha mulher Ana Rita, aos meus pais e aos meus sogros, pelo apoio e encorajamento na minha vontade de crescer através da procura constante da excelência.

## AGRADECIMENTOS

A realização e conclusão desta dissertação obriga-me a uma reflexão sobre o percurso traçado desde o seu início, que foi a licenciatura em Treino Desportivo, incentivado pela minha mulher Ana Rita, principal motivadora do meu regresso à academia pelo que merece o meu primeiro e muito especial agradecimento.

A concretização desta tese não seria possível sem o apoio, encorajamento, mestria e excelência académica que recebi dos professores e orientadores doutores Pedro Martins (Orientador), António Sampaio e Ricardo Ferreira (Coorientadores). As suas orientações, aconselhamento científico, experiência profissional e sentido crítico foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho, independentemente das contrariedades diversas superadas ao longo do seu decurso, permitindo-me também recolher um conjunto inigualável de mais-valias em termos de aprendizagens, evolução pessoal, experiência laboratorial e de tratamento de dados.

Para a recolha dos dados laboratoriais foi necessário recorrer ao laboratório do Centro de Avaliação Médica e Desportiva da Federação Portuguesa de Ciclismo, situado no Centro de Alto Rendimento em Anadia. Por isso, o meu especial e profundo agradecimento ao presidente Delmino Pereira pela autorização e apoio à utilização dos diversos meios e instrumentos do laboratório e por acreditar firmemente de que, o sucesso de uma federação desportiva, depende em muito da contínua formação superior e de excelência dos seus profissionais.

Agradecer também a todos os ciclistas que participaram neste projeto, pela sua disponibilidade, paciência e empenho nas tarefas solicitadas, salientando que vários tiveram deslocações longas desde as suas residências até ao laboratório.

Por fim, um agradecimento a todos, familiares e amigos, que acreditaram em mim e me apoiaram ao longo de todo este percurso.

# EFEITOS DO DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO SELIM NO CONSUMO ENERGÉTICO DE CICLISTAS DE BTT

## RESUMO

O processo de otimização da relação ciclista-bicicleta tem sido referido como fundamental para a otimização da performance do ciclista.

Na literatura publicada, os estudos são escassos para entender e tomar decisões sobre as consequências da modificação da posição do selim em ciclistas de BTT.

O objetivo principal deste estudo foi determinar as implicações na performance resultantes da alteração da posição do selim de um ciclista de BTT através da sua deslocação horizontal, em relação à posição de referência obtida por métodos tradicionais.

O desenho experimental deste estudo foi dividido em duas fases. Na primeira fase realizou-se um teste piloto com um participante com objetivo de testar os procedimentos experimentais. Na segunda fase realizou-se um teste submáximo em seis ciclistas de BTT de alto nível, onde se relacionou o deslocamento horizontal do selim com as variáveis consumo de oxigénio, concentração de lactato, frequência cardíaca e percepção subjetiva de esforço.

Em conclusão, os resultados sugerem que a variação horizontal do selim em ciclistas de BTT tem impacto no consumo de oxigénio, concentração de lactato, frequência cardíaca e percepção subjetiva de esforço e, consequentemente, na performance. Os resultados parecem ainda sugerir que, o deslocamento horizontal da posição do selim para posições avançadas na direção do guiador, tem benefícios para o ciclista reduzindo o consumo energético e que na determinação da posição ideal do selim deve ter-se em conta as características individuais do ciclista.

Palavras-chave: *posição do selim; btt; consumo energético; performance*

# EFEITOS DO DESLOCAMENTO HORIZONTAL DO SELIM NO CONSUMO ENERGÉTICO DE CICLISTAS DE BTT

## ABSTRACT

The process of optimizing the cyclist-bicycle relationship has been referred to as fundamental for optimizing cyclist performance.

In the published literature, studies are scarce to understand and make decisions about the consequences of changing the saddle position in mountain bike riders.

The main objective of this study was to determine the performance implications resulting from changing the position of a mountain bike cyclist's saddle through its horizontal displacement, in relation to the reference position obtained by traditional methods.

The experimental design of this study was divided into two phases. In the first phase, a pilot test was carried out with one participant in order to test the experimental procedures. In the second phase, a submaximal test was carried out on six high-level mountain bike cyclists where the horizontal displacement of the saddle was related to the variables oxygen consumption, lactate concentration, heart rate and subjective perception of exertion.

In conclusion, the results suggest that the horizontal variation of a MTB cyclist's saddle has an impact on oxygen consumption, lactate concentration, heart rate and subjective perception of exertion and, consequently, on performance. The results also seem to suggest that horizontal displacement of the saddle position towards forward positions in the direction of the handlebars has benefits for the cyclist by reducing energy consumption and that when determining the ideal position of the saddle the cyclist' individual characteristics must be taken into account.

*Keywords: saddle position; mountain bike; energy expenditure; performance*

## Índice

|                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Agradecimentos .....                                                              | iii |
| Resumo .....                                                                      | iv  |
| Abstract .....                                                                    | v   |
| Índice .....                                                                      | vi  |
| Lista de tabelas .....                                                            | ix  |
| Lista de figuras .....                                                            | x   |
| Lista de gráficos .....                                                           | xi  |
| Lista de abreviaturas .....                                                       | xii |
| CAPÍTULO I .....                                                                  | 1   |
| 1.1. Introdução.....                                                              | 1   |
| 1.2. Revisão da literatura .....                                                  | 3   |
| 1.2.1. BTT .....                                                                  | 3   |
| 1.2.2. BTT em Portugal .....                                                      | 3   |
| 1.2.2.1. XCO – Cross-Country Olímpico .....                                       | 4   |
| 1.2.2.2. XCM – Cross-Country Maratona .....                                       | 4   |
| 1.2.2.3. DHI – Down-Hill .....                                                    | 4   |
| 1.2.2.4. END – Enduro .....                                                       | 4   |
| 1.2.3. Caracterização fisiológica dos ciclistas de BTT XCO e das competições..... | 5   |
| 1.2.4. Perfil antropométrico e composição corporal dos ciclistas de BTT XCO.....  | 7   |
| 1.2.5. A bicicleta de BTT XCO .....                                               | 8   |
| 1.2.5.1. Suspensões .....                                                         | 8   |
| 1.2.5.2. Rodas 29” .....                                                          | 9   |
| 1.2.5.3. Desmultiplicações e transmissões .....                                   | 9   |
| 1.2.6. Posição do selim – Ciclismo de Estrada .....                               | 10  |
| 1.2.7. Ciclo da pedalada .....                                                    | 11  |
| 1.2.8. Musculatura envolvida na pedalada .....                                    | 13  |
| 1.2.9. Articulações envolvidas no ciclo da pedalada .....                         | 15  |
| 1.2.10. Forças aplicadas no pedal .....                                           | 18  |
| 1.2.11. Análise cinemática no ciclismo .....                                      | 18  |
| 1.2.12. Variáveis fisiológicas (dependentes) .....                                | 20  |
| 1.2.12.1. Consumo máximo de oxigénio – VO <sub>2</sub> max .....                  | 20  |
| 1.2.12.2. Frequência cardíaca (FC) .....                                          | 21  |

|                                                                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.2.12.3. Concentração de lactato (LAC) .....                                                                 | 22 |
| 1.2.12.4. Percepção subjetiva de esforço (RPE) .....                                                          | 22 |
| 1.2.13. Variáveis independentes .....                                                                         | 23 |
| 1.2.14. Variáveis de controlo .....                                                                           | 23 |
| 1.3. Pertinência do estudo .....                                                                              | 23 |
| 1.4. Problema .....                                                                                           | 24 |
| 1.5. Objetivos do estudo .....                                                                                | 24 |
| CAPÍTULO II .....                                                                                             | 26 |
| Umbrella Review .....                                                                                         | 26 |
| CAPÍTULO III .....                                                                                            | 60 |
| Trabalho experimental .....                                                                                   | 60 |
| 3.1 Amostra .....                                                                                             | 60 |
| 3.2 Design experimental e variáveis em estudo .....                                                           | 61 |
| Parte 1 – Estudo piloto .....                                                                                 | 61 |
| 3.2.1. Metodologia do estudo piloto .....                                                                     | 61 |
| 3.2.2. Avaliação do Consumo de Oxigénio - Protocolo Submáximo .....                                           | 63 |
| 3.2.3. Instrumentos de medida.....                                                                            | 67 |
| 3.2.4. Resultados do teste piloto.....                                                                        | 68 |
| 3.2.5. Discussão de resultados do teste piloto .....                                                          | 69 |
| 3.2.6. Conclusões, limitações e melhorias para o estudo experimental .....                                    | 69 |
| Parte 2 – Estudo experimental .....                                                                           | 70 |
| 3.3. Procedimentos e aspetos éticos .....                                                                     | 70 |
| 3.4. Tratamento estatístico dos dados .....                                                                   | 71 |
| 4.1. Caracterização dos participantes .....                                                                   | 71 |
| 4.2. Características antropométricas dos participantes.....                                                   | 71 |
| 4.3. Características fisiológicas dos participantes.....                                                      | 73 |
| 4.4. Altura do selim, amplitudes de deslocação do selim e variações utilizadas nos<br>ensaios submáximos..... | 74 |
| 4.5. Resultados do estudo experimental.....                                                                   | 74 |
| 4.5.1. Consumo de oxigénio .....                                                                              | 74 |
| 4.5.2. Concentração de lactato sanguíneo .....                                                                | 76 |
| 4.5.3. Frequência cardíaca .....                                                                              | 78 |
| 4.5.4. Percepção subjetiva de esforço .....                                                                   | 80 |

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| 4.6. Discussão de resultados do trabalho experimental..... | 81  |
| 4.6.1. Consumo de oxigénio .....                           | 81  |
| 4.6.2. Concentração de lactato .....                       | 82  |
| 4.6.3. Frequência cardíaca .....                           | 83  |
| 4.6.4. Perceção subjetiva de esforço .....                 | 83  |
| 4.7. Conclusão do trabalho experimental.....               | 84  |
| 4.8. Limitações e trabalhos futuros .....                  | 84  |
| 4.9. Referências do trabalho experimental .....            | 85  |
| CAPÍTULO IV .....                                          | 88  |
| Discussão geral dos resultados da tese .....               | 88  |
| CAPÍTULO V .....                                           | 91  |
| Conclusão geral da tese .....                              | 91  |
| CAPÍTULO VI .....                                          | 92  |
| Referências .....                                          | 92  |
| CAPÍTULO VII .....                                         | 100 |
| Anexos .....                                               | 100 |
| Anexo 1 - Checklist do Protocolo CONSORT .....             | 100 |
| Anexo 2 – Procedimento experimental do teste piloto .....  | 103 |
| Anexo 3 – Parecer da Comissão de Ética do N2i .....        | 104 |
| Anexo 4 – Consentimento informado .....                    | 106 |
| Anexo 5 – PRISMA 2020 checklist .....                      | 107 |

## Lista de Tabelas

|                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Amplitude de ativação máxima dos músculos dos membros inferiores envolvidos nos 360° do ciclo da pedalada (adaptado de Dorel et al. (2012)). | 15 |
| Tabela 2 - Dados recolhidos do participante no estudo piloto.                                                                                           | 68 |
| Tabela 3 - Registo de valores recolhidos no teste piloto.                                                                                               | 68 |
| Tabela 4 - Caracterização dos participantes no estudo.                                                                                                  | 72 |
| Tabela 5 - Caracterização antropométrica dos participantes no estudo.                                                                                   | 73 |
| Tabela 6 - Caracterização fisiológica dos participantes.                                                                                                | 73 |
| Tabela 7 - Cálculo da altura e das deslocações horizontais do selim.                                                                                    | 74 |
| Tabela 8 - Consumo de oxigénio em situação de plano e subida.                                                                                           | 75 |
| Tabela 9 – SMD relativa ao $\text{VO}_2$ .                                                                                                              | 76 |
| Tabela 10 - Concentração de lactato sanguíneo em situação de plano e subida.                                                                            | 77 |
| Tabela 11 – SMD relativo à LAC.                                                                                                                         | 78 |
| Tabela 12 - Frequência cardíaca em situação de plano e subida.                                                                                          | 79 |
| Tabela 13 – SMD relativa à FC.                                                                                                                          | 79 |
| Tabela 14 - Perceção subjetiva de esforço em plano e subida.                                                                                            | 80 |
| Tabela 15 – SMD relativa à RPE.                                                                                                                         | 80 |

## Lista de Figuras

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Bicicleta competição de BTT XCO .....                                                     | 9  |
| Figura 2 – Ciclo da pedalada dividido em quatro quadrantes e duas fases .....                        | 12 |
| Figura 3 - Músculos da perna envolvidos nas diferentes fases do ciclo da pedalada ...                | 14 |
| Figura 4 - Aplicação das forças principais aplicadas no pedal na fase propulsiva a 90°               | 17 |
| Figura 5 – Torque.....                                                                               | 18 |
| Figura 6 - Exemplo de dados retirados de uma análise com um sistema 3D .....                         | 19 |
| Figura 7 - Exemplo de dados relativos à parte superior do corpo com sistema 3D.....                  | 20 |
| Figura 8 - Avaliação biomecânica de uma ciclista utilizando um sistema de análise de movimento ..... | 20 |
| Figura 9 - Escala RPE de Borg 6-20 .....                                                             | 23 |
| Figura 10 - Amplitude de deslocamento permitida pela configuração do selim .....                     | 62 |
| Figura 11 - Bicicleta BTT utilizada nos ensaios .....                                                | 65 |
| Figura 12 - Método de Pruitt para a regulação da posição horizontal do selim .....                   | 66 |
| Figura 13 - Cálculo da altura do selim (AS) segundo Ferrer-Roca et al. (2012) .....                  | 67 |

## Lista de Gráficos

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1 – Gráfico representativo do procedimento experimental do estudo piloto.....                      | 64 |
| Gráfico 2 – Representação dos valores recolhidos no teste piloto.....                                      | 68 |
| Gráfico 3 - Gráfico representativo do procedimento experimental.....                                       | 71 |
| Gráfico 4 - Variação do consumo de oxigénio nas 3 situações avaliadas em plano e subida ....               | 76 |
| Gráfico 5 - Variação da concentração de lactato sanguíneo nas 3 situações avaliadas em plano e subida..... | 78 |
| Gráfico 6 - Variação da frequência cardíaca nas 3 situações avaliadas em plano e subida .....              | 79 |
| Gráfico 7 - Variação da perceção subjetiva de esforço nas 3 situações avaliadas em plano e subida.....     | 81 |

## **Lista de abreviaturas**

ADP – Adenosina difosfato

AS – Altura do selim

AT – Limiar aeróbio

ATP – Adenosina trifosfato

BMX – Bicycle Moto Cross – vertente do ciclismo

BTT – Bicicletas Todo-o-Terreno (mountain bike)

CAD – cadência ou frequência de pedalada

CC – Comprimento do crank

DHI – BTT Down-hill

DHS – deslocamento horizontal do selim

DP – Desvio padrão

END – BTT Enduro

FC – Frequência cardíaca

Fc – Força centrífuga

FPC – Federação Portuguesa de Ciclismo

Ft – força tangencial

IAT – Limiar anaeróbio individual

IMC – Índice de massa corporal

ISAK - International Society for the Advancement ok Kinanthropometry

LAC – concentração de lactato sanguíneo

LAN – Limiar aneróbio

Lc – braço da alavanca

LT – Limiar de lactato

P – Potência mecânica

MAP – Potência máxima aeróbia

PMA – Ponto morto alto

PMB – Ponto morto baixo

PC - fosfocreatina

RPE – percepção subjetiva de esforço

SMD – Standard Medium Difference

T - Torque

UCI – União Ciclista Internacional

V - Variância

Va – Velocidade angular

VCO<sub>2</sub> – produção de dióxido de carbono

VO<sub>2</sub> – Consumo de oxigénio

VO<sub>2</sub>max – Consumo máximo de oxigénio

XC – Cross-country

XCO – BTT Cross-country Olímpico

XCM – BTT Cross-country Maratona

## **CAPÍTULO I – Introdução**

As competições de BTT Cross-country Olímpico (XCO), decorrem em percursos todo-o-terreno, ao longo dos quais os atletas enfrentam dificuldades técnicas e físicas de grande exigência, em que a partida é dada em grupo que pode ser superior a uma centena participantes. As corridas disputam-se num número variado de voltas num percurso com 4 a 6 km de extensão e, para os ciclistas elites, com uma duração entre 80 e 100 minutos (UCI, 2021). As corridas têm uma partida explosiva e os ciclistas mantêm ao longo de toda a corrida uma intensidade alta e intermitente, em particular devido à alternância entre subidas e descidas e aos diversos obstáculos naturais e artificiais encontrados (Impellizzeri e Marcora, 2007; Stapelfeldt et al., 2004).

Segundo Macdermid e Stannard (2012), as competições de XCO são disputadas com uma média de frequência cardíaca próxima dos 90% do valor máximo, correspondendo a cerca de 84% do consumo máximo de oxigénio ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) e ainda que 80% do tempo de prova é passado acima do limiar de lactato. No entanto, nos últimos anos verificaram-se alterações progressivas nas características do XCO, nomeadamente a redução do tempo de corrida e a cada vez maior exigência dos obstáculos técnicos. Estas alterações levaram a perfis de corrida de maior exigência técnica e fisiológica com consequências no perfil do praticante (Schneeweiss et al. 2020). Estas exigências fisiológicas das provas de XCO devem refletir-se nos testes de avaliação e no controlo de treino realizado, no sentido do desenvolvimento desportivo do ciclista através de uma correta prescrição do treino, avaliando-se para isso parâmetros como o  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , limiares de lactato e o perfil de potência (Garvican et al., 2013; Schneeweiss et al., 2019). Neste aspeto, a avaliação dos parâmetros biomecânicos também contribui para o sucesso do ciclista de alto rendimento, nomeadamente a determinação da posição ideal do ciclista na bicicleta (Burt, 2014; Di Alencar, 2010; Ferrer-Roca, 2016), quer sob o ponto de vista do conforto e diminuição do risco de lesão, quer sob o ponto de vista do aerodinamismo (mais efetivo no ciclismo de estrada e de pista) e da eficiência na produção de força (torque).

Para a determinação da posição ideal do ciclista na sua bicicleta, o posicionamento do selim é um dos aspetos mais importantes. O seu correto ajuste é fundamental para a melhoria do rendimento e para a diminuição do risco de lesões (Peveler e Green, 2012). Para Burt (2014), a altura ótima do selim é o ajuste mais importante no que diz respeito à produção de potência e, conseqüentemente, na performance do ciclista. O ajuste da posição do selim pode ser realizado através de métodos dinâmicos, em que o ciclista pedala, ou estáticos, em que o ciclista se encontra em repouso. Segundo Ferrer-Roca (2012), tradicionalmente são utilizados métodos estáticos, em especial pela sua facilidade de aplicação e baixo custo. O selim pode ser ajustado

nas direções vertical e horizontal e a sua posição medida relativamente a componentes da bicicleta (e.g. posição do selim relativamente ao eixo pedaleiro) ou relativamente ao ciclista (e.g. altura do selim relativamente à altura do trocânter) (Bini e Carpes, 2014). Segundo Wanich et al. (2007), no ajuste da posição horizontal do selim a projeção vertical da extremidade do joelho deve coincidir com o centro do eixo do pedal. Os mesmos autores referem que a utilização de medidas antropométricas para a regulação da posição do selim está relacionada com conforto. No entanto, Peveler et al. (2005) referem que, a utilização de métodos baseados nos comprimentos dos segmentos corporais, resultam em ângulos de flexão do joelho diferentes para ciclistas diferentes. Nesse sentido, os métodos dinâmicos, em particular aqueles em que é utilizada tecnologia 2D ou 3D, são mais avançados e produzem resultados mais precisos (Burt, 2014).

O processo de otimização da relação ciclista-bicicleta é um dos fatores importantes para a maximização do desempenho do ciclista, para melhoria do conforto e redução do risco de lesão (Atkinson et al., 2003; Belluye & Cid, 2001). Segundo Ricard et al. (2016), consoante as características geográficas da corrida, os ciclistas modificam o seu posicionamento no selim. Os mesmos autores referem que alguns ciclistas tendem a sentar-se mais atrás no selim em subidas, optando por posições mais adiantadas no selim nos sprints e nos contrarrelógios. No entanto, de acordo com Fonda et al. (2011), durante as subidas, os ciclistas de BTT necessitam de realizar adaptações posturais de forma a evitar o levantamento da roda da frente, estabilizar a posição na bicicleta e sem perder a necessária tração. Esta adaptação normalmente resulta no deslocamento do ciclista no sentido da frente da bicicleta, acompanhado da flexão do tronco e dos cotovelos. Para auxiliar neste avançar de posição, os ciclistas movem o selim horizontalmente na direção do guiador (frente da bicicleta). Esta alteração é realizada empiricamente, sem qualquer base científica e, frequentemente, sem o devido aconselhamento dos treinadores. Com este deslocamento do selim, ciclistas e treinadores afirmam que o ciclista consegue aplicar mais potência e serem mais eficientes. No entanto, num estudo com ciclistas de estrada, Rankin e Neptune (2010) concluíram que esta afirmação é falsa. O ajuste da bicicleta aos segmentos corporais do ciclista é considerado fundamental para a otimização das forças exercidas pelos músculos envolvidos na pedalada (Bini & Carpes, 2014), bem como nos padrões de ativação muscular (Chapman et al., 2008). A variação da posição horizontal do selim tem efeitos ao nível da posição espacial do ciclista sobre a bicicleta, na posição relativa das suas articulações e, com isso, alteram-se as angulações produzidas pelas articulações e segmentos corporais envolvidos na pedalada e, conseqüentemente, na produção de energia para avanço da bicicleta: anca, joelho, tornozelo, ombro e cotovelo.

## **1.1. Revisão da literatura**

### **1.2.1. BTT**

O ciclismo é uma modalidade desportiva praticada em todos os continentes, altamente profissionalizada e de grande complexidade, dividida em diversas vertentes e especialidades, abrangendo distintos perfis de praticantes, desde o endurance à velocidade, das clássicas e tradicionais competições de estrada, às mais radicais competições de BTT Down-Hill ou o BMX. Segundo Hopker (2016), o ciclismo profissional é um grande negócio, as grandes equipas têm, anualmente, orçamentos de vários milhões de euros, promovendo a necessidade continua de obtenção de sucesso desportivo.

O BTT nasceu na Califórnia no meio da década de 1950 através de brincadeiras de alguns ciclistas e de alguns surfistas que procuraram desafios bem diferentes das competições de estrada tradicionais e atividades para dias sem ondas. Os primeiros nomes que apareceram foram: James Finley Scott: "provavelmente" a primeira pessoa a modificar uma bicicleta exclusivamente para andar na terra - em 1953. Utilizou um quadro para passeio Schwinn, pneus largos, conhecidos como balão, guiador reto, travões cantilever e mudanças; Tom Ritchey e Gary Fisher: pioneiros na prática do desporto e no desenvolvimento de componentes em série, como futuramente bicicletas próprias para o novo estilo. Fundadores das empresas Gary Fisher e Ritchey; Joe Breeze: fabricou a primeira bicicleta para a prática do BTT, a Breezer # 1 em outubro de 1977. O BTT é praticado em estradas de terra, trilhos de quintas e montanhas e dentro de parques e até na cidade. É uma modalidade que envolve resistência, destreza e autossuficiência. Como é comum a prática do desporto em locais isolados, o aspeto de autossuficiência é importante para que o ciclista consiga realizar pequenos reparos na sua bicicleta (Federação Portuguesa de Ciclismo, 2021). As competições em BTT (bicicletas todo-o-terreno), na variante Cross-Country Olímpico (XCO), integram o programa olímpico desde 1996, sendo uma modalidade altamente profissionalizada. As principais competições internacionais de BTT são os Jogos Olímpicos, o Campeonato do Mundo, O Campeonato Continental e a Taça do Mundo.

### **1.2.2. BTT em Portugal**

Em Portugal o BTT desenvolve-se essencialmente em quatro disciplinas principais: Cross-Country Olímpico (XCO), Cross-Country Maratona (XCM), Down-Hill (DHI) e Enduro (END). A Taça de Portugal BTT, em cada uma das suas especialidades, é constituída por um conjunto de corridas, de acordo com o calendário publicado no site da UVP-Federação Portuguesa de Ciclismo. O vencedor é o atleta que, no somatório de todas as provas, obtém o

maior nº de pontos. As provas da Taça de Portugal XCO são sempre internacionais registadas no calendário da União Ciclista Internacional (UCI). O Campeonato Nacional é constituído por uma única prova sendo o vencedor nesse dia o Campeão Nacional. De seguida são descritas as principais disciplinas do BTT praticadas em Portugal (Federação Portuguesa de Ciclismo, 2021).

#### 1.2.2.1. XCO – Cross-Country Olímpico

As corridas de Cross-Country são disputadas em circuitos ondulantes (com descidas técnicas, estradas da floresta, trajetos rochosos e obstáculos) de 4 a 6 quilómetros de extensão. A corrida varia entre 1h20 a 2h00, dependendo da categoria. Na Taça de Portugal BTT XCO, participam exclusivamente atletas filiados nas categorias de competição, a partir dos 15 anos (Cadetes) até a maiores de 60 anos (Masters 60).

#### 1.2.2.2. XCM – Cross-Country Maratona

O evento da maratona é uma versão longa do cross-country, disputada num percurso de 60 a 120 quilómetros e um mínimo de 3 horas. Uma característica especial é que, os ciclistas de todas as categorias, dos entusiastas aos profissionais, competem juntos. O evento de maratona é realizado em região montanhosa. Para além da vertente competitiva, é também uma excelente oportunidade turística, percorrendo os pontos mais interessantes das localidades por onde passa.

#### 1.2.2.3. DHI – Down-Hill

O Down-Hill é uma corrida contrarrelógio em descida, com duração entre os 2 e os 5 minutos, na qual o ciclista negocia uma sucessão de passagens rápidas e técnicas de grande espetacularidade. Os concorrentes devem demonstrar coragem, bem como excelente técnica e habilidade de condução, a fim de ultrapassar raízes, saltos, lombas e outros obstáculos naturais ao longo do percurso. Atingem-se velocidades altíssimas, na ordem de 80km/h nas corridas dos homens e 70km/h para mulheres.

#### 1.2.2.4. END – Enduro

Geralmente, as corridas de Enduro envolvem entre 3 a 6 especiais cronometradas. As especiais cronometradas da corrida são na maior parte em descida, mas podem variar na inclinação, no comprimento e na dificuldade, dependendo da localização. Entre cada etapa, haverá "percursos de ligação" não cronometrados, que são, na maior parte, em subida. O Enduro

combina elementos de todas as disciplinas de competição, desde a aptidão física necessária para corridas de cross-country, a resistência mental necessária para corridas ao estilo XC e as habilidades de manuseio de bicicletas ao estilo freeride/DHI. A par do XCM, tem a característica especial de as vertentes altamente competitiva e profissional e a de lazer, competirem juntas.

De acordo com a UCI, o ciclismo é uma modalidade desportiva praticada em todos os continentes. Sob o ponto de vista desportivo, Portugal teve a sua primeira presença nos Jogos Olímpicos em Londres 2012, na disciplina olímpica do BTT que é o XCO, marcando sempre presença desde então. No palmarés português constam também os títulos de Campeão do Mundo e da Europa (este por duas vezes) no XCM, para além de vários resultados de pódio nestas competições.

### **1.2.3. Caracterização fisiológica dos ciclistas de BTT XCO e das competições**

As competições olímpicas de Cross-country (XCO) são disputadas num único dia, com uma partida em grupo, os ciclistas dão várias voltas num circuito de 4 a 6 km, em diferentes tipos de superfícies, com 80 a 100 min de duração (Stapelfeldt, 2004; UCI, 2021). À partida, os atletas são chamados e dispostos em linhas de 8 elementos, ordenados pelo ranking internacional, da pontuação mais alta para a pontuação mais baixa. Segundo Vigário (2021), o perfil geográfico de um percurso de XCO varia dramaticamente de corrida para corrida, não existindo por isso um perfil típico. As principais competições internacionais são geralmente disputadas por mais de uma centena de atletas, num percurso acidentado, técnico e fisicamente exigente, e muitas vezes estreito, resultando num ritmo explosivo desde o início, seguido de intensos e intermitentes esforços em cerca de 1h30 (Stapelfeldt, 2004). De acordo com Macdermid e Stannard (2012), as corridas de XCO consistem de esforços supramáximos, em explosões curtas e curtos períodos de descanso, que exigem uma capacidade aeróbia bem desenvolvida, mas também um alto fornecimento de energia anaeróbia. Os autores referem ainda que o trabalho mecânico realizado e as respostas fisiológicas das corridas de XCO são descontínuos como resultado de mudanças no terreno e nas características do percurso. Como resultado, as corridas de XCO são predominadas por pedaladas de alta força e baixa velocidade durante a subida e, combinadas com uma alta taxa de trabalho oscilante, exigem uma provisão de energia aeróbia muito alta, com contribuição anaeróbia intermitente. O stress adicional durante os troços em declive, permite uma recuperação menor do que a observada noutras disciplinas de ciclismo, enfatizada por valores fisiológicos não variáveis em relação ao terreno. Num estudo de Impellizzeri e Marcora (2007), numa caracterização fisiológica dos ciclistas de

BTT, indicaram como pré-requisitos para competir ao mais alto nível em eventos de ciclismo Off-Road (BTT): Potência Aeróbia ( $VO_{2max} > 70$  mL/kg/min); Capacidade de sustentar altas taxas de trabalho por períodos prolongados de tempo; Capacidade de suportar grande acidose muscular (altas concentrações de lactato e liberação de  $H^+$ ); Valor elevado de potência no Limiar Anaeróbio (LAN) e máxima. Segundo Lee et al. (2002), a relação peso/potência elevada é fundamental para alcançar o êxito em BTT. As características antropométricas dos ciclistas de montanha (BTT), são semelhantes aos escaladores e ciclistas de estrada todo-o-terreno – excelente relação peso/potência – potência relativa W/kg. Segundo Impellizzeri e Marcora (2007), comparativamente com o Ciclismo de Estrada, o treino deve ser orientado para menor volume, mas maior intensidade, fundamentalmente aeróbio intervalado e intermitente. Os mesmos autores referem que as competições de XCO são disputadas com uma média de frequência cardíaca próxima dos 90% do valor máximo, correspondendo a cerca de 84% do consumo máximo de oxigénio ( $VO_{2max}$ ) e ainda que 80% do tempo de prova é passado acima do limiar de lactato. Outros estudos demonstraram que os atletas de XCO trabalham em altas intensidades (80 a 90% FC máx.) por longos períodos de tempo, superiores a 1h00, dependendo, por esse motivo do fornecimento oxidativo de Adenosina Trifosfato (ATP) (Gregory et al., 2007; Lee et al., 2002; Stapelfeldt et al., 2004).

Ainda sob o ponto de vista das exigências fisiológicas, as competições de BTT XCO são tipicamente de resistência, em que cerca de 40% da distância total é realizada em subida, o que corresponde a cerca de 66 a 80% do tempo total de prova (Macdermid et al., 2014; MacRae et al., 2000). Num estudo sobre as exigências fisiológicas no XCO, Hays et al. (2018) referem que, o formato atual das provas de XCO, é de um exercício de alta intensidade, acíclico, intermitente, em que a primeira volta é disputada na maior intensidade, sendo que, nas subseqüentes, o exercício se torna mais aeróbio, com acelerações curtas de 5 a 30 segundos de altos valores de potência. Estes achados estão de acordo com Stapelfeldt et al. (2004), segundo os quais, as corridas XCO caracterizam-se por exercícios de alta intensidade através de esforços intermitentes, em que, relativamente ao tempo total competição, 39% é disputado abaixo do limiar aeróbio (AT), 19% entre o AT e o Limiar Anaeróbio Individual (IAT), 20% entre o IAT e a Potência Máxima Aeróbia (MAP - determinada em teste incremental) e 22% acima da MAP. Este tipo de exercício requer produção de elevadas quantidades de energia. As potências requeridas, que ultrapassam os 500W, exigidas nas subidas inclinadas e na fase inicial de partida e primeira volta, também na ultrapassagem de obstáculos técnicos, sugerem que o sistema anaeróbio é também fundamental para o rendimento em provas de XCO (Impellizzeri e Marcora, 2007). Resumindo, as competições de BTT XCO caracterizam-se por esforços

próximos do limiar anaeróbio, potências próximas do limiar, elevada tolerância ao lactato e frequência cardíaca e potência mecânica intermitentes.

#### **1.2.4. Perfil antropométrico e composição corporal dos ciclistas de BTT XCO**

Os dados antropométricos e fisiológicos de diferentes grupos de indivíduos são amplamente utilizados como parâmetro para ajudar treinadores e ciclistas na seleção e desenvolvimento desportivo. No ciclismo de endurance, parâmetros como a altura, a massa corporal, a composição corporal, o consumo máximo de oxigénio ( $\text{VO}_2\text{Max}$ ) e MAP dos ciclistas são amplamente utilizados. Segundo Engelbrecht e Terblanche (2017) e Prins et al. (2007), a MAP e o  $\text{VO}_2\text{max}$  têm uma forte correlação com o tempo de corrida de XCO, sendo esta correlação ainda mais forte quando normalizados à massa corporal, sugerindo então que a massa corporal é um fator importante na performance em XCO.

A composição corporal de um ciclista pode ser avaliada considerando a soma de um determinado número de pregas adiposas subcutâneas (Cheung e Zabala, 2017), sendo que um ciclista profissional pode ter um valor inferior a 20mm na soma de 7 pregas (tríceps, subscapular, bíceps, supraespinal, abdominal, coxa e gastrocnémio medial). Este é uma metodologia adotada pela International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK). Normalmente a composição corporal é monitorizada longitudinalmente e frequentemente comparando grupos de ciclistas da mesma equipa e/ou disciplina. Outros métodos de avaliação da composição corporal tecnologicamente mais avançados incluem a impedância bioelétrica (Moon, 2013) e a Dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA), considerada a golden standard na ciência da composição corporal. Esta técnica permite aos cientistas obter uma medição precisa da massa magra, massa gorda e outros parâmetros importantes e interessantes de um ciclista, como a densidade óssea.

Estudos referem que os corredores de BTT têm características antropométricas semelhantes a ciclistas escaladores do ciclismo de estrada (Arriel et al., 2020; Impellizzeri et al., 2002; Inoue et al., 2022; Lee et al., 2002; MacRae et al., 2000). Dos anteriores, relativamente à percentagem de gordura corporal dos ciclistas de XCO, têm-se em média para os homens  $8.1 \pm 3.5\%$  e para as mulheres  $13.2 \pm 2.0\%$ .

Arriel et al. (2022) resumem a caracterização do ciclista masculino de BTT, de acordo com as suas características antropométricas e fisiológicas da seguinte forma:

Altura:  $177.8 \pm 2.4$  (cm)

Massa corporal:  $66.8 \pm 2.6$  (kg)

$\text{VO}_2\text{max}$ :  $74.7 \pm 3.5$  ( $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ )

Gordura corporal:  $7.0 \pm 3.2$  (%)

MAP:  $6.1 \pm 0.3$  (W.kg<sup>-1</sup>)

Teste Wingate:  $13.9 \pm 1.1$  (W.kg<sup>-1</sup>)

Nota: valores médios  $\pm$  desvio padrão

#### **1.2.5. A bicicleta de BTT XCO**

O desenvolvimento tecnológico das bicicletas é um processo contínuo e cada vez mais acelerado, procurando responder às especificidades de cada atividade ou disciplina do ciclismo, a maior segurança, o maior conforto e a maior eficiência (Arriel et al., 2022). São utilizados materiais diversos como o alumínio, o titânio e a fibra de carbono, combinando peso baixo, rigidez e resistência ao impacto (Frank et al., 2016). O XCO é realizado em circuitos com diferentes tipos de terreno que são compostos por obstáculos naturais ou artificiais. Cada vez mais assiste-se a uma crescente exigência técnica dos percursos e, com base nessas condições, as bicicletas e a sua tecnologia vão evoluindo no sentido de corresponder às novas exigências e são equipadas com pneus compostos por tacos mais curtos, sistemas de absorção de choque (suspensões) e sistemas de mudanças (desmultiplicações) que permitem enfrentar os diversos perfis geográficos das corridas.

##### **1.2.5.1. Suspensões**

Durante a competição e treino de XCO, os ciclistas são expostos a continuas vibrações mecânicas, induzidas pelas irregularidades do terreno, transmitidas ao longo dos segmentos corporais, causando um aumento da contração muscular (Viellehner et al., 2021). A exposição prolongada a estas vibrações pode causar fadiga muscular e redução da força, afetando a performance. A utilização de sistemas de amortecimento, vulgo suspensões, permite reduzir o tipo de vibração para uma vibração de baixa frequência, reduzindo o stress muscular, melhorando assim o conforto e a performance do ciclista, afetada positivamente também pela melhoria da aderência ao piso. No entanto, a utilização de um modelo de bicicleta com ou sem suspensão traseira não é ainda consensual, sendo que alguns atletas preferem a bicicleta rígida invocando motivos como o peso mais baixo e menor dissipação de energia. Num estudo de Faiss et al. (2007), os autores demonstraram que, quando os pesos das bicicletas eram iguais, não existiam vantagens claras durante as subidas ou alterações nas variáveis fisiológicas, entre ambos os modelos de bicicleta, com ou sem suspensão traseira.

#### 1.2.5.2. Rodas 29”

No capítulo do tamanho das rodas das bicicletas de BTT, nos últimos anos foram introduzidos os tamanhos 27.5” e 29” (Arriel et al., 2022). Apesar de alguns estudos realizados sobre as vantagens de utilização dos diversos tamanhos de roda (Macdermid et al., 2014; Moreno et al., 2021), não foi encontrado ainda um verdadeiro consenso sobre qual o tamanho de roda mais vantajoso para os ciclistas de BTT. No entanto, no circuito mundial de competição é possível observar que a maioria dos ciclistas de BTT estão a utilizar hoje as bicicletas de tamanho 29”. Arriel et al. (2022) propõe que, a preferência pelo tamanho 29”, se deve a menor resistência ao rolamento, menor perda de energia, melhor tração e melhor passagem dos obstáculos técnicos.

#### 1.2.5.3. Desmultiplicações e transmissões

Atualmente os corredores de elite utilizam sistemas de 12 velocidades, denominados também de 1X12 (1 único prato no jogo pedaleiro e uma cassete com 12 cremalheiras). Nestes sistemas, a circunferência e o número de dentes das engrenagens da cassete aumentaram, permitindo obter combinações adequadas para o desempenho nas diferentes partes dos percursos de BTT (Arriel et al., 2022). As transmissões (vulgo mudanças) das bicicletas, trabalham com sistemas eletrónicos wireless, sem os tradicionais cabos inox, comprovado o avanço tecnológico existente no domínio dos materiais utilizados na construção das bicicletas de alta competição.



Figura 1. Bicicleta competição de BTT XCO

## Legenda

- 1 – Quadro em carbono, ultraleve, com os triângulos dianteiro e traseiro reduzidos para maior rigidez e menor oscilação lateral no momento de aplicação de torque da pedalada;
- 2 – Rodas de tamanho 29”;
- 3 – Forqueta de suspensão dianteira, hidráulica e com comando hidráulico remoto instalado no guidador da bicicleta;
- 5 – Amortecedor traseiro, hidráulico e com comando hidráulico remoto instalado no guidador da bicicleta;
- 6 – Travão de disco hidráulico;
- 7 – Selim;
- 8 – Espigão de selim hidráulico, com regulação remota em altura com comando sem cabo instalado no guidador;
- 9 – Mudança de trás eletrônica 12 velocidades;
- 10 – Cassete de 12 velocidade 10-52 dentes;
- 11 – Jogo pedaleiro 1 velocidade com prato 38 dentes;
- 12 – Corrente 12 velocidades com sistema auto-lubrificante;
- 13 – Pedal de encaixe rápido;
- 14 – Pneu 29” com tacos de largura 2.40”;
- 15 – Conjunto integrado avanço + guidador de carbono;
- 16 – Manete de travão hidráulica;
- 17 – Manípulo de mudança traseira eletrónico;
- 18 – Manípulo remoto de controlo duplo de suspensões;
- 19 – Crank em fibra de carbono de comprimento 175 mm.

### **1.2.6. Posição do selim – Ciclismo de Estrada**

Atualmente, com o crescente número de praticantes formais e informais de ciclismo, a adaptação das bicicletas ao ciclista tornou-se um negócio com um número crescente de empresas em rápido crescimento. A posição do ciclista na bicicleta está relacionada com a ergonomia da bicicleta e pode ser definida como o processo de configuração dos seus parâmetros específicos para melhor se adequar a um indivíduo e otimizar o posicionamento do ciclista. O processo de otimização da relação ciclista-bicicleta é um dos fatores importantes para a maximização do desempenho do ciclista, para melhoria do conforto e redução do risco de lesão (Atkinson et al., 2003; Belluye e Cid, 2001). Desta forma, o ajuste da bicicleta aos

segmentos corporais do ciclista é fundamental para a otimização das forças exercidas pelos músculos envolvidos na pedalada (Bini e Carpes, 2014), bem como nos padrões de ativação muscular (Chapman et al., 2008). Neste processo de encontrar a posição ideal do ciclista na bicicleta, intervêm várias variáveis geométricas como a posição do selim, a posição do guidador, o comprimento do crank e a posição do pé sobre o pedal. O objetivo final é melhorar o desempenho do ciclista, preservando a sua saúde, uma vez que uma posição corporal incorreta pode predispor ciclistas ao risco de lesões (Menard et al., 2016). O recuo do selim é definido como a distância horizontal entre a extremidade anterior do selim à vertical que cruza o eixo do pedaleiro (Ferrer-Roca, 2016). Pedalar com uma posição de selim mais adiantada aumenta o ângulo da articulação do joelho, o trabalho mecânico da articulação dos membros inferiores e a ativação do músculo reto femoral (Bini et al., 2014). Os mesmos autores referem que os triatletas tendem a adotar uma posição mais avançada do que os ciclistas de estrada, deslocando o joelho para a frente do eixo do pedal, embora a prevalência de lesão nos joelhos seja similar entre os atletas de ambas as modalidades. Fonda et al. (2011) referem que durante as subidas, os ciclistas de BTT também deslocam o corpo no sentido da frente da bicicleta, acompanhado da flexão do tronco e dos cotovelos. No entanto, na pesquisa realizada não foram encontradas referências sobre os efeitos do avançar do selim relativamente à posição de referência relativamente ao BTT.

Price & Donne (1997), num estudo sobre os efeitos da variação do ângulo do selim a diferentes alturas, referem que a variação da posição do selim relativamente ao eixo da pedaleira influencia a cinemática do movimento da pedalada, provocando alterações em torno das articulações da anca, joelho e tornozelo. De acordo com Bini et al. (2011), a altura do selim modifica o trabalho mecânico das articulações dos membros inferiores e altera a eficiência da pedalada (Peveler e Green, 2011). Assim sendo, é possível afirmar com base no exposto que, a variação da posição do selim, pode originar alterações na dinâmica muscular e na geometria articular e que, essas alterações, poderão influenciar a eficiência e a eficácia da pedalada, o custo energético e, consequentemente, a performance em competição.

### **1.2.7. Ciclo da pedalada**

O ciclista e a bicicleta trabalham com três pontos de contato: mãos no guidador, cintura pélvica no selim e pés nos pedais (Herrero-Molleda e García-López, 2021). Os ajustes em áreas de contacto como o selim e o guidador permitem alterações na postura no ciclismo e permitem a acomodação das cargas, distribuição de peso e atividade muscular (Balasubramanian et al., 2014). No entanto, a quase totalidade do torque produzido para o avanço da bicicleta provém

do trabalho da musculatura dos membros inferiores, diretamente ligados ao ciclo da pedalada. Existem duas fases principais no ciclo da pedalada: a fase de energia (e.g., potência mecânica) e a fase de recuperação. O ponto mais alto da posição vertical do pedal é conhecido como Ponto Morto Alto (PMA). O ciclista exerce força no pedal entre o PMA e o ponto mais baixo da posição vertical, conhecido como Ponto Morto Baixo (PMB). A fase entre os dois pontos, entre o 1º e o 2º quadrante, é conhecida como Fase de Potência, onde geralmente é gerada toda a força para impulsionar a bicicleta para a frente. A fase entre o PMB e o PMA, entre o 3º e 4º quadrantes, é a fase de recuperação, menos ativa muscularmente do que a primeira (Bini e Carpes, 2014).

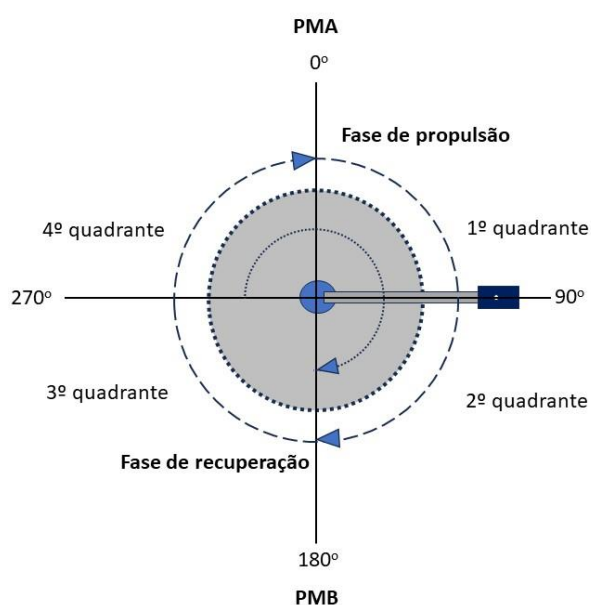


Figura 2: Ciclo da pedalada dividido em quatro quadrantes e duas fases

Na fase de propulsão existe maior eficácia nas forças aplicadas no pedal (0° a 180° do ângulo do crank) e eficácia negativa na fase de recuperação (180° a 360°). De acordo com Bini e Carpes (2014), isto significa que os ciclistas aplicam força no crank durante a fase propulsiva do ciclo da pedalada, mas também aplicam força no crank na fase de recuperação no sentido oposto ao seu movimento. É devido à magnitude da força aplicada na fase propulsiva ser superior àquela aplicada na fase de recuperação, que há um movimento efetivo do crank no sentido da propulsão gerando assim o movimento do conjunto bicicleta + ciclista. A eficácia da aplicação de forças está relacionada com a técnica individual de pedalada do ciclista não existindo ainda consenso sobre se o ciclista deve reduzir a eficácia negativa na fase de recuperação (Bini e Diefenthaler, 2010; Leirdal e Ettema, 2011). Segundo Bini e Carpes

(2014), a técnica da pedalada pode ser afetada pela potência exercida, cadência utilizada, posição corporal na bicicleta, estado de fadiga e nível de experiência/habilidade do ciclista.

#### **1.2.8. Musculatura envolvida na pedalada**

O ciclismo é uma modalidade desportiva especial porque o atleta trabalha em sincronia total com um mecanismo – a bicicleta, de tal forma que o posicionamento do ciclista em cima da bicicleta origina um conjunto de angulações em torno das articulações do cotovelo, ombro, anca, joelho, tornozelo. De acordo com Aguilar et al. (2015), a posição do selim afeta diretamente os ângulos das articulações dos joelhos e dos tornozelos. Segundo Gregor (1985), a posição do selim relativamente ao eixo da pedaleira, tem implicações nas relações entre a força exercida e a velocidade do ciclista, pois condiciona a amplitude dos movimentos articulares, quer dos membros inferiores, quer dos superiores. Pedalar é um movimento cíclico que envolve flexão e extensão dos membros inferiores. É um movimento sincronizado de várias articulações em cadeia cinética fechada, caracterizado por um grande recrutamento muscular e coativação agonista/antagonista. O padrão de atividade controlada promove a estabilidade das articulações e a diminuição das forças de cisalhamento. A força produzida pelos músculos da região lombar, pélvis e membros inferiores é transmitida aos pedais resultando no movimento da bicicleta (Alencar, 2010).

De acordo com Sanderson et al. (2006), durante o ciclo da pedalada os músculos dos ciclistas são continuamente sujeitos a ciclos de alongamento e encurtamento, a contrações concêntricas e excêntricas. A atividade muscular no ciclo da pedalada pode ser avaliada através da eletromiografia de superfície. Devido ao movimento circular do crank, nem todos os músculos flexores e extensores envolvidos na pedalada são ativados ao mesmo tempo e as intensidades em que são solicitados varia também ao longo do ciclo da pedalada. Os músculos bi-articulares são responsáveis, principalmente, pelo controlo da direção da força produzida e a transferência desta aos segmentos adjacentes durante o movimento articular, enquanto os músculos uni-articulares são essencialmente responsáveis por contribuírem na produção de força. Segundo Gregor (2000), os músculos, principalmente extensores da anca e do joelho conjuntamente com os flexores plantares, atuam na fase propulsiva do pedal, enquanto músculos como os flexores da anca e flexores dorsais do tornozelo, realizam a fase de recuperação reposicionando o membro inferior no ponto neutro superior (PMA), contribuindo para a tarefa que está sendo primordialmente desempenhada pelo outro membro inferior. O mesmo autor refere que, ao analisar o padrão de atividade muscular, verifica-se que a fase de

maior atividade muscular ocorre durante a fase de propulsão, quando toda a energia necessária para pedalar é transferida para o crank.

O reto femoral é um dos quatro músculos do quadríceps, mas o único a cruzar a articulação da anca e do joelho, dando-lhe dupla responsabilidade pela flexão e extensão do joelho - músculo bi-articular. Apresenta ativação quer na extensão quer na flexão da anca. O quadríceps trabalha em estreita parceria com os glúteos (máximo), são dois grandes grupos poderosos de músculos que produzem a maior quantidade de torque no ciclismo. Devido à posição na bicicleta, músculos como o reto femoral podem ficar encurtados, causando dor na anca, mas também geralmente causam dor na patela. Isso ocorre devido ao reto femoral que leva ao tendão da patela e se liga à tuberosidade da tíbia; portanto, se esse músculo se encurtar, pode aumentar as forças compressivas ao redor da patela, causando desconforto (Wilber et al., 1995). Os isquiotibiais, são um grupo muscular bi-articular, têm como principal função auxiliar a flexão do joelho através da parte traseira do curso da pedalada, têm importância na biomecânica da anca, realizando o tilt posterior da anca, desempenhando também um papel importante na estabilização do joelho através do PMB. O gastrocnêmio e o sóleo não acrescentam muita força à pedalada, o papel principal é estabilizar a perna para permitir uma transição eficiente da força gerada pela perna no início da PMA para o pedal. No outro lado do ciclo da pedalada, os isquiotibiais ajudam a flexionar o joelho para trazê-lo de volta ao PMA e reiniciar o ciclo da pedalada (Burt, 2014).

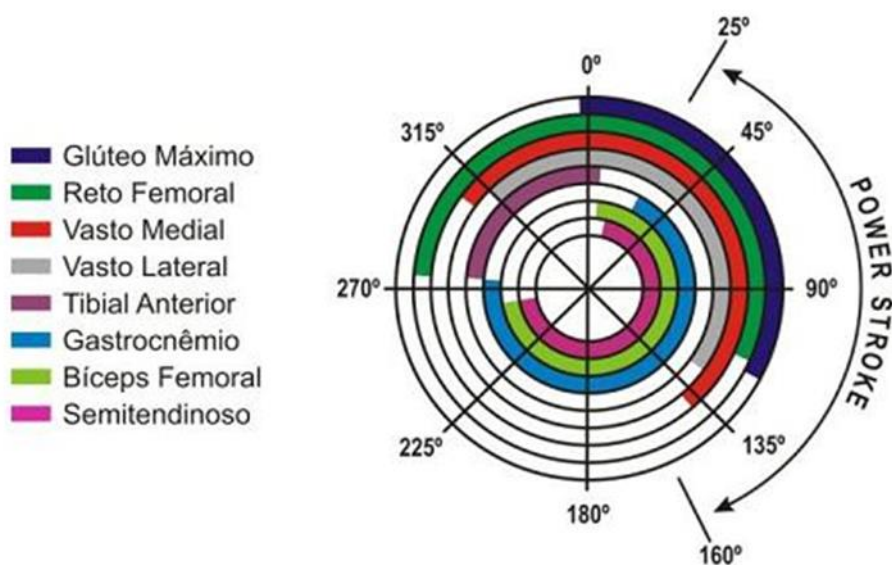


Figura 3. Músculos da perna envolvidos nas diferentes fases do ciclo da pedalada (adaptado de Hull & Jorge (1985)).

A ativação muscular no ciclo da pedalada, no seu timing e intensidade, tem sido amplamente estudada e vários autores sugerem versões do padrão de ativação ligeiramente diferentes.

Tabela 1. Amplitude de ativação máxima dos músculos dos membros inferiores envolvidos nos 360° do ciclo da pedalada (adaptado de Dorel et al. (2012)).

| <b><i>Muscle</i></b> | <b><i>Range</i></b> |
|----------------------|---------------------|
| RF                   | 270°–90°            |
| VL                   | 340°–120°           |
| VM                   | 340°–120°           |
| GMax                 | 350°–135°           |
| ST                   | 10°–210°            |
| BF                   | 0°–210°             |
| mGas                 | 45°–190°            |
| TA                   | 250°–20°            |
| Sol                  | 25°–135°            |

Legenda: glúteo máximo (GMax), vasto lateral (VL), vasto medial (VM), reto femoral (RF), semitendinoso (ST), bíceps femorais (BF), gastrocnêmio medial (mGas), tibial anterior (TA) e solear (Sol).

### 1.2.9. Articulações envolvidas no ciclo da pedalada

A pedalada é um gesto motor tridimensional, complexo, envolvendo essencialmente três articulações (anca, joelho e tornozelo), mas no qual as articulações do ombro e do cotovelo têm também alguma influência no que diz respeito ao resultado final da aplicação de força nos pedais. No entanto, os movimentos envolvidos na pedalada ocorrem predominantemente no plano sagital. Assim sendo, a pedalada é um gesto motor compreendido no plano sagital pela flexão e extensão do joelho, anca e tornozelo. A anca tem ainda movimentos de abdução e adução no plano frontal e de rotação lateral e medial no plano transversal. A tíbia exibe também movimentos de rotação no plano transversal. O tornozelo tem movimentos essencialmente realizados no plano sagital. A anca permite um elevado grau de movimento multidirecional. Durante o ciclismo, a anca permite e orienta a sua flexão, extensão e pequeno grau de rotação. O joelho atua como uma alavanca para o fêmur, o osso mais longo do corpo, que por isso pode criar grandes quantidades de torque. É aqui que a patela desempenha um papel vital, pois atua como ponto de apoio e permite que a força da parte superior da perna seja transferida para a parte inferior da perna (Nabinger, 2006; Sanner e O'Halloran, 2000). A patela é um osso

sesamoide que fica dentro do tendão da patela e liga o quadríceps à tuberosidade da tíbia. De acordo com Goyal et al (2005), o plateau tibial posterior medial e lateral, no plano sagital, tem uma inclinação de 7° e 9°, respectivamente. Devido a esta angulação, o fémur tende a deslizar-se posteriormente sobre a superfície articular da tíbia sob descarga de peso em posição ortostática. Chaudhari et al (2001) referem que aos 78° de flexão do joelho ocorre, uma translação ântero-posterior do fémur em relação à tíbia na fase de recuperação e na fase de propulsão. A flexão do joelho durante o ciclo da pedalada é acompanhada por uma rotação medial da tíbia. Segundo Sanner e O'Halloran (2000), a tuberosidade anterior da tíbia no plano frontal deve descrever trajetória elíptica, que poderá assumir a forma de um oito. Para finalizar, outra articulação relevante para a pedalada é o tornozelo. Esta articulação permite a alternância entre a dorsiflexão e flexão plantar do pé na passagem pelo PMB no ciclo da pedalada e regresso a dorsiflexão (Burt, 2014).

Consoante as características geográficas da corrida, os ciclistas modificam o seu posicionamento no selim (Ricard et al., 2006). Os mesmos autores referem que alguns ciclistas tendem a sentar-se mais atrás no selim em subidas, optando por posições mais adiantadas no selim nos sprints e nos contrarrelógios. No entanto, de acordo com Fonda et al. (2011), durante as subidas, os ciclistas de BTT necessitam de realizar adaptações posturais de forma a evitar o levantamento da roda da frente, estabilizar a posição na bicicleta e sem perder a necessária tração. Esta adaptação, normalmente, resulta no deslocamento do ciclista no sentido da frente da bicicleta acompanhado da flexão do tronco e dos cotovelos. Num estudo de Bini et al. (2014), os autores concluíram que pedalar numa posição mais adiantada no selim não originou grandes consequências na aplicação de força no pedal e índice de eficácia. O aumento do ângulo médio e do trabalho mecânico da articulação do joelho, a ativação do músculo reto femoral e menor trabalho da anca ocorreram quando se pedalou na posição mais avançada no selim, sem grandes alterações no ângulo da articulação do tornozelo. Já Menard et al. (2020), concluíram que mover o selim mais para a frente não foi associado a um aumento das forças patelo-femorais e tibiofemorais. Apesar de existirem estudos que referem que uma posição mais adiantada do selim favorece a potência máxima exercida pelo ciclista (Hayot et al., 2013), Menard et al. (2016) concluíram que essa posição mais adiantada leva a uma diminuição da eficácia na pedalada em regime constante. Os mesmos autores referem também que o recuo de selim ótimo é ainda um assunto muito controverso.

### 1.2.10. Forças aplicadas no pedal

A força responsável por fazer girar o crank é tangente à trajetória realizada pelo eixo do pedal (Quintana et al., 2015).

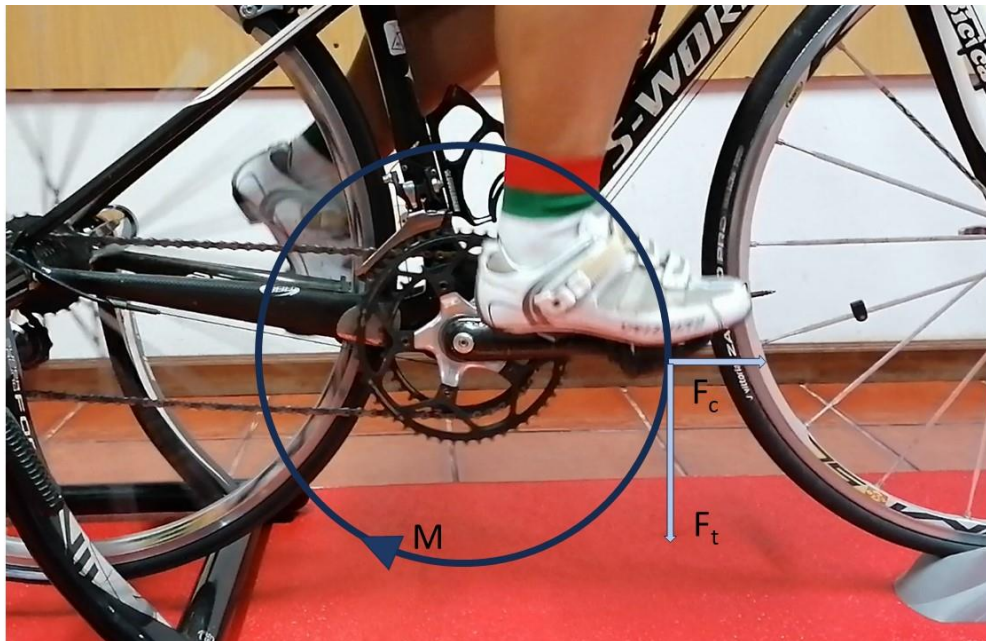


Figura 4. Aplicação das forças principais aplicadas no pedal na fase propulsiva a 90°.

Legenda: M=torque propulsivo, Fc=força centrífuga, Ft=força tangencial)

Segundo Quintana et al. (2015), o torque descreve o efeito de uma força no movimento rotacional do ponto de articulação do pedal em torno do eixo do rolamento. Matematicamente, o torque é o produto vetorial do vetor comprimento do braço de alavanca,  $L_c$ , e a força tangencial ( $F_t$ ), que atua na extremidade do braço de alavanca. No caso do ciclismo, o comprimento do braço de alavanca é igual ao comprimento do crank. Assim, a magnitude do torque é dada por:

$$T = L_c \cdot F_{tan} \cdot (\text{N.m})$$

Nos casos em que há uma angulação, o torque é obtido pelo produto da força aplicada pela distância desta aplicação em relação ao eixo de movimento e o ângulo produzido:

$$T = F \times d \times \sin\theta \text{ (N.m)}$$

A potência é a energia que os ciclistas usam para superar as cargas de trabalho e representa seu efeito mecânico final.

A potência transferida ao crank é calculada multiplicando a velocidade angular do crank,  $V_a$  (rad/s), pelo torque no pedal,  $T$  (N-m) (Bertucci e Grappe (2009); Bertucci et al (2005)) e pode ser representada pela equação:

$$P = T \cdot Va. (W).$$

Relativamente à aplicação de potência numa articulação, Yamazaki e Matsuda (2016) referem a existência de uma relação entre a potência exercida, o torque e a velocidade angular, transcrita na seguinte equação:

$$P = JT \times JVa (W)$$

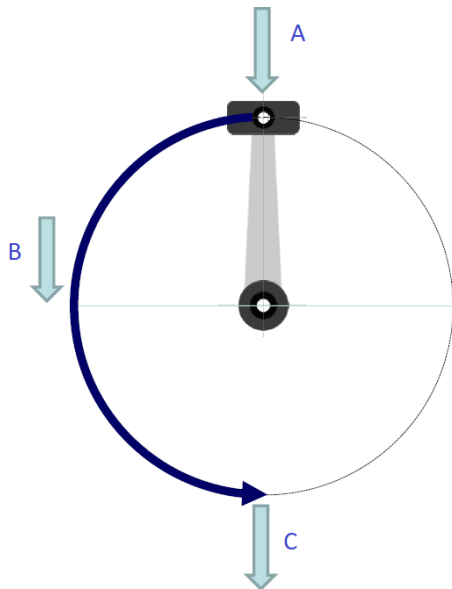


Figura 5. Em A e C, o torque é nulo, porque a distância perpendicular do eixo à força é nula. Em B é máximo porque a distância perpendicular à força é máxima (adaptado de Roriz (2019)).

Segundo Roriz (2019), para o cálculo da velocidade angular pode utilizar-se a seguinte equação:

$$\omega = \text{cadência} \times (2\pi/60) \text{ (rad/s)}$$

### 1.2.11. Análise cinemática no ciclismo

Atualmente, existem várias empresas a especializarem-se em *bike fit*, o processo de regulação da posição do ciclista na bicicleta, recorrendo ao auxílio de softwares de análise cinemática 2D e 3D. Estes métodos são denominados de métodos dinâmicos, em contraponto com os métodos estáticos tradicionais, mais simples, económicos e mais fáceis de aplicar (Ferrer-Roca, Roig et al., 2012). Na literatura publicada, encontram-se estudos realizados com o objetivo de compreender as implicações da posição do selim em variáveis fisiológicas tais como o  $VO_{2\text{max}}$ , a FC e a LAC no ciclismo de estrada, em especial a partir da década de noventa do século passado. No entanto, e relativamente ao XCO, a literatura publicada é

escassa, existindo pouca informação sobre de que forma a variação da posição do selim afeta a performance em competição.

Segundo Swart e Holliday (2019), a configuração ótima da bicicleta tem sido alvo de vários estudos, relacionados principalmente com a altura do selim. A maioria dos estudos sobre análise do movimento nos ciclistas tem-se, por isso, centrado principalmente nos membros inferiores (Clarsen et al., 2010). No entanto, o ciclista pedala apoiado em três pontos de contato, o selim, o guiador e os pedais (Herrero-Molleda e García-López, 2021). Apesar de se compreender esta tendência em virtude de serem os membros inferiores os responsáveis pela produção de torque na pedalada através da sua força muscular (Valencia Delgado et al., 2020), a parte superior do corpo não deve ser descurada pela sua importância na performance, até porque, por exemplo, a dor do fundo das costas é uma lesão típica e frequente nos ciclistas (Van Hoof et al., 2012). Assim, Cramblet et al. (2013) definiram o ajuste da configuração ótima ou “*Bike Fit*”, como “o processo detalhado de avaliação dos requisitos físicos e de desempenho do ciclista, e ajustando sistematicamente a bicicleta para atender aos objetivos e necessidades do ciclista”. Nos últimos anos a tecnologia associada à configuração da bicicleta evoluiu para sistemas 3D, mapas de pressão e sensores de inércia, contrapondo com os métodos anteriores, bem mais simples, na sua maioria estáticos, muitas vezes com fundamentos empíricos baseados em preferências pessoais e sem evidência científica. Alguma investigação realizada assume que o movimento dos membros inferiores durante a pedalada, ocorre exclusivamente no plano sagital (Hull e Jorge, 1985; Valencia Delgado et al., 2020). No entanto, de acordo com Bailey et al. (2003), é possível verificar que existe movimento medial-lateral do joelho, frequentemente associado a lesões de sobreuso. A tecnologia 3D veio permitir estabelecer uma melhor relação entre as variáveis observáveis e mensuráveis do *Bike Fit*, pois permite medir movimento no plano axial (Couto et al. 2008) para além do plano sagital ou frontal possível através de sistemas 2D, providenciando mais dados comparativamente com os métodos estáticos.

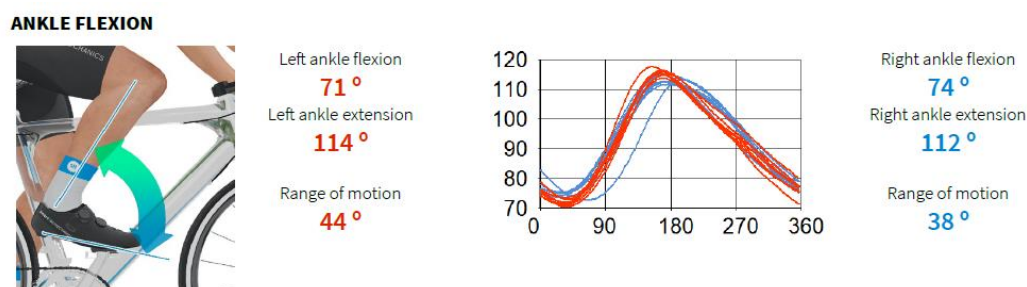


Figura 6. Exemplo de dados retirados de uma análise com um sistema 3D, relativamente à flexão do tornozelo de um ciclista – análise dos membros inferiores.

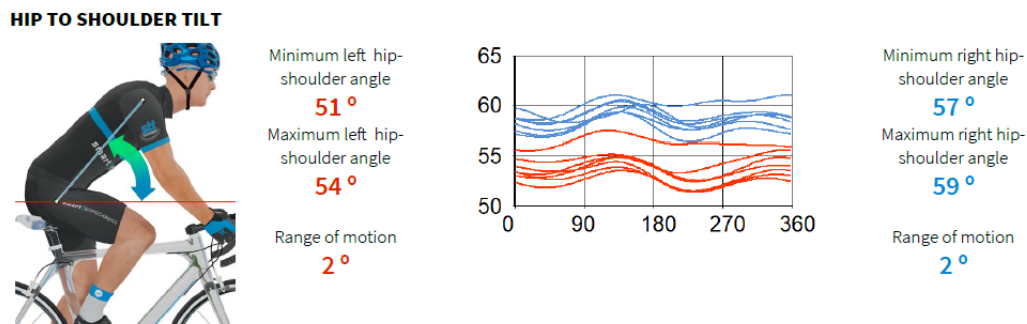


Figura 7. Exemplo de dados relativos à parte superior do corpo com sistema 3D.

Os sistemas 3D utilizam marcadores de movimento, detetados por várias câmaras óticas, analisando o movimento do ciclista em tempo real. Estes sistemas permitem ainda obter dados como velocidades e acelerações angulares.



Figura 8. Avaliação biomecânica de uma ciclista utilizando um sistema de análise de movimento 3D, com marcadores de inércia detetados por um sistema de quatro câmaras óticas de grande definição.

### 1.2.12. Variáveis fisiológicas (dependentes)

#### 1.2.12.1. Consumo máximo de oxigénio - $VO_{2max}$

O  $VO_{2max}$  ou consumo máximo de oxigénio, é considerado um importante determinante do desempenho em desportos de endurance como o ciclismo (Bassett e Howley,

2000), sendo considerado por muitos investigadores e treinadores o golden standard para atletas de endurance, uma vez que traduz a capacidade do ciclista de gerar ATP através da via metabólica oxidativa (Cheung e Zabala, 2017). Na literatura é possível encontrar valores de  $\text{VO}_2\text{max}$  associados a atletas de BTT na ordem dos 70 a 80 mL/kg/min, sugerindo que valores desta grandeza possam ser pré-requisitos para a performance em BTT ao mais alto nível (Impellizzeri et al., 2005; Stapelfeldt et al., 2004). A confirmar o anterior, num estudo de MacRae et al., (2000), já se tinha verificado que corredores de XCO apresentaram um consumo médio de oxigénio correspondente a cerca de 84% do  $\text{VO}_2\text{max}$ . O  $\text{VO}_2\text{max}$  pode ser expresso de diferentes formas:

- $\text{VO}_{2\text{pico}}$ : é o valor absoluto mais alto que o organismo pode processar e é expresso em litros por minuto (L/min);

- $\text{VO}_2\text{max}$  normalizado à massa corporal: é o consumo mais elevado durante um exercício ou teste normalizado ao peso corporal em quilogramas e é expresso em mililitros por quilograma por minuto (ml/kg/min);

- $\text{VO}_2$  normalizado à massa isenta de gordura: é o valor normalizado à massa corporal retirando a massa gorda e é expresso também em ml/kg/min.

Neste estudo, para a determinação do custo energético associado à variação da posição horizontal do selim, avaliou-se o consumo de oxigénio dos participantes, em cada uma das seis posições determinadas. De acordo com Vandewalle (2004), o consumo de oxigénio é uma medida que pode ser utilizada em três situações: na determinação do custo energético de uma atividade; na determinação do tipo de substratos energéticos utilizados na atividade, em especial o uso de lípidos e hidratos de carbono, através do cálculo do quociente respiratório (quociente entre a produção de dióxido de carbono e o consumo de oxigénio,  $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$ ); e na determinação do consumo máximo de oxigénio ( $\text{VO}_2\text{max}$ ).

#### 1.2.12.2. Frequência cardíaca (FC)

A frequência cardíaca também é frequentemente utilizada para quantificar a intensidade de esforço nas corridas ou treinos de BTT (Cheung e Zabala, 2017). Num estudo de Macdermid e Stannard (2012), os autores registaram uma média de FC de cerca de 191 batidas por minuto, correspondente a cerca de 90% da FC máxima dos atletas e a 84% do seu  $\text{VO}_2\text{max}$ .

#### 1.2.12.3. Concentração de lactato (LAC)

A concentração de lactato é um dos parâmetros mais utilizados na avaliação de atletas de endurance e na base da prescrição do treino (Bourdon, 2000; Goodwin et al., 2007). Na literatura, avaliação e prescrição de treino encontramos normalmente a referência a dois limiares definidos de acordo com a resposta do lactato sanguíneo ao exercício (Bourdon, 2000):

- Limiar de Lactato (LT) – primeira carga de trabalho na qual existe um aumento na concentração de lactato acima dos valores de repouso.
- Limiar Anaeróbio (LAN) – a carga de trabalho que causa um aumento rápido no lactato sanguíneo que indica o limite superior do equilíbrio entre a produção de lactato e remoção.

As concentrações de lactato no sangue aumentam durante o exercício de alta intensidade, como resposta fisiológica à carga. Portanto, as concentrações de lactato sanguíneo são, portanto, um indicador útil da intensidade relativa do exercício a partir de uma intensidade fisiológica, bem como um indicador do metabolismo que está a ser utilizado (Ghosh, 2004).

Segundo Arriel et al. (2022), estudos recentes referem que cerca de 43% do tempo total de corrida de uma prova de XCO é disputado em alta intensidade (acima do segundo limiar de lactato), sendo que desses 43%, cerca de 28% é disputado acima da MAP.

#### 1.2.12.4. Percepção Subjetiva de Esforço (RPE)

A RPE é um marcador reconhecido de intensidade e de perturbação homeostática durante o exercício, habitualmente monitorizado durante avaliações físicas de atletas em complemento de outras medidas de intensidade (Eston, 2012). A RPE pode ser usado de distintas formas, tal como para prever a capacidade de exercício, avaliar mudanças no nível de treino e desempenho e na adoção de estratégias de pacing. A utilização de RPE no desporto tem por base a forte correlação com a intensidade do exercício (e.g. trabalho, velocidade, potência) e fatores fisiológicos (e.g. frequência cardíaca, ventilação, consumo de oxigénio, lactato sanguíneo). Para a medição da RPE no desporto, habitualmente é utilizada a Escala de Borg 6-20 e a Escala de Borg CR-10 (Borg, 1990).

| ESCALA DE PERCEÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO |    |                         |
|-----------------------------------------|----|-------------------------|
| 6                                       |    | MUITO FÁCIL             |
|                                         | 7  |                         |
| 8                                       |    |                         |
|                                         | 9  | FÁCIL                   |
| 10                                      |    |                         |
|                                         | 11 | RELATIVAMENTE FÁCIL     |
| 12                                      |    |                         |
|                                         | 13 | RELATIVAMENTE CANSATIVO |
| 14                                      |    |                         |
|                                         | 15 | CANSATIVO               |
| 16                                      |    |                         |
|                                         | 17 | MUITO CANSATIVO         |
| 18                                      |    |                         |
|                                         | 19 | EXAUSTIVO               |
| 20                                      |    |                         |

Figura 9. Escala RPE de Borg 6-20.

### 1.2.13. Variáveis independentes

Distância (deslocamento) horizontal do selim (DHS)

Neste estudo foram consideradas três posições do selim, com variações apenas no plano horizontal. Foi considerada a posição base, de referência, obtida através de métodos tradicionais, e duas posições de avanço – 25 e 50% da amplitude máxima permitida pela configuração do selim.

### 1.2.14. Variáveis de controlo

Cadência (CAD) – frequência de pedalada – aconselhado seguir a 85 rpm

% Potência mecânica – 70% MAP

Comprimento do crank – 175 mm

## 1.3. Pertinência do estudo

O BTT XCO é uma modalidade olímpica, altamente profissionalizada e especializada, desenvolvendo a sua atividade à escala global através de equipas com orçamentos consideráveis em que o investimento está centrado em vários aspetos como o desenvolvimento tecnológico, o marketing e a performance desportiva. Até à data, não foram encontrados estudos publicados na vertente do BTT relacionados com o tema da modificação do posicionamento horizontal do selim e as possíveis implicações sob o ponto de vista do custo energético provocadas por essas modificações. Reforçando o exposto, após busca exaustiva nas bases de dados eletrónicas Pubmed, Ebsco, Scopus, Web of Science e Google Scholar, não foram encontradas publicações

com estudos realizados em bicicletas de BTT. Os estudos existentes no ciclismo, para além de se focarem fundamentalmente na vertente tradicional do ciclismo de estrada, em especial a partir da década de noventa do século passado (Bini et al., 2011; Price & Donne, 1997; Salai et al., 1999; Umberger et al., 1998), utilizam uma diversidade de metodologias tendo em comum o facto de serem realizadas exclusivamente em laboratório e com participantes amadores ou informais. Mais ainda, os resultados obtidos nesses estudos não são consensuais, divergindo sobre as vantagens ou desvantagens de se ter um selim recuado ou avançado em relação à posição de referência. Acresce ainda referir a ausência de uma relação entre os resultados desses estudos e as implicações no metabolismo e consumo energético dos praticantes e, consequentemente, na performance em competição. Assim sendo, o exposto anteriormente atesta a pertinência deste estudo, que pretende trazer conhecimento acerca do efeito da variação horizontal da posição de selim num ciclista de BTT, uma modalidade profissional e que integra o Programa Olímpico, e cujos resultados podem ter implicações para o treino e o rendimento em competição.

#### **1.4. Problema**

Para avaliar as consequências da variação da posição horizontal do selim de um ciclista de BTT é necessário compreender o modo como se relacionam as variáveis fisiológicas e biomecânicas envolvidas no posicionamento do ciclista na bicicleta, nos movimentos gerados, na produção e consumo de energia. Do anterior resulta a pergunta de investigação, que efeitos existirão no consumo energético de ciclistas de BTT, ao modificar a sua posição horizontal do selim, relativamente à posição de referência?

#### **1.5. Objetivos do estudo**

O objetivo principal deste estudo é determinar as implicações na performance resultantes da alteração da posição do selim de um ciclista de BTT através da sua deslocação horizontal, em relação à posição de referência obtida por métodos tradicionais. Como objetivos secundários, determinar as implicações dessa alteração nas variáveis fisiológicas  $VO_2$ , concentração de lactato e frequência cardíaca, bem como na perceção subjetiva de esforço (RPE) dos participantes.

##### **Hipóteses**

Do objetivo do estudo e do problema de investigação, foram formuladas as seguintes hipóteses:

Hipótese 1 (H1): a variação horizontal da posição do selim no sentido do guiador,

produz efeito no consumo energético em subida de um ciclista de BTT diminuindo-o em relação à posição de referência.

A hipótese nula ( $H_0$ ) é: a variação horizontal da posição do selim não produz efeito no consumo energético em subida de um ciclista de BTT.

## **CAPÍTULO II – Umbrella Review**

*(Under review for publication in Journal of Science and Cycling)*

### **Effects of saddle position on cycling: An umbrella review**

#### **Authors**

Pedro Vigário<sup>1</sup>, Ricardo Maia Ferreira<sup>1, 2, 3, 4</sup>, António Rodrigues Sampaio<sup>1, 5, 6</sup>, Pedro Nunes Martins<sup>1</sup>

#### **Affiliations**

<sup>1</sup> Polytechnic Institute of Maia, N2i, Physical Fitness in Sports and Exercise Department, Avenida Carlos de Oliveira Campos, 4475-690, Maia, Porto;

<sup>2</sup> Polytechnic Institute of Coimbra, Coimbra Health School, Physiotherapy Department, Rua 5 de Outubro, 3046-854, São Martinho, Coimbra;

<sup>3</sup> Polytechnic Institute of Castelo Branco, Dr. Lopes Dias Health School, Physiotherapy Department, Avenida do Empresário, 6000-767, Castelo Branco;

<sup>4</sup> Polytechnic Institute of Viana do Castelo, SPRINT, Rua Escola Industrial e Comercial de Nun'Álvares, 4900-347, Viana do Castelo;

<sup>5</sup> Faculty of Sport of the University of Porto, CIFI2D, LABIOMEPE, Rua Dr. Plácido da Costa, 4200-450, Porto;

<sup>6</sup> University of Maia, Sports Department, Avenida Carlos de Oliveira Campos, 4475-690, Maia, Porto;

#### **Title**

Effects of saddle position on cycling: An umbrella review

#### **Abstract**

##### **Objective**

This study aimed to perform an umbrella review of existing systematic reviews on the effects of saddle position on cycling.

##### **Material and Methods**

We systematically searched in the electronic databases Ebsco, Pubmed, Scopus, Web of Science and B-On for systematic reviews that examined the effects of saddle position on cycling

guided by the standards of the Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analysis (PRISMA) Statement. To prevent the risk of bias, two researchers independently performed the search. To evaluate the methodological quality of the included reviews the Assessing the Methodological Quality of Systematic Reviews 2 (AMSTAR 2) checklist was used.

## Results

A total of seven systematic reviews met the eligible criteria were included. The systematic reviews showed high heterogeneity among themselves (e.g., type of included studies, participants characteristics or evaluated outcomes), and low-to-critically low methodological quality. Relationships have been found between the rider's saddle position and health issues (such as, low back pain (4 studies), knee injury or pain (3 studies), lumbar kyphosis (1 study), impact on perineum (2 studies)), and on performance alterations (such as, muscle activation, oxygen uptake, load and intensity, efficiency (1 study), and comfort (1 study)). The results showed that some research provided conflicting evidence in the studied relations (e.g., knee injury or pain, impact on perineum and efficiency).

## Conclusions

Cyclists' saddle position impacts on various issues related to health and performance. More research is needed, and future studies should focus on the clarification of the conflicting evidence observed in this review.

**Keywords:** *cycling; saddle position; performance; health.*

## 1. Introduction

Cycling is widely referred to as one of the most popular global sports (Priego Quesada et al., 2019) and a big business professional activity with World Tour Pro teams' annual budget being of hundreds of millions of euros (Hopker, 2016). Therefore, as an important social and economic activity, it is natural that some research focuses on factors that may affect performance in cycling. Several factors may impact on cycling performance and efficiency such as physiological, training and biomechanical (Faria, Parker, & Faria, 2005a, 2005b). Nutrition (Cook & Dobbin, 2022), psychology (Spindler et al., 2018), aerodynamics (García-López et al., 2008), bicycle setup (Peveler & Green, 2011), comfort (Christiaans & Bremner, 1998) or material (such as, oval chainrings) (Rodríguez-Marroyo et al., 2009), are some examples of additional factors that influence cycling performance. The biomechanical and physiological factors are related to bicycle configuration and setup. When regarding bicycle setup, besides the different sizes of bicycle frames, the settings also relate to the three points of contact of the cyclist with his bicycle: handlebars, saddle, and pedals (Bini et al., 2014). How these points are manipulated, changes bicycle configuration and thus can change a cyclist's body riding position (Bini & Carpes, 2014). For many years, cyclists and coaches have been searching for the optimal position by matching the bicycle to the cyclists' body dimensions, increasing performance, while reducing injury risk when on their bicycles (Swart & Holliday, 2019).

The process of adjusting the bicycle to the rider is called bike fit. Garcia-López & del Blanco (2017) refer that a correct bike fitting is very important to cyclists to avoid injuries and improve their cycling performance. The saddle position is one of the main bike fit components and setups of the bicycle and it can vary greatly between different cyclists and cycling disciplines (Rankin & Neptune, 2010). For many years, bicycle setup was performed based on traditional methods. Recently, advances in technology brought new forms of evaluation and new methods for optimising bicycle setup (e.g., 2D and 3D systems) (Swart & Holliday, 2019). According to Ferrer-Roca (2012), the adjustment of the position of the saddle can be performed through dynamic (in which the cyclist pedals), or static (in which the cyclist is at rest) methods. Dynamic methods are kinematic-based and the most recommended. The static methods are the most traditional, low-cost, easy to apply, and are based on the anthropometry and goniometry of the cyclist. The saddle position can usually be adjusted vertically (height) and horizontally (forward/backwards) (Bini et al., 2014). Saddle height selection seems to be the main adjustment variable for most researchers (Burt, 2012; Garcia-López & del Blanco, 2017). According to Burt (2012), the optimal height of the saddle is the most important adjustment regarding the production of power and, consequently, in the performance of the cyclist. A

correct saddle height is fundamental as it contributes to the production of mechanical work of the lower limbs' joints, impacting on pedalling efficiency (Ferrer-Roca, 2012). Albite the focus on determining the best method to establish saddle height, previous studies did report greater comfort when cyclists are pedalling at their preferred saddle height compared to greater and lower heights (Bini & Priego-Quesada, 2022).

When performing saddle setup, the horizontal position (sometimes referred to as seat angle), is the configuration that varies the most across cycling disciplines. In a study from Garside & Doran (2000), the authors state that triathletes often prefer a more vertical seat angle (e.g., the seat is more forward relative to the crank centre), while road cyclists usually prefer a seat angle that positions the seat farther back relative to the crank centre. According to Ricard et al. (2006), cyclists modify their positioning in the saddle depending on the race profile. The same authors report that some road cyclists tend to sit farther back in the saddle on climbs, opting for more advanced positions in the saddle in sprints and time trials. When it comes to mountain bike, Fonda et al. (2011), refer that, during the climbs, mountain bikers need to perform postural adaptations to avoid lifting the front wheel, stabilize the position on the bike and without losing ground traction. This means adopting a more forward position along with the elbow flexion, so that the cyclists' weight is transferred to both the front wheel and the ground surface.

Positioning the saddle more forward or backwards produces changes in the spatial positioning of the joints and the angles, influencing the production of forces in the pedals, therefore impacting on muscle activation patterns of the lower limbs (Holliday & Swart, 2020). According to the same authors, moving the saddle horizontally backwards may lead to recruit of a larger muscle mass and facilitate higher power production. Although largely studied, it seems that there is still no consensus over this matter. In a study by Bini et al. (2013), the authors concluded that riding at the forward and backward saddle positions did not substantially affect patellofemoral compressive and tibiofemoral compressive forces. However, no results were presented regarding the association between performance and changes in saddle position, such as: mechanical power; oxygen uptake; and speed. The characteristics of mountain biking races lead cyclists to continually change the position of their body on the bike. Cyclists pedal sitting on the saddle, in more advanced positions, tend to bend over the handlebars to prevent the front wheel from lifting on steep climbs, or moving their body backwards, moving their buttocks behind the saddle, on downhill sections. Sabeti-Aschraf et al. (2010), reported that the saddle position is the crucial point in the bike's adjustment, affecting the entire rider's position on the bicycle, and that the exact saddle adjustment to the athlete had a significant effect on the onset of pain during or immediately after the race, on knees and lumbar region.

Cycling is generally regarded as a low-impact sport (Callaghan, 2005). In cycling, it is possible to differentiate injuries according to their mode of onset: sudden onset non-contact injury, impact/traumatic injury, gradual onset injury, insidious onset injury, chronic injury, and medical illness (Heron et al., 2021). The main injuries seem to be trauma from a crash and the prolonged postural adaptations combined with the repetitive limb movement that leads to overuse injuries that affect mainly the lower limbs. In a study on road cycling by Rooney et al. (2020) it was found that the most common injuries reported were abrasions, lacerations, and haematomas (40 to 60%). Most common non-traumatic injuries reported were related to the knee, with patellofemoral syndrome being the number one overuse diagnosis. Silberman (2013) reported that many cycling overuse injuries are relieved with simple bicycle adjustments, reinforcing the importance of a correct bike setup.

Cycling is a highly professionalized sporting activity. The factors that affect cycling performance are, for this reason, of fundamental importance and have been studied (Faria et al., 2005a; Faria et al., 2005b). Research suggests that the modifications in seat configuration (e.g., height, angle), affect the cyclist's performance, as it influences lower extremity muscle kinematics, with implications on the produced muscle force and power output during cycling (Rankin & Neptune, 2010). Thus, finding the optimum position on the bicycle is fundamental not only for performance but also for comfort and to avoid injuries (Burt, 2022; Millour & Bertucci, 2017; Peveler & Green, 2011; Silberman et al., 2005). On the other hand, the studies currently available are conflicting and scarce to make more informed decisions about the effects of saddle position on cycling performance.

The aim of the present review is: (1) to systematically review available evidence that has examined the effects of saddle position on cycling; (2) to address the quality, strengths, and limitations of the actual evidence; and (3) to identify current gaps on the literature and propose directions for future research.

## **2. Methods**

### **2.1. Search strategy**

The literature search was performed through the electronic databases Ebsco, Pubmed, Web of Science, Scopus and B-On, conducted according to the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) statement (Page et al., 2021). The search was conducted on September 2023, combining keywords with Boolean operators (AND/OR), using the following search syntax: (cycling OR bicycling OR bike) AND “saddle position”

AND “systematic review”. The database search strategy was guided using the Participants, Issue, Outcomes (P.I.O.):

Participants - healthy individuals, not limited to sex or age.

Issue: - saddle position.

Outcome measures- cycling performance, physiological/biomechanical factors, and risk of injury-related issues.

The search was limited to papers published from 2003 to the search date and English language publications. To prevent bias, the search was performed blinded by two authors (PV and RF). The authors independently examined the titles, abstracts, and full texts of the identified publications. Once completed, the authors compared their lists of included and excluded reviews. In case of disagreement a third author (AS) arbitrated the process. The final list of studies for reviewing was found with 100% agreement between the authors. The two authors performed the final analysis and extraction of data and results.

## 2.2. Study selection and eligibility criteria

The screening of the studies found in the search in the electronic databases was performed independently by two authors (PV and RF). The records identified in the literature search were imported to EndNote 20's software (Thomson Reuters, New York, USA). EndNote 20 was used to remove the duplicates found by using the automated tool "find duplicates". After the duplicate removal, the studies were manually screened to confirm the full versions and if the inclusion and exclusion criteria were truly met. Reviews that were not specific to the chosen topics, but part of the information gathered were in the umbrella review scope, were also considered suitable to be included and the information collected independently. The authors screened the studies' titles and abstracts and identified studies for full-text reading. After the full-text reading, and the addition of studies selected from a personal database, the final group of studies was found for this review choosing only those who fully met the eligibility criteria. The systematic reviews included in this umbrella review met the following eligibility criteria:

(a) examined the effects of saddle position on cycling.

(b) analysed the data using systematic reviews.

(c) were published in English.

(d) full texts available.

Were excluded studies:

(a) non-systematic reviews, including books, randomized controlled trials, case reports, expert opinions, mixed-methods, conference papers, academic thesis, literature reviews or narrative reviews.

(b) that assessed traumatic (acute) injuries in cycling.

(c) composed by experimental or control groups that included animals, cadaveric, in vitro, or in silico samples.

### 2.3. Data collection process

Data extraction was performed following the recommendations for umbrella reviews (Fusar-Poli & Radua, 2018). The data extraction was performed by two authors (PV and RF), collected and registered for analysis. All data collected were tabulated to an Excel spreadsheet and cross-checked by the authors for accuracy.

The data collected were reviewed by another author (AS), from the selected reviews and included:

- (1) the list of authors and year of publication.
- (2) studies' objectives.
- (3) the number and type of studies included in the review.
- (4) the number of participants and their characteristics.
- (5) the outcomes that were evaluated.
- (6) studies' main findings and conclusions.

### 2.4. Outcomes

Considering the main objectives of this study, the outcomes of the analysed studies were separated into two umbrella terms: performance and health. For each, the following subgroups of outcomes were observed:

#### Health

- Low back pain
- Knee injury/pain
- Lumbar kyphosis
- Impact on perineum

#### Performance

- Muscle activation
- Oxygen uptake
- Load and intensity
- Efficiency

- Comfort

## 2.5. Methodological quality evaluation

The methodological quality of the included reviews was assessed by two authors (PV and RF) and arbitrarily by a third author (PM) when discrepancies were found. For the quality assessment, it was used the validated Assessing the Methodological Quality of Systematic Reviews 2 (AMSTAR 2) checklist (Shea et al., 2017). The Amstar 2 checklist has a total of 16 items and the results are presented in Table 2. Each item on the Amstar 2 assessment checklist was answered with “yes”, “no” or “not applicable”. A score was calculated based on the answers, only the “yes” answer counts as a point in the total score for the assessed review. AMSTAR 2 is a comprehensive 16-item tool that rates the overall confidence of the results of the review. The quality of the systematic reviews was considered according to the AMSTAR 2 guidelines: High (Zero or one non-critical weakness); Moderate (more than one non-critical weakness); Low (one critical flaw with or without non-critical weaknesses); Critically low (more than one critical flaw with or without non-critical weaknesses). The assessment of the AMSTAR 2 quality for each review was calculated through the AMSTAR 2 online tool ([https://amstar.ca/Amstar\\_Checklist.php](https://amstar.ca/Amstar_Checklist.php)).

## 3. Results

### 3.1. Included systematic reviews

The literature search on the electronic database identified 27 studies, and 19 were removed as duplicates using the EndNote tools. There were 2 records removed on title/abstract screening. With the adding of one study from personal database, a total of 7 studies that met the eligibility criteria were included for full-text screening: Antequera-Vique et al. (2023), Bini & Flores Bini (2018), Bini & Priego-Quesada (2022), Johnston et al. (2017), Litwinowicz et al. (2021), Streisfeld et al. (2017), Visentini et al. (2022) (Figure.1.). The authors excluded the articles from Baran et al. (2014) and Sommer et al. (2010), since they were not systematic reviews. From the personal database was retrieved the study from Bury et al. (2021), but it was excluded because it used mix-methods.

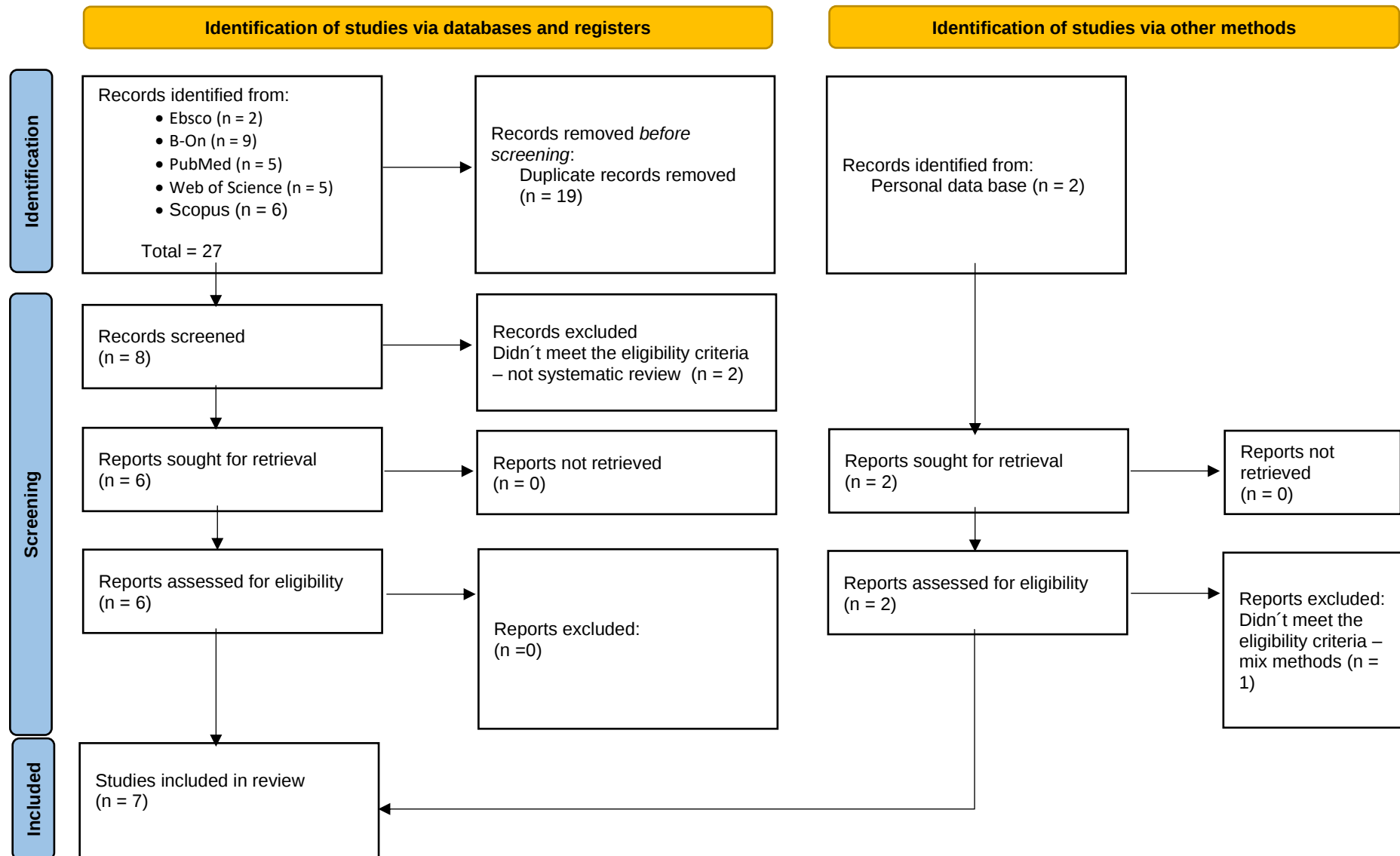


Figure 1. Flow-chart presenting the search and selecting process.

### 3.2. Study characteristics

The number of studies included in each review ranged from 8 to 41 (average: 20.6 studies per review). The participants cycling experience ranged from recreational to professional cyclists (Bini & Flores Bini, 2018; Bini & Priego-Quesada, 2022; Streisfeld et al., 2017), from recreational to competitive cyclists (Antequera-Vique et al. (2023); Visentini et al. (2022). Non-cyclists' participants were included in the reviews from Antequera-Vique et al. (2023), Bini & Flores Bini (2018), Bini & Priego-Quesada (2022), Johnston et al. (2017), and Streisfeld et al. (2017). No information regarding cycling experience could be retrieved from Litwinowicz et al. (2021). The number of participants per review ranged from 1 to 142. In the studies from Antequera-Vique et al., (2023), Bini & Flores Bini (2018), Bini & Priego-Quesada (2022), Johnston et al. (2017), and Visentini et al. (2022), the participants were from both genders. The studies from Litwinowicz et al. (2021) and Streisfeld et al. (2017) included only male participants.

The selected reviews included cross-sectional study designs (Antequera-Vique et al., 2023; Bini & Flores Bini, 2018; Bini & Priego-Quesada, 2022; Johnston et al., 2017; Streisfeld et al., 2017; Visentini et al., 2022). case studies (Bini & Flores Bini, 2018; Bini & Priego-Quesada, 2022; Streisfeld et al., 2017); randomized controlled trials (Bini & Flores Bini, 2018; Bini & Priego-Quesada, 2022; Litwinowicz et al., 2021). The reviews from Litwinowicz et al. (2021) and Visentini et al. (2022) included before and after interventions. The included systematic reviews presented different outcomes. All of the included studies analysed several injury risks associated with cycling. Low back pain was examined by four studies: Antequera-Vique et al. (2023), Bini & Flores Bini (2018), Streisfeld et al. (2017) and Visentini et al. (2022). Knee-related injury or pain was analysed by three studies: Bini & Flores Bini (2018), Bini & Priego-Quesada (2022) and Johnston et al. (2017). Only one from Antequera-Vique et al. (2023) examined lumbar kyphosis. Two studies examined the effects of cycling on perineum health: Litwinowicz et al. (2021), and Visentini et al. (2022). Only one study, from Bini & Priego-Quesada (2022), examined the effects of saddle height on performance and comfort. Two studies from Bini & Flores Bini (2018) and Streisfeld et al. (2017), related bike fit and injury risk.

The authors from Antequera-Vique et al. (2023), Bini & Priego-Quesada (2022), Litwinowicz et al. (2021) and Visentini et al. (2022) declare to have no funding supporting their research. That information was not available in the studies from Bini & Flores Bini (2018), Johnston et al. (2017) and Streisfeld et al. (2017). Table 1 provide a more detailed studies' characteristics information.

Table 1. Characteristics of each included study

| Author(s)                     | Objectives                                                                                                                                                                                               | Type of studies                                                                                 | N° of studies | Participants Total/Range | Participants characteristics                                                                                                                           | Evaluated outcomes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Main results and conclusions                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Antequera-Vique et al. (2023) | To assess whether if cycling affects spinal morphology in postures off the bicycle, such as adapting the spinal curvatures on the bicycle depending on the handlebar type and position on the handlebars | Cross-sectional or longitudinal (experimental or cohorts)                                       | 31            | 1518/3 to 128            | Competitive, recreational, master, and elite cyclists; Both genders; Road, mountain bike and triathlon; non-cyclists and sedentary; Age 18 - 57 years. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pelvic tilt: digital motion video analysis, infrared cameras, goniometer, digital scanning of the body (Spinal Mouse), inclinometer, electromagnetic tracking system.</li> <li>- Lumbar morphology: infrared cameras, electromagnetic tracking system, digital motion video analysis, Spinal Mouse, inclinometer, remote posture monitoring system.</li> <li>- Thoracic morphology: electromagnetic tracking system, optoelectronic device, digital motion video analysis, Spinal Mouse, infrared motion analysis system.</li> <li>- Hip flexion: digital inclinometer, digital motion analysis system.</li> </ul> | <p>Fifteen studies reported that a greater pelvic tilt was observed when the handlebar was in a lower position.</p> <p>Sixteen studies found that lumbar kyphosis was greater when the handlebar grip was lower and farther from the saddle.</p> <p>Twelve studies reported a tendency towards greater thoracic flexion as the time spent pedalling on the bicycle increased.</p> <p>The practice of cycling produces adaptations in the morphology of the spine of the cyclist, due to the prolonged flexed posture and causes low back pain.</p> <p>The position on the bicycle is related to lumbar kyphosis.</p> <p>Also an increase in pelvic tilt and a greater capacity for lumbar flexion in trunk flexion positions, and a greater thoracic kyphosis in the standing position.</p> <p>The hamstring extensibility does not influence the spinal postures on the bicycle.</p> <p>It is recommended to adapt the bicycle adjustments to the individual characteristics of each cyclist.</p> |
| Bini & Flores Bini (2018)     | To assess the main factors related to overuse knee-related pain and/or injuries in cyclists                                                                                                              | Cross-sectional; Case-studies; Randomised controlled trials.                                    | 10            | 271/1 to 104             | Professional, competitive and recreational cyclists. Non-cyclists.                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kinematics: joints and segments angles and range of motion;</li> <li>- Perceived comfort and fatigue: stationary cycling trials and isokinetic dynamometry;</li> <li>- Peak torque, moments and forces: isokinetic dynamometry;</li> <li>- Muscular activity: surface electromyography.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <p>Cyclists with knee pain present larger knee adduction and larger ankle dorsiflexion and differences in activation for hamstrings and quadriceps muscles.</p> <p>Cyclists with overuse-related pain or injuries on their knees presented an increased medial projection of their knees and an altered activation of the Vastus Medialis and Vastus Lateralis muscles.</p> <p>There is limited evidence on the potential mechanisms related to overuse-related pain or injury.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Bini & Priego-Quesada (2022)  | To assess the methods to determine bicycle saddle height and the effects of saddle height on cycling performance and injury risk outcomes                                                                | Cross-sectional observational designs; Cross-sectional randomised controlled trials; Case study | 41            | n.a./1 to 142            | Both genders. Professional, competitive, recreational cyclists. Triathletes and non-cyclists.                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Methods to determine saddle height: lower limb joint angular-based methods, static and dynamics, 2D video motion analysis, anthropometrical;</li> <li>- Influence from changes in saddle height (including kinematics, comfort/pain, kinetics, muscle activation, oxygen uptake, efficiency, perceived exertion, performance, drag force and temperature): knee joint angles at the</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                     | <p>Limited evidence exists about the benefits from using recommended angles.</p> <p>Changes in saddle height affect lower limb kinematics and cyclist's comfort.</p> <p>Saddle height should be configured using dynamic measurements of the knee angle.</p> <p>Limb kinematics is influenced by changes in saddle height.</p> <p>There is limited evidence on the effects from changes in saddle height on supramaximal cycling performance or injury risk.</p> <p>There is limited evidence that predictive equations can be used to optimise saddle height.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|                           |                                                                                                                                                               |                                                                   |    |              |                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                           |                                                                                                                                                               |                                                                   |    |              |                                                                                                                                                                                              | 6 o'clock position, increase and decrease in relation to preferred saddle height, inseam leg length, heel method;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Johnston et al. (2017)    | To determine the association between biomechanical factors and knee injury risk in cyclists                                                                   | Cross-sectional or longitudinal (experimental or cohorts)         | 14 | 239/9 to 24  | Both genders;<br>Age 19 to 50 years;<br>Trained, competitive, amateur, experienced and recreational cyclists;<br>Triathlon and non-cyclists;<br>With or without knee pain or injury;         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Knee kinematics: 2D or 3D video motion analysis systems in the sagittal or coronal plane;</li> <li>- Knee kinetics (included joint power, muscle/joint moments, patellofemoral compressive forces, tibiofemoral compressive and shear forces.</li> <li>- Pedal forces/pedal force effectiveness, and crank torque): 2D or 3D video motion analysis systems, isokinetic ergometer.</li> <li>- Muscle activity around knee: surface eletromyography</li> </ul> | <p>Biomechanical factors that may impact knee pain include cadence, power output, crank length, saddle fore/aft position, saddle height, and foot position.</p> <p>Changing these factors may lead to differing effects for cyclists who experience knee pain based on specific anatomical location. Tibiofemoral peak anterior shear forces were found to be increased at higher saddle heights.</p> <p>Changes in cycling parameters or positioning on the bicycle can impact movement, forces, and muscle activity around the knee. There is a lack of direct association between parameters/positioning on the cycle and knee injury risk.</p> |
| Litwinowicz et al. (2021) | To assess the effectiveness of strategies for reducing the impact of cycling on the perineum in healthy males                                                 | Randomised controlled trials;<br>Cross-over;<br>Before and after. | 22 | 601/9 to 100 | Only healthy males;                                                                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Penile oxygen and blood pressure: standing versus sitting, different saddle designs, different positions, ultrasound Doppler instrument, Index of Erectile Function Questionnaire;</li> <li>- Seat pressure: standing versus sitting, different saddle designs, different positions;</li> </ul>                                                                                                                                                              | <p>Anatomical variants may play a role in perineal numbness. Deeper sulcus plays a protective role in cycling-induced sexual dysfunction.</p> <p>Using a recumbent bike mitigated decrease of penile oxygen pressure associated with using a standard bike and seat.</p> <p>Using the no-nose saddle, standing on the pedals every few minutes and using the recumbent bike are effective in protecting the perineum while cycling.</p>                                                                                                                                                                                                            |
| Streisfeld et al. (2017)  | To determine whether relationships exist between body positioning, spinal kinematics, and muscle activity in active cyclists with nontraumatic low back pain. | Comparison studies; Cross-sectional studies; Case based studies   | 8  | 255/1 to 120 | Only men, aged 18 to 57 years;<br>Weight: 54.43 to 72.57 kg;<br>Height: 1.6 to 1.85 m;<br>Elite, masters, professional competitive and unspecified cyclists. Professional off-road cyclists. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bicycle fit, muscle activity, and low back pain: surface electromyography, ultrasound;</li> <li>- Bicycle fit and spinal kinematics: various handlebar heights on pelvic and spinal position;</li> <li>- Spinal kinematics, motor control, and low back pain: on-road cycling tasks, video motion capture, Rehabilitation Bioengineering Group cyclists.</li> </ul>                                                                                          | <p>Muscle activation imbalances of the core and spinal musculature are risk factors for low back pain in cyclists.</p> <p>Prolonged, flexed-spine position during cycling is related to low back pain.</p> <p>There is a correlation between lumbar stability and nontraumatic low back pain.</p> <p>It may not be the body positioning on the bike that matters but the time spent in that position and concurrent muscle activation imbalances or endurance deficits that may contribute to overuse low back pain.</p> <p>Spinal and core muscle activation imbalances in a prolonged</p>                                                        |

|                         |                                                                        |                                                                                                             |    |           |                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         |                                                                        |                                                                                                             |    |           | With or without cycling experience.<br>With or without low back pain.                                                                                 | pain scale and the Numeric Pain Rating Scale.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | flexed posture associated with cycling may lead to maladaptive spinal kinematics and increased spinal stresses contributing to overuse low back pain.                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Visentini et al. (2022) | To identify risk factors associated with overuse injuries in cyclists. | Prospective cohort pre-post-test design;<br>Epidemiological cohort studies;<br>Cross-sectional cohort study | 18 | 3881/n.a. | Recreational or elite cyclists on road, track, mountain, city/commuter, and time-trial bikes;<br>Above 12 years old;<br>With overuse pain and injury. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- The symptoms investigated were hand, foot or saddle numbness, or pins and needles, urogenital or perineal, lumbar pain and foot pain.</li> <li>- Body parameters: multiple measures of body function or posture, including knee angle, hip angle, tests for the ability of the lower limb kinetic chain and the core muscles;</li> <li>- Load parameters: training volume, pauses, cycling years of experience, average speeds;</li> <li>- Bike measures: saddle configuration (height, width, cut-out, tilt, padding), foot/pedal interface, bars height, padded cycle shorts, bike type and tune-up.</li> </ul> | <p>Moderate evidence of a relationship between load and symptoms.</p> <p>Moderate evidence of no relationship between cycling overuse injury or pain and many measures traditionally used in bike fitting.</p> <p>Conflicting evidence exists of a relationship between seat height and symptoms.</p> <p>There is no strong evidence relating any measure of the bike, body or load to cycling overuse pain or injury.</p> |

Abbreviations: n.a. = non-available

### 3.3. Methodological quality assessment

The average score on the AMSTAR 2 checklist was 48%, with a range from 38 to 69%. Five reviews were categorized as being of moderate methodological quality (Antequera-Vique et al., 2023; Bini & Flores Bini, 2018; Bini & Priego-Quesada, 2022; Litwinowicz et al., 2021; Visentini et al., 2022). Two reviews were categorized as being of low quality (Johnston et al., 2017; Streisfeld et al., 2017). When using the Amstar 2 assessment quality online tool from the website, five reviews were categorised as being of critically low quality (Antequera-Vique et al., 2023; Bini & Flores Bini, 2018; Johnston et al., 2017); Litwinowicz et al., 2021; Streisfeld et al., 2017), and two reviews were categorized as being of low quality (Bini & Priego-Quesada, 2022; Visentini et al., 2022). The individual studies' quality assessment is presented in Table 2.

Table 2. Results of the quality assessment using the Assessing the Methodological Quality of Systematic Reviews 2 (AMSTAR 2) checklist

| Author(s)                     | Amstar items |      |     |      |     |     |    |      |     |    |                |                |     |     |                |     | Score        | Assessment quality |
|-------------------------------|--------------|------|-----|------|-----|-----|----|------|-----|----|----------------|----------------|-----|-----|----------------|-----|--------------|--------------------|
|                               | 1            | 2    | 3   | 4    | 5   | 6   | 7  | 8    | 9   | 10 | 11             | 12             | 13  | 14  | 15             | 16  |              |                    |
| Antequera-Vique et al. (2023) | Yes          | Yes* | No  | Yes* | Yes | No  | No | Yes  | No  | No | Not applicable | Not applicable | No  | Yes | Not applicable | Yes | 44% moderate | Critically Low     |
| Bini & Flores Bini (2018)     | Yes          | Yes* | Yes | Yes* | No  | No  | No | Yes* | Yes | No | Not applicable | Not applicable | No  | Yes | Not applicable | No  | 44% moderate | Critically Low     |
| Bini & Priego-Quesada (2022)  | Yes          | Yes* | No  | Yes* | Yes | No  | No | Yes  | Yes | No | Not applicable | Not applicable | Yes | Yes | Not applicable | Yes | 56% moderate | Low quality        |
| Johnston et al. (2017)        | Yes          | Yes* | No  | Yes* | No  | Yes | No | Yes* | Yes | No | Not applicable | Not applicable | No  | No  | Not applicable | No  | 38% low      | Critically Low     |
| Litwinowicz et al. (2021)     | Yes          | Yes* | No  | Yes* | No  | Yes | No | Yes* | Yes | No | Yes            | No             | No  | No  | No             | Yes | 50% moderate | Critically Low     |
| Streisfeld et al. (2017)      | Yes          | Yes* | No  | Yes* | No  | Yes | No | Yes* | Yes | No | Not applicable | Not applicable | No  | No  | Not applicable | No  | 38% low      | Critically Low     |
| Visentini et al. (2022)       | Yes          | Yes* | Yes | Yes  | Yes | Yes | No | Yes* | Yes | No | Not applicable | Not applicable | Yes | Yes | Not applicable | Yes | 69% moderate | Low quality        |

Legend: \*= Partial yes

## 4. Discussion

This review aimed to relate the rider's saddle position to performance and health. It was confirmed that the bicycle saddle position impacts both on performance and on comfort and injury risk. Health-related outcomes were found, such as low back pain, knee injuries, lumbar kyphosis, impact on perineum and comfort. Related to performance, outcomes such as muscle activation, oxygen uptake, load and intensity and efficiency were found. The following discussion is presented according to these subgroups.

### 4.1. Health

Over the last few years, there has been research dedicated to injury risk in cycling (Bini et al., 2011; Callaghan, 2005; Dettori & Norvell, 2006; Kutzer et al., 2012; Priego Quesada et al., 2019; Rooney et al., 2020; Sabeti-Aschraf et al., 2010). Researchers study body dimensions, joint angles, muscle activation and force production to successfully match the cyclists' body to the bicycle reducing injury risk. Different from acute injuries, which are usually related to accidents (Decock et al., 2016), overuse injuries are multi-factorial. The research found associations between overuse injuries and incorrect bicycle setup (Callaghan, 2005; Priego Quesada et al., 2019; Silberman et al., 2005). The occurrence of these injuries cannot be neglected since studies report that about 41% of cyclists with back pain required medical attention, and 22% lost training and/or competition time (Clarsen et al., 2010; Priego Quesada et al., 2019).

#### 4.1.1. Low back pain

Low back pain is one of the most frequent overuse injuries in cyclists (Barrios et al., 2015; Clarsen et al., 2010; Deakon, 2012) and it can also be related to incorrect saddle settings, especially the saddle tilt. According to du Toit et al., (2020), the low back (11.5%), the knee (26.3%), and the shoulders (13%) are the anatomical regions most frequently affected by overuse injuries in cycling. Previous research showed that ~23% of these low back injuries occurred in mountain bikers (Lebec et al., 2014) and up to 45% in road cyclists (Clarsen et al., 2010; Priego Quesada et al., 2019). The cyclist adopts various positions on the bicycle to achieve better aerodynamics and increase speed and efficiency. Generally, to do so the cyclist flexes the lumbar spine (Salai et al., 1999; Usabiaga et al., 1997). The prolonged and sustained flexed posture of the cyclist may lead to the increasing of mechanical strain of the lumbar region, promoting low back pain (Marsden & Schweltnus, 2010). The demands of the prolonged maintenance of a flexed position in cycling are associated with the core stability of the cyclist, which is also related to power production (Abt et al., 2007). The constant isometric contractions of the core muscles have been related to potentially being the cause of low back pain in cyclists

(Dettori & Norvel, 2006). According to Balasubramanian et al. (2014), the aerodynamic flexed posture of the cyclist leads to increased muscle recruitment and fatigue. Cyclists with low back pain and shortened hamstring extensibility were shown to have lower pelvic tilt (Burnett et al., 2004; Muyor et al., 2011b). According to Marsden & Schwellnus (2010), the main risk factor associated with low back pain is the pelvic tilt of the cyclist. Pelvic tilt is related to hip flexion angle (Holliday & Swart, 2021) and saddle designs (Bressel & Larson, 2003). Bini & Flores Bini (2018) suggested that changes in the inclination of the saddle (also referred as saddle tilt) could be a good strategy to reduce low back pain.

#### 4.1.2. Knee injury or pain

The knee is referred to in the literature as the most common joint impacted by cycling overuse injuries, both in recreational and professional cyclists (Silberman, 2013; Wanich et al., 2007). Studies report that knee pain affects 40-60% of recreational cyclists and 36-62% of professional cyclists (Barrios et al., 2015; Clarsen et al., 2010; Wanich et al., 2007). Anterior knee pain is the most common knee injury, likely caused by patellofemoral pain, patellar tendinopathy, or quadriceps tendinopathy (Barrios et al., 2015; Kotler et al., 2016; Wanich et al., 2007). It has been reported that low saddle heights increase the muscular forces which impact on the pressure between the patella and femur (Salsich et al., 2003). The same authors report that the pressure between the patella and the femur is also impacted by the contact areas between the cartilages, which also increases in larger knee flexions, typical of low saddle heights. Cyclists with overuse-related pain or injuries in their knees present an increased medial projection of their knees (Bailey et al., 2003) and an altered activation of the vastus medialis and vastus lateralis muscles (Dieter et al., 2014). There is limited evidence on the potential mechanisms related to overuse-related pain or injury (Bini & Flores Bini 2018). Studies seem to suggest that there are no significative differences in patellofemoral compressive forces related to saddle position (Bini et al., 2013; Tamborindeguy & Bini, 2011). Cyclists with and without pain do not present differences in knee loads (Bini & Flores Bini, 2018). However, published literature identified factors that may cause anterior knee pain, which include increased pressure due to hill climbing, heavy workloads, increased training, altered patellar tracking, or a combination of factors (Barrios et al., 2015; Clarsen et al., 2010; Wanich et al., 2007). Many risk factors can contribute to the problem such as altered patellar position, decreased flexibility, increased quadriceps (Q) angle, muscle imbalances, and various limb torsional and foot deformities (Wanich et al., 2007). According to Silberman (2013), Iliotibial band (ITB) syndrome is also reported as the most common cause of lateral knee pain in cyclists, caused by rapid increase in intensity and volume, either by race profile or race conditions, and by positional causes such as toes pointing inward,

excessive pedal float, or worn cleats, all associated to repetitive knee flexion-extension motions. Another cause for ITB syndrome has been presented by Geisler (2021), who reported that proximal neuromuscular factors may cause dynamic valgus collapse, increasing femoral adduction and internal rotation, impinging the iliotibial band against tissue during repetitive flexion and extension activities. ITB syndrome is related, among other factors, to a saddle position that is too high (Aderem et al., 2015; Noehren et al., 2007). It is suggested that, for cyclists at risk for ITB pain, a lower seat height may be desirable by reducing compensatory lateral pelvic motion that can increase stress to the ITB (Farrell et al., 2003). According to Callaghan (2005), the main cause for these injuries is incorrect saddle heights, either too high or too low. For example, it has been reported that changes in saddle height affect knee flexion angle and lead to overuse injuries (Dettori & Norvell, 2006). Excessively high saddle, along with chronic overload of the hamstring muscles and tendons, seems to be the main cause of Biceps Femoris tendinopathy, a posterior knee injury that is less common in cyclists (Sanner & O'Halloran, 2000). Tibiofemoral peak anterior shear forces were found to be increased at higher saddle heights (Binni & Hume, 2014). Thus, tibiofemoral anterior shear forces may decrease with a more forward or lower saddle position (Bini et al., 2013), decreasing potential strain on the anterior cruciate ligament (ACL). However, studies reported low in vivo ACL strain and low anterior tibiofemoral shear force during cycling (Johnston et al., 2017). Cyclists with anterior cruciate ligament injury or reconstruction may benefit from a lower saddle height or more forward saddle position (Bini et al., 2013; Bini & Hume, 2014).

#### 4.1.3. Lumbar kyphosis

The position on the bicycle is related to lumbar kyphosis (Brand et al., 2019; Hollyday et al., 2019; Muyor & Zabala, 2016). When cycling, it has been observed that the lumbar spine of the cyclists is in inversion, presenting lumbar kyphosis (Antequera-Vique et al., 2023). This inversion position depends on the type of grip on the handlebar (Muyor et al., 2011). On the bicycle, the lumbar spine flexes to rest the hands on the handlebars, which are normally lower than the height of the saddle, aiming to reduce cyclists' frontal surface area for better aerodynamics (Skovereng et al., 2020). The same authors observed an increase in torque power by changing handgrip position from the tops to the drops. In result, the prolonged lumbar spine flexion can lead to viscoelastic deformation of the ligaments of the posterior arch of the vertebrae, causing the increasing of the spinal flexion (Caldwell et al., 2003; Olson & Solomonow, 2004). Lumbar kyphosis was greater when the handlebar grip was lower and farther from the saddle (Muyor, 2015), showing the importance of a correct of saddle height.

However, the position of the saddle tilt has been shown to have no significant influence (Brand et al., 2019).

#### 4.1.4. Impact on perineum

The impact of the constant pressure exerted by the saddle can cause various complaints, from saddle sores to complaints related to the urogenital system. The main complications identified in the literature are perineal numbness, urethral stricture, and erectile dysfunction (Awad et al., 2018; Balasubramanian et al., 2020; Baran et al., 2014; Dettori et al., 2004). Genital numbness is usually attributed to Alcock's syndrome, which is a rare peripheral neuropathy characterized by chronic neuropathic pain involving the sensory territory of the pudendal nerve that can be aggravated by sitting. In cycling, it may be caused by the increase in perineal pressure caused by sitting on the bicycle saddle leading to vascular occlusion and subsequent hypoxemia of the pudendal nerve (Sommer et al., 2010). In a study by Dettori et al. (2004) on the association of erectile dysfunction with bicycle characteristics, reported little association between erectile dysfunction and saddle width, saddle padding or saddle tilt. However, this conflicts with the findings of Bini & Flores Bini (2018), who suggest changes in saddle designs to reduce numbness at the perineum or from Litwinowicz et al. (2020), who observed that the use of a no-nose saddle decreases internal perineal compression up to 71% reduction, promoting the reduction of discomfort and numbness in the perineum area. However, albite the advantages observed, the same authors state that this kind of seat was associated with increased posterior seat pressure and discomfort in the ischial tuberosities. Still from Dettori et al. (2004), cyclists who used a saddle cutout suffered an increased risk of erectile dysfunction compared with those who used no cutout saddles. Interestingly, the same authors reported that riding a mountain bicycle was associated with an increased risk of erectile dysfunction when compared to riding a road bicycle. The authors suggest that the use of a higher saddle position in relation to the handlebar contributes to diminishing perineal numbness in cycling. These conflicting findings reported in the scientific literature suggest that the individual anatomy of the cyclist may play a role and should be considered, which is in line with the findings of Naňka et al., (2007) and Šedý et al., (2006), who suggested that a deeper sulcus nervi dorsalis penis may contribute to more effective protection against cycling-induced sexual dysfunction. In the analysed literature, no data was found relating saddle spatial modifications to perineum health. Nevertheless, Litwinowicz et al. (2020) concluded that the use of the no-nose saddle, alternate sitting position with standing position on the pedals every few minutes and using the recumbent bike is effective in protecting the perineum health while cycling.

#### 4.2. Performance

In the process of finding the cyclist's ideal position on the bike, several geometric variables come into play, such as the position of the saddle, the position of the handlebars, the length of the crank and the position of the foot on the pedal. Authors report that changing the position of the saddle modifies the mechanical work of the joints of the lower limbs (Bini et al., 2011). These changes can impact muscle dynamics and joint angles and may influence the efficiency and effectiveness of pedalling, energy costs and, consequently, performance in competition.

#### 4.2.1. Muscular activation

Activation of Biceps Femoris, Rectus Femoris and Gastrocnemius was increased at higher saddle heights and less activation of Vastus Lateralis was found at cyclists' preferred saddle height (Bae et al., 2014; De Moura et al., 2017; Verma et al., 2016). These findings suggest that bi-articular muscles crossing the lower limb joints may be further required when cycling at a higher saddle height. However, based on the findings from this review, it is not possible to determine an optimal saddle height based on muscle activations. Nevertheless, there is strong evidence that muscle activity is affected by changes in saddle height (Bini & Priego-Quesada, 2022). In a study by Diefenthaler et al., (2008), the authors concluded that the modifications in the saddle setup of the participants affected the muscular activation patterns. However, the effects on muscular activation observed differed between participants, suggesting that the response is individual. The authors related this fact with changes in the pedalling technique of the participants.

#### 4.2.2. Oxygen uptake

Maximum oxygen uptake ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) has been defined as the highest rate at which oxygen can be uptake and utilized by the body during severe exercise, is one of the main variables in the field of exercise physiology and the best indicator of aerobic capacity (Basset & Howley, 2000; Impellizzeri & Marcora, 2007; Rankovic et al, 2010; Vandevald, 2004). Physiological variables such as maximal oxygen uptake are highly correlated with endurance exercise performance and considered the golden standard to assess cardiorespiratory fitness (Burnley & Jones, 2007; Faria et al., 2005a; Joyner & Coyle, 2008). According to Vandewalle (2004), oxygen consumption is a measure that can be used to determine the energy cost of an activity; in determining the type of energy substrates used in the activity, in particular the use of lipids and carbohydrates, through the calculation of the respiratory quotient (quotient between the production of carbon dioxide and the consumption of oxygen,  $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$ ); and in determining maximum oxygen consumption ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ).  $\text{VO}_{2\text{max}}$  is also used as a reference value or benchmark related to specific performance demands of the various cycling disciplines (Arriel et al., 2022; Faria et al. 2005; Impellizzery & Marcora, 2007). When fine-tuning seat height, cyclists self-select a

position according to sensory and mechanical feedback of the lower limbs and not according to oxygen cost (Connick & Li, 2012). There is moderate evidence suggesting that oxygen uptake is not affected by changes in saddle height of less than 4% of the leg length (Bini & Priego-Quesada, 2022; Connick & Li, 2012). However, in a study from Ferrer-Roca et al., (2014), the authors reported that oxygen consumption was significantly higher when the saddle was raised.

#### 4.2.3. Load and intensity

There is moderate evidence that changes in saddle height less than 4% of the leg length will result in trivial to small changes in lower limb loads. One study observed better performance at higher and lower saddle heights, compared to cyclists' preferred height during 30-s Wingate tests (De Moura et al., 2017). A study using 5-s maximum sprints observed reduced performance when saddle height was lowered by 2 cm (Vrints et al., 2011). The authors concluded that lower saddle positions can alter the lower limb kinematics, decreasing the mechanical performance of the major groups acting on the knee and thus generating less maximal power output. These findings suggest that further research is needed to explore a range of supramaximal intensities to determine the implications of saddle heights on cycling performance. Regarding saddle backwards and forward adjustments, Holliday & Swart (2020) reported that a greater saddle setback and a lower handlebar height may increase the peak power output produced by the cyclist.

#### 4.2.4. Efficiency

It seems that, when a range of saddle heights close to the cyclist's self-selected height is used, no changes in efficiency or energy expenditure are expected (Bini & Priego-Quesada, 2022). There is moderate evidence suggesting that oxygen uptake and efficiency are not affected by changes in saddle height of less than 4% of the leg length (Bini & Priego-Quesada, 2022; Connick & Li, 2012). This suggests that with alterations in seat height up to 4% of the leg length, the nervous system processes adaptive changes to the timing of both gastrocnemius and biceps femoris eccentric contractions based on proprioceptive feedback. This allows the maintenance of the cycling economy and consistent pedalling trajectories during the propulsion and transition phases of the pedalling cycle. However, in a study from Ferrer-Roca et al., (2014), gross efficiency was significantly lower and oxygen consumption was significantly higher when raising the saddle, confirming that there is still a lack of consensus in the scientific community on this subject. In conclusion, when a range of saddle heights close to the cyclist's self-selected height is used, no changes in efficiency or energy expenditure are expected (Bini & Priego-Quesada, 2022).

#### 4.2.5. Comfort

Although there is little published literature that relates saddle position and cyclist comfort, authors suggested that cyclists' self-selected saddle height is the most comfortable (Kruschewsky et al., 2018; Priego Quesada et al., 2017), being lower saddle heights normally associated with reduced comfort (Kruschewsky et al., 2018; Priego Quesada, Pérez-Soriano et al., 2016). In a study from Baino (2011), the author concluded that the comfort on bicycle is strongly subjective as it is highly related to personal preferences. Bini (2020) reported that recreational cyclists were sensitive to changes in saddle height as they reported different levels of comfort between their preferred and a lower saddle height, but could not differentiate comfort or discomfort when comparing high with low saddle height. Priego Quesada, Pérez-Soriano et al. (2016), highlighted the importance of observing cyclists' perceptions of comfort when choosing saddle position because of its role in injury prevention and cycling performance. The same authors conclude that cyclists perceived the most comfortable position to be when the saddle height was within the recommended knee angle ( $30^\circ$  calculated from the offset position or  $40 \pm 4.0^\circ$  of absolute value).

## **5. Study limitations**

Only seven studies that fully met the eligibility criteria were included in this review. Therefore, the lack of research, and consequently of evidence, related to the study's aim, limited the conclusions of this research. Due to the scarce literature published on the topic, a significant number of studies dating back more than five years were found. Also, the heterogeneity of the included studies (e.g., type of included studies, participants characteristics or evaluated outcomes) contributed to the limitations of this review not being able to perform a meta-analysis.

Additionally, the majority of the included studies (five in a total of seven) were of low methodological quality when AMSTAR 2 was considered. Only two studies were assessed of low methodological quality. Therefore, this assessment limits the strengths of the findings of this review, unveiling the necessity for future quality research.

## **6. Conclusion**

The current literature presents evidence that, in cycling, the position of the rider's saddle affects both performance and health. The saddle position is related to lower back pain, lumbar kyphosis, knee injury, perineum health and sexual dysfunctions, comfort, muscle activation, oxygen consumption, load, intensity and efficiency of the cyclist. However, it was found that there is limited and conflicting evidence regarding the mechanisms of overuse injury, the use

of joint angles to determine the ideal position and the effects of saddle position on variables such as oxygen uptake, load, pain or overuse injury. The evidence also suggests the individual characteristics of each rider should be considered to proper setup of the position of the saddle, from both health and performance points of view. The strength of these findings is limited by the low quality of the reviews included according to the AMSTAR2 assessment.

## **7. Implications of the results for practice, policy, and future research**

This review showed that there is still conflicting evidence found in the actual published scientific research, both on health-related issues and on performance. Nevertheless, the results of this review should be considered by coaches and sport scientists in their practice. Future research should focus on how saddle modifications affect cycling performance in various physiological factors such as oxygen uptake, torque, and power production, also in cycling efficiency and health related, in the various cycling disciplines.

### **Registration and protocol**

This research wasn't registered in any database.

### **Funding**

This research received no external funding.

### **Competing interests**

The authors declare no conflict of interest.

## **References**

- Abt, J. P., Smoliga, J. M., Brick, M. J., Jolly, J. T., Lephart, S. M., & Fu, F. H. (2007). Relationship between cycling mechanics and core stability. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1300-1304.
- Aderem, J., & Louw, Q. A. (2015). Biomechanical risk factors associated with iliotibial band syndrome in runners: a systematic review. *BMC musculoskeletal disorders*, 16, 1-16.
- Antequera-Vique, J. A., Oliva-Lozano, J. M., & Muyor, J. M. (2023). Effects of cycling on the morphology and spinal posture in professional and recreational cyclists: a systematic review. *Sports Biomechanics*, 22(4), 567-596.
- Arriel, R. A., Souza, H. L., Sasaki, J. E., & Marocolo, M. (2022). Current perspectives of cross-country mountain biking: physiological and mechanical aspects, evolution of bikes,

- accidents and injuries. *International journal of environmental research and public health*, 19(19), 12552.
- Awad, M. A., Gaither, T. W., Murphy, G. P., Chumnarnsongkhroh, T., Metzler, I., Sanford, T., ... & Breyer, B. N. (2018). Cycling, and male sexual and urinary function: results from a large, multinational, cross-sectional study. *The Journal of urology*, 199(3), 798-804.
- Bae, J. H., Choi, J. S., Kang, D. W., Shin, Y. H., Lee, J. H., & Tack, G. R. (2014). A study on lower limb joint angles and muscle activities during maximal and sub-maximal pedaling by saddle heights. 43(2014), 748–751.
- Bailey, M., Maillardier, F., & Messenger, N. (2003). Kinematics of cycling in relation to anterior knee pain and patellar tendinitis. *Journal of sports sciences*, 21(8), 649-657.
- Baino, F. (2011). Evaluation of the relationship between the body positioning and the postural comfort of non-professional cyclists: a new approach. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 51(1), 59-65.
- Balasubramanian, V., Jagannath, M., & Adalarasu, K. (2014). Muscle fatigue-based evaluation of bicycle design. *Applied ergonomics*, 45(2), 339-345.
- Balasubramanian, A., Yu, J., Breyer, B. N., Minkow, R., & Eisenberg, M. L. (2020). The association between pelvic discomfort and erectile dysfunction in adult male bicyclists. *The journal of sexual medicine*, 17(5), 919-929.
- Baran, C., Mitchell, G. C., & Hellstrom, W. J. (2014). Cycling-related sexual dysfunction in men and women: a review. *Sexual Medicine Reviews*, 2(3-4), 93-101.
- Barrios, C., Bernardo, N., Vera, P., Laíz, C., & Hadala, M. (2015). Changes in sports injuries incidence over time in world-class road cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 36(3), 241–248. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1389983>.
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 70-84.
- Bini, R. R. (2020). Acute effects from changes in saddle height in perceived comfort during cycling. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 15(3), 390-397.
- Bini, R. R., & Carpes, F. P. (Eds.). (2014). *Biomechanics of cycling* (pp. 13-21). Basel, Switzerland: Springer.
- Bini, R. R., & Flores Bini, A. (2018). Potential factors associated with knee pain in cyclists: A systematic review. *Open access journal of sports medicine*, 99-106.

- Bini, R. R., & Hume, P. A. (2014). Effects of saddle height on knee forces of recreational cyclists with and without knee pain. *International Sports Medicine Journal*, 15(2), 188-199.
- Bini, R. R., Hume, P. A., & Croft, J. (2014). Cyclists and triathletes have different body positions on the bicycle. *European Journal of Sport Science*, 14(sup1), S109-S115.
- Bini, R. R., Hume, P. A., Lanferdini, F. J., & Vaz, M. A. (2013). Effects of moving forward or backward on the saddle on knee joint forces during cycling. *Physical Therapy in Sport*, 14(1), 23-27.
- Bini, R., & Priego-Quesada, J. (2022). Methods to determine saddle height in cycling and implications of changes in saddle height in performance and injury risk: A systematic review. *Journal of sports sciences*, 40(4), 386-400.
- Brand, A., Sepp, T., Klöpfer-Krämer, I., Müßig, J. A., Kröger, I., Wackerle, H., & Augat, P. (2019). Upper body posture and muscle activation in recreational cyclists: Immediate effects of variable cycling setups. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 91(2), 298–308. <https://doi.org/10.1080/02701367.2019.1665620>.
- Bressel, E., & Larson, B. J. (2003). Bicycle seat designs and their effect on pelvic angle, trunk angle, and comfort. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(2), 327–332. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000048830.22964.7c>
- Burnett, A. F., Cornelius, M. W., Dankaerts, W., & O’Sullivan, P. B. (2004). Spinal kinematics and trunk muscle activity in cyclists: A comparison between healthy controls and non-specific chronic low back pain subjects - A pilot investigation. *Manual Therapy*, 9(4), 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.math.2004.06.002>.
- Burnley, M., & Jones, A. M. (2007). Oxygen uptake kinetics as a determinant of sports performance. *European Journal of Sport Science*, 7(2), 63-79.
- Burt, P. (2022). *Bike Fit 2nd Edition: Optimise Your Bike Position for High Performance and Injury Avoidance*. Bloomsbury Publishing.
- Bury, K., Leavy, J. E., Lan, C., O’Connor, A., & Jancey, J. (2021). A saddle sores among female competitive cyclists: a systematic scoping review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 24(4), 357-367.
- Caldwell, J. S., McNair, P. J. et Williams, M. (2003). The effects of repetitive motion on lumbar flexion and erector spinae muscle activity in rowers. *Clinical Biomechanics*, 18, 704-711.
- Callaghan, M. J. (2005). Lower body problems and injury in cycling. *Journal of bodywork and movement therapies*, 9(3), 226-236.

- Christiaans, H.H.C.M. & Bremner, A. (1998). Comfort on bicycles and the validity of a commercial bicycle fitting system. *Applied Ergonomics* 29 (3):201-211. doi: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687097000525>
- Clarsen, B., Krosshaug, T., & Bahr, R. (2010). Overuse injuries in professional road cyclists. *American Journal of Sports Medicine*, 38(12), 2494–2501. <https://doi.org/10.1177/0363546510376816>.
- Connick, M. J., & Li, F. X. (2013). The impact of altered task mechanics on timing and duration of eccentric bi-articular muscle contractions during cycling. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(1), 223–229. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.08.012>.
- Cook, O., & Dobbin, N. (2022). The association between sport nutrition knowledge, nutritional intake, energy availability, and training characteristics with the risk of an eating disorder amongst highly trained competitive road cyclists. *Sport Sciences for Health*, 18(4), 1243-1251.
- Deakon, R. T. (2012). Chronic musculoskeletal conditions associated with the cycling segment of the triathlon; prevention and treatment with an emphasis on proper bicycle fitting. *Sports medicine and arthroscopy review*, 20(4), 200-205.
- Decock, M., De Wilde, L., Vanden Bossche, L., Steyaert, A., & Van Tongel, A. (2016). Incidence and aetiology of acute injuries during competitive road cycling. *British Journal of Sports Medicine*, 50(11), 669. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095612>.
- de Moura, B. M., Moro, V. L., Rossato, M., De Lucas, R. D., & Diefenthaler, F. (2017). Effects of saddle height on performance and muscular activity during the Wingate test. *Journal of Physical Education (Maringa)*, 28, 1. <https://doi.org/10.4025/jphyseduc.v28i1.2838>
- Dettori, N.J. & Norvell, D.C. (2006). Non-traumatic bicycle injuries: A review of the literature. *Sports Medicine*, 36 (1):7-18. doi:10.2165/00007256-200636010-00002.
- Diefenthaler, F., Bini, R. R., Karolczak, A. P. B., & Carpes, F. P. (2008). Muscle activation during pedaling in different saddle position. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, 10(2), 161-169.
- Dieter, B. P., McGowan, C. P., Stoll, S. K., & Vella, C. A. (2014). Muscle activation patterns and patellofemoral pain in cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(4), 753-761.
- du Toit, F., Schwellnus, M., Wood, P., Swanevelder, S., Killops, J., & Jordaan, E. (2020). Epidemiology, clinical characteristics, and severity of gradual onset injuries in

- recreational road cyclists: A cross-sectional study in 21,824 cyclists - SAFER XIII. *Physical Therapy in Sport*, 46, 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2020.08.006>
- Faria, E. W., Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005a). The science of cycling. Factors affecting performance – Part 2. *Sports medicine*, 35, 313–337. doi:10.2165/00007256-200535040-00003
- Faria, E. W., Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005b). The science of cycling. Physiology and training – Part 1. *Sports medicine*, 35, 285–312. doi:10.2165/00007256-200535040-00002
- Farrell, K. C., Reisinger, K. D., & Tillman, M. D. (2003). Force and repetition in cycling: possible implications for iliotibial band friction syndrome. *The Knee*, 10(1), 103-109.
- Ferrer-Roca, V., Bescos, R., Roig, A., Galilea, P., Valero, O., & Garcia-Lopez, J. (2014). Acute effects of small changes in bicycle saddle height on gross efficiency and lower limb kinematics. *Journal Of Strength And Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 28 (3), 784–791. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a1f1a9>.
- Ferrer-Roca, V., Roig, A., Galilea, P., & García-López, J. (2012). Influence of saddle height on lower limb kinematics in well-trained cyclists: static vs. dynamic evaluation in bike fitting. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(11), 3025-3029.
- Fleming, B.C., Beynnon, B.D., Renstrom, P.A. et al. (1998). The strain behavior of the anterior cruciate ligament during bicycling. An in vivo study. *Am J Sports Med*. 26:109-118.
- Fonda, B., Panjan, A., Markovic, G., & Sarabon, N. (2011). Adjusted saddle position counteracts the modified muscle activation patterns during uphill cycling [Article]. *Journal of Electromyography & Kinesiology*, 21(5), 854-860. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2011.05.010>
- Fusar-Poli, P., & Radua, J. (2018). Ten simple rules for conducting umbrella reviews. *BMJ Ment Health*, 21(3), 95-100.
- García-López, J., & del Blanco, P. A. (2017). Kinematic analysis of bicycle pedalling using 2d and 3d motion capture systems. *ISBS Proceedings Archive*, 35(1), 125.
- García-López, J., Rodríguez-Marroyo, J. A., Juneau, C.-E., Peleteiro, J., Martínez, A. C., & Villa, J. G. (2008). Reference values and improvement of aerodynamic drag in professional cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 26, 277–286. doi:10.1080/02640410701501697
- Garside, I., & Doran, D.A. (2000). Effects of bicycle frame ergonomics on triathlon 10-km running performance. *Journal of Sports Sciences*, 18(10), 825–833.

- Geisler, P. R. (2021). Current clinical concepts: synthesizing the available evidence for improved clinical outcomes in iliotibial band impingement syndrome. *Journal of Athletic Training*, 56(8), 805-815.
- Grgic, J., Grgic, I., Pickering, C., Schoenfeld, B. J., Bishop, D. J., & Pedisic, Z. (2020). Wake up and smell the coffee: caffeine supplementation and exercise performance—an umbrella review of 21 published meta-analyses. *British journal of sports medicine*, 54(11), 681-688.
- Heron, N., Sarriegui, I., Jones, N., & Nolan, R. (2021). International consensus statement on injury and illness reporting in professional road cycling. *The Physician and Sports medicine*, 49(2), 130-136.
- Holliday, W., & Swart, J. (2021). Anthropometrics, flexibility, and training history as determinants for bicycle configuration. *Sports Medicine and Health Science*, 3(2), 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.smhs.2021.02.007>.
- Holliday, W., Theo, R., Fisher, J., & Swart, J. (2019). Cycling: Joint kinematics and muscle activity during differing intensities. *Sports Biomechanics*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/14763141.2019.1640279>.
- Hopker, J. (2016). Identifying and developing talent in cycle sport. *Sports Medicine Journal*, 5, 416-422.
- Impellizzeri, F. M., & Marcora, S. M. (2007). The physiology of mountain biking. *Sports medicine*, 37, 59-71.
- Johnston, T. E., Baskins, T. A., Koppel, R. V., Oliver, S. A., Stieber, D. J., & Hoglund, L. T. (2017). The influence of extrinsic factors on knee biomechanics during cycling: a systematic review of the literature. *International journal of sports physical therapy*, 12(7), 1023.
- Kotler, D. H., Babu, A. N., & Robidoux, G. (2016). Prevention, evaluation, and rehabilitation of cycling-related injury. *Current sports medicine reports*, 15(3), 199-206.
- Kruschewsky, A. B., Dellagrana, R. A., Rossato, M., Ribeiro, L. F. P., Lazzari, C. D., & Diefenthaler, F. (2018). Saddle height and cadence effects on the physiological, perceptual, and affective responses of recreational cyclists. *Perceptual and motor skills*, 125(5), 923-938.
- Lebec, M. T., Cook, K., & Baumgartel, D. (2014). Overuse injuries associated with mountain biking: Is single-speed riding a predisposing factor? *Sports*, 2(1), 1–13. <https://doi.org/10.3390/sports2010001>

- Litwinowicz, K., Choroszy, M., & Wróbel, A. (2021). Strategies for Reducing the Impact of Cycling on the Perineum in Healthy Males: Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, 51, 275-287.
- Marsden, M., & Schwellnus, M. (2010). Lower back pain in cyclists: A review of epidemiology, pathomechanics and risk factors. *International SportMed Journal*, 11(1), 216–225.
- Millour, G., & Bertucci, W. (2017). Comparison of Genzling method vs Hamley method allowing a postural adjustment in cycling: Preliminary study. *Computer methods in Biomechanics and Biomedical engineering*, 20 (sup1), S135-S136.
- Muyor, J. M. (2015). The influence of handlebar-hands position on spinal posture in professional cyclists. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 28(1), 167–172. <https://doi.org/10.3233/BMR-140506>.
- Muyor, J. M., Alacid, F., & López-Miñarro, P. Á. (2011b). Influence of hamstring muscles extensibility on spinal curvatures and pelvic tilt in highly trained cyclists. *Journal of Human Kinetics*, 29(2011), 15–23. <https://doi.org/10.2478/v10078-011-0035-8>.
- Muyor, J. M., & Zabala, M. (2016). Road cycling and mountain biking produces adaptations on the spine and hamstring extensibility. *International Journal of Sports Medicine*, 37(1), 43–49. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1555861>.
- Naňka, O., Šedý, J., & Jarolim, L. (2007). Sulcus nervi dorsalis penis: Site of origin of Alcock's syndrome in bicycle riders? *Medical hypotheses*, 69(5), 1040-1045.
- Noehren, B., Davis, I., & Hamill, J. (2007). ASB Clinical Biomechanics Award Winner 2006: Prospective study of the biomechanical factors associated with iliotibial band syndrome. *Clinical biomechanics*, 22(9), 951-956.
- Olson, M. W., Li, L. et Solomonow, M. (2004). Flexion-relaxation response to cyclic lumbar flexion. *Clinical Biomechanics*, 19(8), 76-
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *International journal of surgery*, 88, 105906.
- Peveler, W. W., & Green, J. M. (2011). Effects of saddle height on economy and anaerobic power in well-trained cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 629–633. doi:10.1519/JSC.0b013e3181d09e60
- Priego Quesada, J. I., Kerr, Z. Y., Bertucci, W. M., Carpes, F. P., & Barbosa, T. M. (2019). A retrospective international study on factors associated with injury, discomfort and pain perception among cyclists. *Plos One*, 14(1), e0211197. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211197>

- Priego Quesada, J. I., Perez-Soriano, P., Lucas-Cuevas, A. G., Salvador Palmer, R., & Cibrian Ortiz de Anda, R. M. (2017). Effect of bike-fit in the perception of comfort, fatigue and pain. *Journal of Sports Sciences*, 35 (14), 1459–1465. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1215496>.
- Rankin, J. W., & Neptune, R. R. (2010). The influence of seat configuration on maximal average crank power during pedaling: a simulation study. *Journal of Applied Biomechanics*, 26(4), 493-500.
- Rankovic, G., Mutavdzic, V., Toskic, D., Preljevic, A., Kocic, M., Nedin Rankovic, G., & Damjanovic, N. (2010). Aerobic capacity as an indicator in different kinds of sports. *Bosnian journal of basic medical sciences*, 10(1), 44–48. <https://doi.org/10.17305/bjbms.2010.2734>
- Ricard, M. D., Hills-Meyer, P., Miller, M. G., & Michael, T. J. (2006). The effects of bicycle frame geometry on muscle activation and power during a Wingate anaerobic test. *Journal of sports science & medicine*, 5(1), 25.
- Rodríguez-Marroyo, J. A., García-López, J., Chamari, K., Córdova, A., Hue, O., & Villa, J. G. (2009). The rotor pedaling system improves anaerobic but not aerobic cycling performance in professional cyclists. *European Journal of Applied Physiology*, 106, 87–94. doi:10.1007/s00421-009-0993-x
- Rooney, D., Sarriegui, I., & Heron, N. (2020). ‘As easy as riding a bike’: a systematic review of injuries and illness in road cycling. *BMJ open sport & exercise medicine*, 6(1), e000840.
- Sabeti-Aschraf, M., Serek, M., Geisler, M., Schmidt, M. I., Pachtner, T., Ochsner, A., ... & Graf, A. (2010). Overuse Injuries Correlated to the Mountain Bikes Adjustment: A Prospective Field Study. *The Open Sports Sciences Journal*, 3(1).
- Salai, M., Brosh, T., Blankstein, A., Oran, A., & Chechik, A. (1999). Effect of changing the saddle angle on the incidence of low back pain in recreational bicyclists. *British journal of sports medicine*, 33(6), 398-400.
- Salsich, G. B., Ward, S. R., Terk, M. R., & Powers, C. M. (2003). In vivo assessment of patellofemoral joint contact area in individuals who are pain free. *Clinical Orthopaedics and Related Research* (1976-2007), 417, 277-284.
- Sanner, W. H., & O'Halloran, W. D. (2000). The biomechanics, etiology, and treatment of cycling injuries. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 90(7), 354-376.

- Šedý, J., Naňka, O., Belišová, M., Walro, J. M., & Jarolím, L. (2006). Sulcus nervi dorsalis penis/clitoridis: anatomic structure and clinical significance. *European urology*, 50(5), 1079-1085.
- Shea, B. J., Reeves, B. C., Wells, G., Thuku, M., Hamel, C., Moran, J., ... & Henry, D. A. (2017). AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. *bmj*, 358.
- Silberman, M.R. (2013). Bicycling injuries. *Current Sports Medicine Rep.* 12:337-345.
- Silberman, M. R., Webner, D., Collina, S., & Shipley, B. J. (2005). Road bicycle fit. *Clinical journal of sport medicine*, 15(4), 271-276.
- Skovereng, K., Aasvold, L. O., Ettema, G., & Mourot, L. (2020). On the effect of changing handgrip position on joint specific power and cycling kinematics in recreational and professional cyclists. *Plos One*, 15(8), e0237768. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237768>.
- Sommer, F., Goldstein, I., & Korda, J. B. (2010). Bicycle riding and erectile dysfunction: a review. *The journal of sexual medicine*, 7(7), 2346-2358.
- Spindler, D. J., Allen, M. S., Vella, S. A., & Swann, C. (2018). The psychology of elite cycling: a systematic review. *Journal of sports sciences*, 36(17), 1943-1954.
- Streisfeld, G. M., Bartoszek, C., Creran, E., Inge, B., McShane, M. D., & Johnston, T. (2017). Relationship between body positioning, muscle activity, and spinal kinematics in cyclists with and without low back pain: A systematic review. *Sports health*, 9(1), 75-79.
- Swart, J., & Holliday, W. (2019). Cycling biomechanics optimization—the (R) evolution of bicycle fitting. *Current sports medicine reports*, 18(12), 490-496.
- Tamborindeguy, A. C., & Bini, R. R. (2011). Does saddle height affect patellofemoral and tibiofemoral forces during bicycling for rehabilitation?. *Journal of bodywork and movement therapies*, 15(2), 186-191.
- Usabiaga, J., Crespo, R., Iza, I., Aramendi, J., Terrados, N., & Poza, J. J. (1997). Adaptation of the lumbar spine to different positions in bicycle racing. *Spine*, 22(17), 1965-1969.
- Vandewalle, H. (2004). Oxygen uptake and maximal oxygen uptake: interests and limits of their measurements. *Annales de réadaptation et de médecine physique* 47, 243-257.
- Verma, R., Hansen, E. A., De Zee, M., & Madeleine, P. (2016). Effect of seat positions on discomfort, muscle activation, pressure distribution and pedal force during cycling. *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International*

*Society of Electrophysiological Kinesiology*, 27, 78–86.  
<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2016.02.003>.

- Visentini, P. J., McDowell, A. H., & Pizzari, T. (2022). Factors associated with overuse injury in cyclists: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 25(5), 391–398.
- Vrints, J., Koninckx, E., Van Leemputte, M., & Jonkers, I. (2011). The effect of saddle position on maximal power output and moment generating capacity of lower limb muscles during isokinetic cycling. *Journal of Applied Biomechanics*, 27(1), 1–7.  
<https://doi.org/10.1123/jab.27.1.1>.
- Wanich, T., Hodgkins, C., Columbier, J. A., Muraski, E., & Kennedy, J. G. (2007). Cycling injuries of the lower extremity. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 15(12), 748–756.

### **CAPÍTULO III – Trabalho Experimental**

De acordo com os resultados do estudo anterior, verificou-se que a posição do selim tem impacto no ciclista sob o ponto de vista da saúde e da performance. Na sua prática diária, os ciclistas de BTT modificam a posição do selim avançando-o, fazendo-o de acordo com as suas preferências pessoais sem serem capazes de perceber quais os efeitos dessa modificação. Quando pensamos em atletas de alto rendimento, esta constatação é mais crítica uma vez que, pequenas diferenças em qualquer dos fatores que afetam a performance, pode significar insucesso em competição (Faria et al, 2005a, 2005b). Atendendo ao exposto, e como forma de responder a esta pergunta, foi desenvolvido um estudo experimental com o objetivo de entender os efeitos do deslocamento horizontal do selim em atletas de BTT. Este estudo foi realizado segundo as diretrizes do protocolo CONSORT (Schulz et al. 2010) para estudos randomizados, cuja checklist segue em anexo (Anexo 1).

#### **3.1 Amostra**

Participaram neste estudo um total de seis ciclistas de BTT do sexo masculino, idades entre os 18 e os 36 anos, praticantes de BTT de nível internacional, dos escalões competitivos de juniores, sub-23 e elites. Como critério de inclusão, os participantes teriam de ser do sexo masculino e ter um mínimo de dois anos de experiência competitiva de nível nacional e/ou internacional. Os participantes foram instruídos para reduzir o volume e intensidade do treino nos dois dias anteriores ao procedimento experimental para níveis baixos com o objetivo de evitar situações de fadiga, e de se abster de consumir bebidas energéticas, café ou outros estimulantes no mesmo período até depois da realização do teste. Como critério de exclusão, os participantes não poderiam ter tido uma lesão nos dois anos anteriores à recolha dos dados.

O motivo da escolha destes participantes deve-se à facilidade de acesso aos mesmos, à possibilidade de recurso a atletas de nível competitivo elevado e pelo facto de serem atletas experimentados na aplicação rigorosa das técnicas e instrumentos a utilizar neste estudo.

Foi feita a descrição do estudo e dos seus objetivos aos participantes, bem como dos seus riscos e benefícios. Foi distribuído um consentimento informado que foi assinado pelos participantes, assegurando a confidencialidade dos dados pessoais recolhidos. A cada participante foi atribuído um nº de identificação de 1 a 6, que funcionou como código na análise dos dados e os seus dados pessoais não constarão em qualquer documento ou apresentação, nem nunca serão referidos. Este estudo teve o parecer favorável da comissão de ética do Núcleo de Investigação do Instituto Politécnico da Maia N2i com o nº 001/maio/2023 (Anexo 3).

### **3.2 Design experimental e variáveis em estudo**

Foi realizado um estudo experimental transversal, randomizado, em que foram correlacionadas as variáveis  $\text{VO}_2\text{max}$ , potência máxima aeróbia e deslocação horizontal do selim. O estudo teve duas fases distintas de concretização:

- Parte 1 – Estudo piloto
- Parte 2 – Estudo experimental

#### **Parte 1 – Estudo Piloto**

Na primeira fase procedeu-se a um estudo piloto realizado em laboratório com um participante. Segundo In (2017), um estudo piloto é realizado a uma escala menor relativamente ao estudo principal e contribui para melhorar a sua qualidade e eficiência. Através do estudo piloto o investigador pode verificar se os seus métodos são precisos e fáceis de replicar, identificar possíveis problemas e corrigi-los, ajustar o tamanho e o tipo da amostra e testar as hipóteses. Assim sendo, este estudo piloto foi realizado com o objetivo de testar todos os procedimentos experimentais envolvidos na recolha de dados, métodos e instrumentos, de forma a verificar a fiabilidade do design do estudo experimental e a sua replicabilidade para ser realizado posteriormente em maior escala. O procedimento experimental do estudo piloto encontra-se descrito no anexo 2.

#### **3.2.1. Metodologia do estudo piloto**

O estudo iniciou-se através da realização dos registos iniciais: local, data, hora, temperatura, humidade, dados pessoais do participante. Foram avaliadas e manipuladas as seguintes variáveis:

- Variável independente: Distância (deslocamento) horizontal do selim (DHS);
- Variáveis dependentes: Consumo de oxigénio ( $\text{VO}_2$ ); Frequência cardíaca (FC); Concentração de lactato sanguíneo (LAC); Perceção Subjetiva de Esforço (RPE).
- Variáveis de controlo: Frequência da pedalada (CAD); %Potência Mecânica (%P); Comprimento do crank (CC).

Foram retiradas as seguintes medidas:

- Antropometria: altura, peso, IMC, pregas cutâneas (somatório de 8 pregas – tricipital, bicipital, abdominal, supraespinal, suprailíaca, subscapular, crural, geminal).

- Ergometria e consumos: Consumo  $O_2$ , concentração de lactato (LAC), frequência cardíaca (FC), potência (P), cadência (CAD) e percepção subjetiva de esforço (RPE).
- Altura entre pernas, altura selim, recuo de selim, distância selim-avanço, amplitude de avanço do selim.

**Neste estudo foram estudadas três posições em cada uma das duas situações, plano e subida:**

(1) A posição adotada pelo ciclista na sua bicicleta, que designámos de posição de base (base) calculada através da adoção dos métodos de Pruit (reco de selim), e de Ferrer-Roca (2012) para a altura do selim – base;

(2) A distância horizontal do selim da posição de referência da bicicleta do ciclista adicionando 25% da amplitude de deslocamento dos carris do selim  $(di + ((df - di) * 0,25))$  – base + 25%;

(3) A distância horizontal do selim da posição de referência da bicicleta do ciclista adicionando 50% da amplitude de deslocamento dos carris do selim  $(di + ((df - di) * 0,50))$  – base + 50%;

$di$  = distância inicial;  $df$  = distância final;  $df - di$  = amplitude máxima de deslocamento dos carris do selim.



Figura 10. A = Amplitude máxima de deslocamento permitida pela configuração do selim.

Na situação de subida, foi utilizada uma inclinação de 20%, simulando-se assim uma das condições típicas de uma competição de XCO. A ordem de realização de cada ensaio foi aleatória, não sequencial, anónima e determinada através da utilização do software de utilização livre Randomizer, disponível online em <https://www.randomizer.org/>.

### **Ativação**

A ativação foi realizada a uma potência constante correspondente a 40% da MAP de cada participante, com uma duração de 10 min. Cumpru-se um intervalo de 5 min de recuperação passiva entre o aquecimento e o início do procedimento experimental.

### **3.2.2. Avaliação do Consumo de Oxigênio - Protocolo Submáximo**

Previamente a todos os testes, foram seguidos os procedimentos de operação e calibração indicados pelos fabricantes dos instrumentos e materiais utilizados. Cada teste submáximo teve a duração de 10 min seguidos de 5 min de recuperação ativa e 15 min de recuperação passiva. O tempo de 20 min entre testes justifica-se pela necessidade de recuperação dos ciclistas evitando efeitos de fadiga e também com a necessidade de ajustar a posição do selim da bicicleta para o teste seguinte. Estes procedimentos foram confirmados após a realização do teste piloto. Com o objetivo de evitar possíveis efeitos de fadiga ou aprendizagem, as três posições do selim (base, +25% e +50% da amplitude), foram randomizadas, totalizando seis combinações diferentes determinadas aleatoriamente e distribuídas aos participantes (Leirdal e Ettema, 2011b). A ordem dos testes de cada posição de deslocamento do selim foi obtida de forma aleatória através da utilização do software Randomizer disponível online em <https://www.randomizer.org>. O protocolo experimental utilizado foi adaptado dos estudos de Menard et al. (2018) e de Fonda et al. (2011). A intensidade da carga (potência) utilizada pelos participantes, deverá ter em conta a resposta individual de cada ciclista à carga aplicada. Ao mesmo tempo, deve provocar uma carga interna tal que corresponda ao metabolismo predominante das provas de XCO referido na literatura, essencialmente aeróbio com larga contribuição anaeróbia. Segundo Macdermid e Stannard (2012), as competições de XCO são disputadas a uma intensidade média correspondendo a cerca de 84% do  $VO_{2max}$ . A potência alvo a desenvolver pelo ciclista durante o teste submáximo foi normalizada ao valor da potência correspondente a 75% da MAP do participante obtida em teste laboratorial. Esta potência alvo foi considerada uma carga estimada com relevância em termos de consumo energético, mas que, ao mesmo tempo, não comprometa em termos de fadiga a realização dos diversos ensaios. Assim, a carga no 1º min do teste foi de 25% da potência alvo, a potência foi aumentada 25% a cada minuto até atingir os 100% da carga correspondente à potência alvo, o que ocorreu no final do 3º min do teste. Os primeiros 3 min visam promover a adaptação do ciclista em termos cardiovasculares, musculares e articulares, bem como à posição adotada. Uma vez atingida a potência alvo, o participante pedalou de forma contínua e com intensidade constante durante 7 min, com o objetivo de atingir

um *steady-state*. O participante foi instruído para manter uma cadência próxima das 85 rpm e constante ao longo de cada ensaio. O valor correspondente ao consumo de oxigênio em cada ensaio foi obtido através do cálculo da média dos consumos registados nos últimos 2 min na potência alvo e expressos em ml/kg/min. No final de cada ensaio, o participante cumpriu um período de recuperação ativa com uma duração de 5 min com o valor correspondente a 25% da potência alvo do teste, seguido de um período de 15 min de recuperação passiva. O procedimento experimental está representado no Gráfico 1.

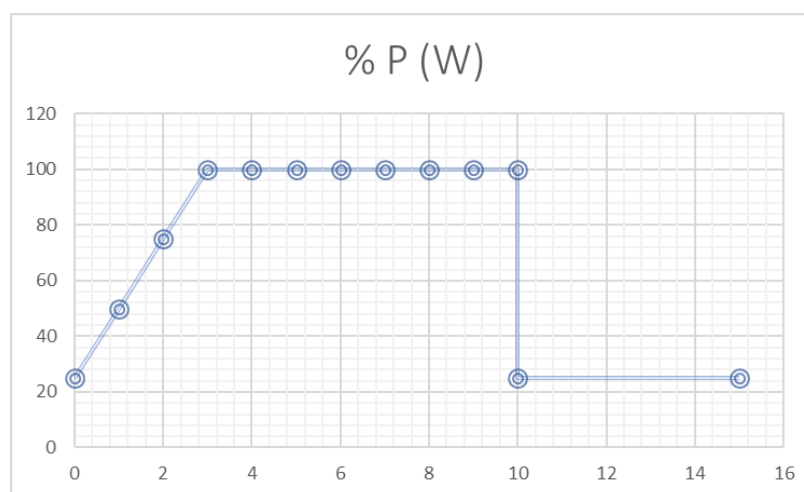


Gráfico 1. Gráfico representativo do procedimento experimental do estudo piloto

### **Recolha de sangue capilar para análise da concentração de lactato**

Foram realizadas as seguintes recolhas de sangue capilar para análise da concentração de lactato;

- Final do período dos 7 min de teste na potência alvo;
- Após os 5 min de recuperação ativa;
- Após 15 min de recuperação passiva.

### **Percepção subjetiva de esforço (RPE)**

Previamente ao início do primeiro ensaio, o participante foi informado da aplicação da escala RPE e instruídos quanto à sua interpretação. Ao 8º min de cada ensaio, o participante foi questionado quanto ao valor da sua percepção subjetiva de esforço (RPE) utilizando-se a Escala de Borg (Borg, 1990) e esse valor registado.

## **A bicicleta**

Foram realizados ajustes no tamanho do avanço de acordo com a morfologia corporal do participante. A bicicleta foi equipada com um instrumento de medição de potência e apoiada num rolo treino fixo.



Figura 11. Bicicleta BTT utilizada nos ensaios.

## **Medições**

### **Avaliação laboratorial**

- Avaliação antropométrica – a avaliação antropométrica tem por objetivo a caracterização breve do participante no estudo. Avaliou-se também a composição corporal do participante e foi neste momento que se obteve a medida entre-pernas dos participantes para cálculo da altura do selim.

Peso – O peso foi medido antes do início do procedimento experimental, com o participante descalço e envergando exclusivamente o calção de ciclismo. foi utilizada uma balança digital Seca 818 dr (Seca, Hammer Steindamm, Alemanha).

Altura – A altura foi medida antes do início do procedimento experimental, com o participante descalço, na posição anatômica de referência. Foi utilizado um estadiômetro Seca 217 (Seca, Hammer Steindamm, Alemanha).

Pregas adiposas subcutâneas – Foram registadas oito pregas subcutâneas (tricipital, bicipital, subscapular, suprailíaca, supraespinal, abdominal, crural e geminal) e calculado o seu somatório. O procedimento de medição foi de acordo com o método ISAK e antes do procedimento experimental.

Entre-pernas (inseam) – A altura entre-pernas do participante foi obtida com o participante descalço, encostado a uma parede lisa e colocado um esquadro encostado à altura máxima permitida (sínfise púbica), utilizando também o calção de ciclismo utilizado no ensaio.

- Avaliação biomecânica – Determinação da posição de selim neutra de referência através da utilização de método tradicional para o recuo do selim – método de Pruitt e das recomendações de Ferrer-Roca et al. (2012) para a regulação da posição do selim em altura:  $AS=108,6 - 110,4\%$  Inseam. Para esta determinação foi utilizado o valor médio de 109,5%.



Figura 12. Método de Pruitt para a regulação da posição horizontal do selim.

Procedimento para execução do Método Pruitt:

- O ciclista pedala por algum tempo de forma a atingir a posição habitual de pedalada e conforto, idealmente com a bicicleta assente num rolo treino fixo com as rodas perfeitamente niveladas no plano horizontal;
- O crank é posicionado na horizontal aos 90° do ciclo de pedalada;
- É passado um fio de prumo na vertical que passa pela extremidade da tuberosidade tibial;
- A posição do selim é considerada a ideal quando a vertical do fio de prumo que passa pela extremidade da tuberosidade tibial passa também pelo centro do eixo do pedal;
- Caso o anterior não se verifique, o selim deverá ser deslocado na horizontal, para trás ou para diante, voltando a repetir-se todo o procedimento até que o anterior se verifique.

Procedimento para execução do cálculo da regulação da posição do selim em altura

segundo as recomendações de Ferrer-Roca et al. (2012)

- O participante, descalço, encosta-se a uma parede lisa na posição anatômica de referência;
- É colocado um esquadro à altura máxima permitida mantendo a horizontalidade;
- É medida a altura desde o solo até ao ponto mais alto do esquadro;
- O valor obtido multiplica-se por 109,5% e obtém-se a altura do selim;

Idealmente, o participante deverá fazer a medição envergando o calção típico de ciclismo que vai utilizar no ensaio.

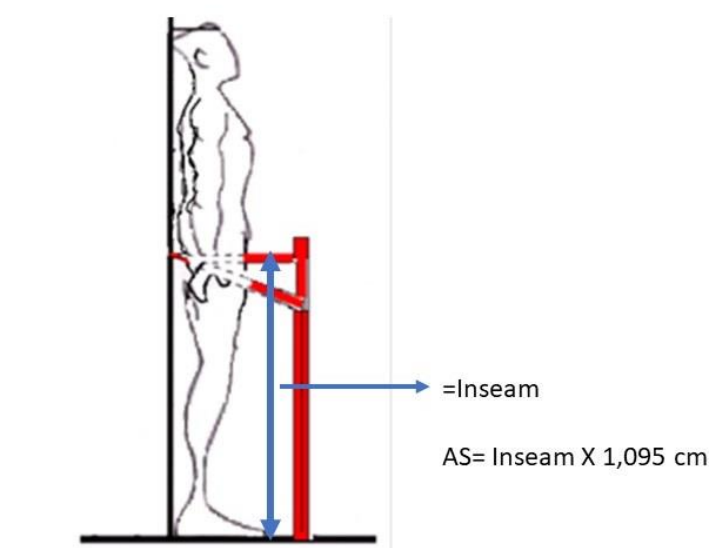


Figura 13. Cálculo da altura do selim (AS) segundo Ferrer-Roca et al. (2012).

### 3.2.3 Instrumentos de medida

Avaliação laboratorial:

- Balança Seca 818 dr (Seca, Hammer Steindamm, Alemanha).;
- Estadiómetro Seca 217 (Seca, Hammer Steindamm, Alemanha);
- Adipómetro Harpenden (Baty International Ltd, Burgess Hill, Reino Unido);
- Cicloergómetro SRM Ergometer (SRM GmbH, Julich, Alemanha);
- Analisador de gases K5 Cosmed (Cosmed, Albano Laziale, Itália);
- Pulsómetro SRM (SRM GmbH, Julich, Alemanha);
- Analisador de lactato Lactate Photometer plus DP 110 (Diaglobal GmbH, Berlim, Alemanha);

- Bicicleta BTT Drag Hardy 9.0 (Velomania Ltd, Sofia, Bulgaria).

### 3.2.4. Resultados

Os dados relativos ao participante estão descritos na tabela 2:

Tabela 2. Dados recolhidos do participante no estudo piloto

| Dados                    |       |
|--------------------------|-------|
| Idade (anos)             | 36    |
| MAP (W)                  | 310   |
| Peso (kg)                | 52,2  |
| Altura (cm)              | 165   |
| IMC (kg/m <sup>2</sup> ) | 19,17 |
| Σ 8 pregas (mm)          | 46,7  |

A amplitude de deslocamento máximo do selim considerada foi de 3 cm. Para além da posição base, foram consideradas as posições de selim com avanço de 0,75 cm correspondendo à posição base+25 e de 1,50 cm, correspondendo à posição base+50. O atleta apresentava valor de MAP de 310 W, pelo que a potência alvo dos ensaios foi de 232,5 W. O atleta foi aconselhado a seguir numa cadência próxima das 85 rpm, tendo registado no final dos seis ensaios, a média de 84 rpm. As medições realizadas durante os ensaios estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Registo de valores recolhidos no teste piloto

|             | Consumo O <sub>2</sub><br>ml/kg/min | FC (bpm) | RPE  | LAC<br>(mmol/L) | CAD<br>(rpm) |
|-------------|-------------------------------------|----------|------|-----------------|--------------|
| Plano base  | 70,57                               | 154      | 14   | 7,5             | 85           |
| Plano 25%   | 70,87                               | 160      | 13,5 | 7,9             | 83           |
| Plano 50%   | 81,97                               | 160      | 14   | 9,73            | 86           |
| Subida Base | 75,84                               | 163      | 14   | 9,11            | 84           |
| Subida 25%  | 74,66                               | 164      | 14   | 8,95            | 84           |
| Subida 50%  | 79,77                               | 166      | 14   | 9,23            | 83           |

Legenda: FC=frequência cardíaca; RPE=percepção subjetiva de esforço; LAC=concentração de lactato sanguíneo; CAD=cadência

Os resultados obtidos foram representados graficamente através do Gráfico 2.

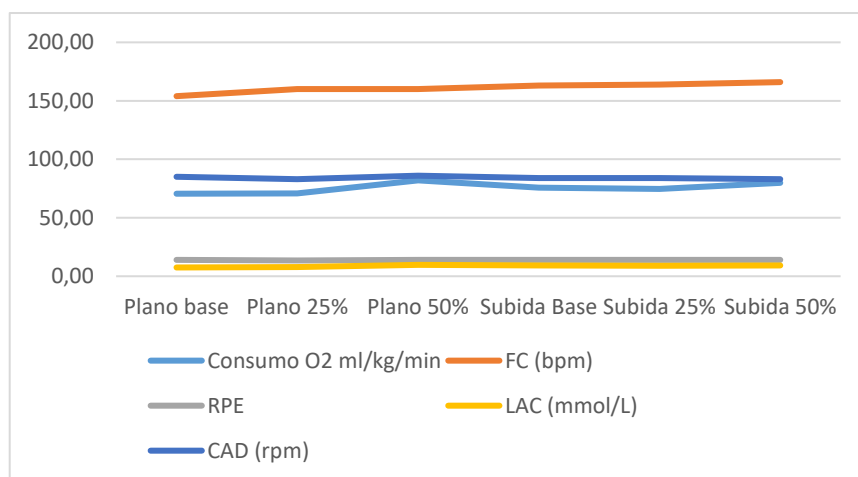


Gráfico 2. Representação dos valores recolhidos no teste piloto

### 3.2.5. Discussão de resultados do teste piloto

Apesar das diferenças nos valores fisiológicos encontrados, que refletem o stress imposto pela carga de cada ensaio, o participante reportou valores de RPE semelhantes em todos os ensaios, sugerindo que a posição do ciclista na bicicleta pode não ter influência na sua percepção de esforço ou de conforto, podendo não estar diretamente relacionada com a carga que lhe está a ser imposta. O valor de consumo de oxigénio mais elevado coincidiu com o valor mais elevado de cadência média no teste. Verificou-se uma relação direta entre os valores de consumo de oxigénio e de concentração de lactato sanguíneo, tal como seria de esperar em virtude de serem dois indicadores fisiológicos de resposta à carga. No entanto os valores de concentração de lactato encontrados foram bastante elevados, revelando uma grande participação do metabolismo anaeróbio no exercício. A posição que se revelou mais dispendiosa sob o ponto de vista energético, foi a posição plano+50%. A posição de base em plano foi a que registou menor valor de consumo de oxigénio. Quer nos ensaios em plano, quer em simulação de subida, o avançar da posição do selim em 50% teve um custo energético superior às outras duas posições relativas, o que sugere que, no caso deste participante, o avançar do selim para uma posição mais próxima do guiador pode ser desvantajoso sob o ponto de vista do consumo de energia, quer em terreno plano quer em subida.

### 3.2.6. Conclusões, limitações e melhorias para o estudo experimental

Neste estudo piloto, foi possível verificar que, o deslocamento horizontal do selim para uma posição mais avançada (mais próxima do guiador), levou a um maior consumo energético por parte do participante, parecendo sugerir que o DHS poderá ter impacto na performance do ciclista de BTT. No entanto, pelo facto de este estudo piloto ter sido realizado

com apenas um participante, não é possível extrapolar e generalizar os resultados obtidos, devendo para tal realizar-se um estudo com uma amostra superior. Verificou-se também que os valores obtidos de consumo de oxigênio e de concentração de lactato sanguíneo, são bastante elevados. Considerando que devem ser minimizados os possíveis efeitos de acumulação de fadiga entre ensaios, sugere-se para melhoria do procedimento experimental, que se reduza a potência alvo para de 75 para 70% da PMA e que o tempo despendido na potência alvo seja reduzido de 7 para 5 min. Para efeitos do objetivo principal do estudo, a redução da análise da concentração de lactato sanguíneo para apenas dois momentos, o início de cada ensaio e para o final do período na potência alvo, parece ser suficiente.

## **Parte 2 – Estudo experimental**

A segunda fase teve lugar em laboratório através do procedimento experimental de aplicação de um teste submáximo em plano e em simulação de subida, tendo-se realizado apenas um ensaio por sessão.

### **3.3. Procedimentos e aspetos éticos**

No estudo experimental foram adotados os procedimentos utilizados no estudo piloto prévio. No entanto, após a realização do teste piloto, foram introduzidas algumas alterações ao procedimento experimental sugeridas nas suas conclusões: diminuição da intensidade da potência alvo para 70%MAP e redução do tempo do ensaio na potência alvo para 5 min, totalizando assim 8 min cada ensaio. Seguindo ainda as sugestões para melhoria do procedimento após a realização do teste piloto, passou a realizar-se apenas uma recolha de sangue capilar para análise da concentração de lactato sanguíneo com recurso a um analisador enzimático, através da punção de um dedo do participante nos últimos 30 seg do período dos 5 min de teste na potência alvo de cada ensaio. Com a redução do tempo na potência alvo, os participantes foram questionados quanto ao valor de RPE utilizando a Escala de Borg (6-20) e esse valor registado ao 7º min de cada ensaio. Todos os participantes realizaram os ensaios experimentais na mesma bicicleta e o mesmo tamanho de crank (175mm), assegurando-se assim que estes não fossem fatores de influência nos dados recolhidos. O procedimento experimental atualizado encontra-se apresentado no Gráfico 3.

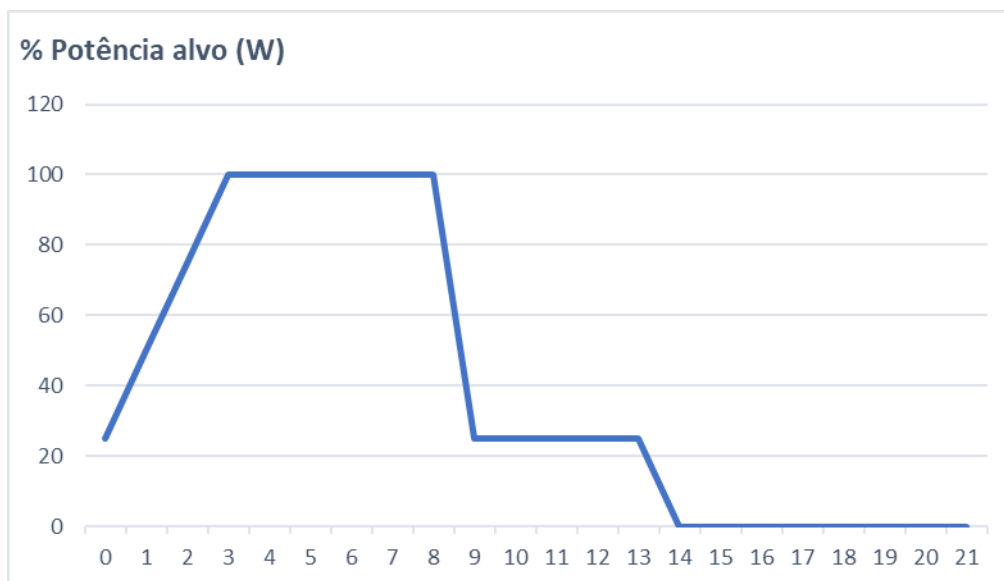


Gráfico 3. Gráfico representativo do procedimento experimental

### 3.4. Tratamento estatístico dos dados

O software SPSS/PC (Windows versão 29, Statistical Package for the Social Sciences, USA) foi utilizado para todas as análises estatísticas. Em todos os procedimentos foi adotado um nível de significância de 95% ( $p \leq 0.05$ ). Os resultados foram apresentados na forma de média e desvio padrão.

Relativamente às análises de  $VO_2$ , LAC, FC e RPE obtidos nos testes submáximos, foram calculadas as Standard Mean Differences (SMD) e os resultados interpretados de acordo com as recomendações de Cohen (2013) e de Farone (2018): equivalente, SMD = 0; baixo, SMD = 0.2; médio, SMD = 0.5; alto, SMD = 0.8. Segundo as recomendações de Farone (2018) para a interpretação dos resultados, um SMD igual a zero significa que os grupos têm efeitos equivalentes. Se a melhoria estiver associada a pontuações mais baixas na medida de resultados, os SMD inferiores a zero indicam o grau em que o grupo intervencionado é mais eficaz do que o de base e os SMD superiores a zero indicam o grau em que o intervencionado é menos eficaz do que o de base. No caso do presente estudo, uma melhoria nos resultados das variáveis estudadas implica uma redução dos seus valores com a modificação da posição do selim. Foram construídas tabelas para apresentação e apreciação dos resultados.

### 4.1. Caracterização dos participantes

A amostra foi constituída por seis participantes ciclistas de alta competição da vertente de XCO. Apesar do número reduzido de participantes, a amostra foi constituída por um grupo de ciclistas de elevado nível competitivo: dos seis ciclistas, cinco representam ou representaram

a seleção nacional de BTT e competem regularmente em grandes competições internacionais em Portugal e/ou no estrangeiro. Na Tabela 4 são apresentados os dados relativos à experiência competitiva dos participantes. A média de idades dos ciclistas é de  $26,4 \pm 5,97$  anos, as idades estão compreendidas entre os 18,4 e os 36,2 anos. Cinco pertencem à categoria Elite ( $\geq 23$  anos) e apenas um pertence à categoria Sub23 (19 a 22 anos). Relativamente ao tempo de prática de competição, esta varia entre os sete e os 21 anos, revelando a extensa experiência competitiva do conjunto dos participantes. No momento da recolha de dados, o número médio de horas de treino por semana era de  $13,8 \pm 3,25$ , sendo que a média diária de atividade se situava entre as duas e as 2-3 h.

Tabela 4. Caracterização dos participantes no estudo.

| Dados Participante | Idade decimal (anos) | Anos de competição | Nº horas treino por semana |
|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------------|
| 1                  | 36,2                 | 21                 | 18                         |
| 2                  | 25,2                 | 10                 | 14                         |
| 3                  | 18,4                 | 12                 | 16                         |
| 4                  | 24,4                 | 12                 | 15                         |
| 5                  | 31,9                 | 18                 | 10                         |
| 6                  | 22,2                 | 7                  | 10                         |
| Média              | 26,4                 | 13,3               | 13,8                       |
| DP                 | 5,97                 | 5,20               | 3,25                       |

Legenda: DP = Desvio Padrão.

#### 4.2. Características antropométricas dos participantes

Relativamente à caracterização antropométrica dos participantes, o grupo revelou heterogeneidade nos diversos valores registados. O peso variou entre 52,2 e 76,7 kg, com uma média de  $66,6 \pm 9,50$  kg. A altura dos participantes variou entre 165 e 182,5 cm. Relativamente aos valores de IMC, os participantes apresentam valores entre 19,9 e 24,9 kg/m<sup>2</sup> com média de  $22,06 \pm 1,890$  kg/m<sup>2</sup>. Adicionalmente, três dos participantes apresentaram valores para a soma de oito pregas subcutâneas superior a 60 mm embora a média seja de  $57,82 \pm 10,20$  mm. Os resultados pormenorizados são apresentados na tabela 5.

Tabela 5. Caracterização antropométrica dos participantes no estudo.

| Dados Participante | Peso (kg) | Altura (cm) | IMC (Kg/m <sup>2</sup> ) | Σ pregas (mm) |
|--------------------|-----------|-------------|--------------------------|---------------|
| 1                  | 52,2      | 165,0       | 19,17                    | 46,7          |
| 2                  | 76,4      | 181,5       | 23,19                    | 65,6          |
| 3                  | 71,7      | 170,5       | 24,66                    | 65,2          |
| 4                  | 56,1      | 167,3       | 20,04                    | 41,6          |
| 5                  | 76,7      | 182,5       | 23,03                    | 59            |
| 6                  | 66,5      | 173,0       | 22,22                    | 68,8          |
| Média              | 66,6      | 173,3       | 22,05                    | 57,82         |
| DP                 | 9,50      | 6,64        | 1,890                    | 10,20         |

Legenda: IMC = Índice de Massa Corporal; DP = desvio padrão.

### 4.3. Características fisiológicas dos participantes

Foram registados os valores de VO<sub>2</sub>max e de MAP dos atletas, obtidos em teste máximo realizado em laboratório descritos na Tabela 6. Os participantes do estudo revelaram valores de acordo com os valores de referência encontrados na literatura para ciclistas de XCO de alto nível. Os valores registados dos participantes neste estudo variaram entre os 72 e os 85 mL/kg/min. Foram também registados os valores de MAP da amostra e calculado o valor correspondente a 70% desse valor para a determinação da potência mecânica a utilizar nos ensaios submáximos.

Tabela 6. Caracterização fisiológica dos participantes

| Participante | VO <sub>2</sub> max (ml/kg/min) | MAP (W) | 70% MAP (W) |
|--------------|---------------------------------|---------|-------------|
| 1            | 85                              | 310     | 217         |
| 2            | 78                              | 315     | 221         |
| 3            | 72                              | 270     | 189         |
| 4            | 77                              | 300     | 210         |
| 5            | 76                              | 352     | 246         |
| 6            | 74                              | 300     | 210         |
| Média        | 77                              | 308     | 215         |
| DP           | 4,1                             | 24,4    | 18,70       |

Legenda: VO<sub>2</sub>max = Consumo Máximo de Oxigénio; MAP = Potência Máxima Aeróbia; DP = Desvio Padrão.

#### 4.4. Altura do selim, amplitudes de deslocação do selim e variações utilizadas nos ensaios submáximos

Os valores da altura de selim foram calculados através do método proposto por Ferrer-Rocca et al. (2012) para a regulação da posição do selim em altura:  $AS = 109,5\% \times \text{Inseam}$ . Os valores das deslocações horizontais do selim, com base na amplitude permitida pela sua configuração, foram também calculados. Os resultados apresentam-se na Tabela 7. O deslocamento horizontal médio do selim em relação à posição base foi de 9,58 e 19,17 mm para aumentos de 25 e 50% respetivamente.

Tabela 7. Cálculo da altura e das deslocações horizontais do selim

| Participante | Inseam (cm) | Altura selim (cm) | Amplitude selim (mm) | 25% (mm) | 50% (mm) |
|--------------|-------------|-------------------|----------------------|----------|----------|
| 1            | 76,0        | 83,2              | 30                   | 7,50     | 15,00    |
| 2            | 74,5        | 81,6              | 40                   | 10,00    | 20,00    |
| 3            | 81,0        | 88,7              | 35                   | 8,75     | 17,50    |
| 4            | 77,0        | 84,3              | 45                   | 11,25    | 22,50    |
| 5            | 86,1        | 94,3              | 47                   | 11,75    | 23,50    |
| 6            | 81,3        | 89,0              | 33                   | 8,25     | 16,50    |
| Média        | 79,3        | 86,9              | 38,3                 | 9,58     | 19,17    |
| DP           | 4,30        | 4,71              | 6,80                 | 1,552    | 3,105    |

Legenda: DP = Desvio Padrão; Inseam = Altura entre-pernas.

#### 4.5. Resultados dos outcomes do trabalho experimental

##### 4.5.1. Consumo de oxigénio

Na Tabela 8 são apresentados os valores recolhidos de  $VO_2$  nas seis posições determinadas. Os dados apresentados dizem respeito a cada participante e correspondem à média dos valores retirados nos dois últimos minutos de cada ensaio, correspondendo assim a 40% do tempo que cada participante pedalou na potência alvo. Os valores apresentados são os valores normalizados ao peso, expressos em mL/kg/min. Foram calculados e apresentados as médias para cada posição de selim e os respetivos desvios padrão. Analisando e comparando as médias de  $VO_2$  obtidas em cada posição de selim, observou-se diferenças significativas entre elas, verificando-se que a variação da posição do selim teve efeitos no  $VO_2$ . Relativamente à média dos ensaios em situação de plano, verificou-se a existência de relação direta entre a deslocação horizontal do selim e a diminuição do  $VO_2$  significando que, à medida que o selim foi deslocado horizontalmente no sentido do guiador, o consumo de oxigénio diminuiu. O  $VO_2$  na posição base+25 teve uma redução de 2,39% em relação à posição de base. A maior redução

verificou-se na posição base+50 cujo consumo de oxigénio sofreu uma redução de 6,96% em relação à posição base e de 4,69% em relação à posição base+25. Na avaliação dos valores de SMD, os efeitos foram considerados de baixa magnitude, tal como é possível verificar na Tabela 9. Relativamente aos ensaios em simulação de subida, a tendência manteve-se, mas com menor expressão, confirmada pelos baixos valores de SMD resultando num efeito de magnitude equivalente. A maior redução de consumo também ocorreu na posição base+50 comparativamente com a posição de base em cerca de 2,28%, verificando-se ainda uma redução de 2,14% no consumo na posição base+50 comparativamente com a posição base+25. Curiosamente, este padrão de redução do consumo de oxigénio com a deslocação horizontal do selim na direção do guiador, não foi verificado em todos os participantes. Com efeito, o participante 1 apresenta uma variação inversa à média do grupo, aumentando o  $\text{VO}_2$  com a deslocação horizontal do selim em ambas as situações em plano e subida. Neste caso, o aumento mais significativo do  $\text{VO}_2$  observou-se na posição base+50, cerca de 16,1% e 5,2% a mais, relativamente à posição base, respetivamente em plano e em subida. Os participantes 4 e 6 registaram aumentos no  $\text{VO}_2$  na simulação de subida, também mais significativos na posição base+50 relativamente à posição base, de cerca de 6,1% e 5,1% respetivamente. No entanto, o participante 6 apresentou maior valor de  $\text{VO}_2$  na posição base+25 em simulação de subida, originando assim um padrão não linear.

Tabela 8. Consumo de oxigénio em situação de plano e subida

|       | Plano                   |                        |                        | Subida                  |                        |                        |
|-------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
|       | $\text{VO}_2$<br>(Base) | $\text{VO}_2$<br>(25%) | $\text{VO}_2$<br>(50%) | $\text{VO}_2$<br>(Base) | $\text{VO}_2$<br>(25%) | $\text{VO}_2$<br>(50%) |
| 1     | 52,93                   | 53,13                  | 61,48                  | 56,88                   | 55,99                  | 59,83                  |
| 2     | 43,75                   | 41,39                  | 41,25                  | 40,31                   | 39,69                  | 34,59                  |
| 3     | 40,39                   | 39,00                  | 39,90                  | 41,33                   | 40,55                  | 41,00                  |
| 4     | 51,35                   | 50,11                  | 40,41                  | 44,76                   | 46,45                  | 47,51                  |
| 5     | 44,05                   | 41,42                  | 33,94                  | 37,21                   | 27,23                  | 29,34                  |
| 6     | 48,33                   | 49,05                  | 44,27                  | 43,68                   | 53,89                  | 45,89                  |
| Média | 46,80                   | 45,68                  | 43,54                  | 44,03                   | 43,97                  | 43,03                  |
| DP    | 4,445                   | 5,286                  | 8,591                  | 6,237                   | 9,655                  | 9,775                  |

Legenda:  $\text{VO}_2$  = consumo de oxigénio (mL/kg/min)

Tabela 9. SMD relativa ao VO<sub>2</sub>

|                          | SMD - VO <sub>2</sub> |          |        |        |             |
|--------------------------|-----------------------|----------|--------|--------|-------------|
|                          | d                     | Média    | DP     | V      | Magnitude   |
| Plano Base - Plano 25%   | -0,2293               | -1,3636  | 0,906  | 0,3354 | Baixo       |
| Plano Base - Plano 50%   | -0,4766               | -1,16242 | 0,6709 | 0,3428 | Baixo       |
| Plano 25% - Plano 50%    | -0,3                  | -1,438   | 0,8379 | 0,3371 | Baixo       |
| Subida Base - Subida 25% | -0,0074               | -1,139   | 1,1242 | 0,3333 | Equivalente |
| Subida Base - Subida 50% | -0,122                | -1,2546  | 1,0107 | 0,334  | Equivalente |
| Subida 25% - Subida 50%  | -0,0968               | -1,229   | 1,0355 | 0,3337 | Equivalente |

Legenda: VO<sub>2</sub> = consumo de oxigénio (mL/kg/min); d = Valor do efeito; V = Variância.

No Gráfico 4 é possível verificar o padrão de variação das médias de consumos das três posições do selim nas duas situações, plano e subida. No entanto, a média de VO<sub>2</sub> registada na posição base+50 é semelhante em ambas as situações, plano e subida.

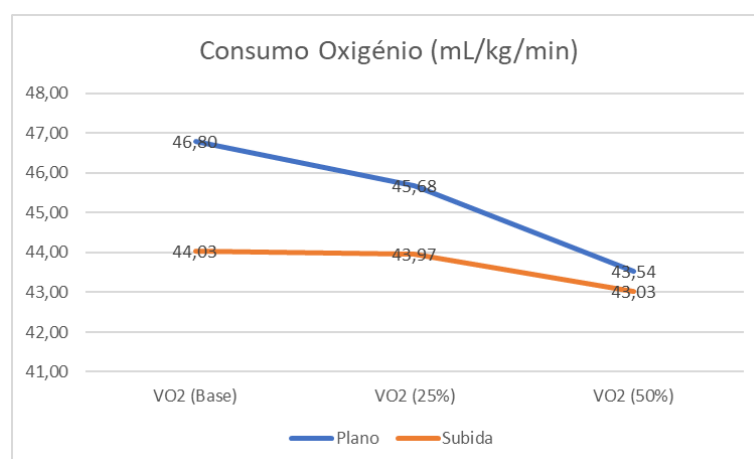


Gráfico 4. Variação do consumo de oxigénio nas 3 situações avaliadas em plano e subida.

#### 4.5.2. Concentração de lactato sanguíneo.

As médias dos valores de concentração de lactato sanguíneo (LAC), são apresentadas na Tabela 10, os valores estão expressos em mmol/L. É possível verificar, tal como reportado no caso do VO<sub>2</sub>, a existência de uma tendência para a redução dos valores de LAC à medida que se vai deslocando horizontalmente o selim para posições mais avançadas e próximas do guiador. Essa variação é superior à verificada no caso do VO<sub>2</sub> e mais evidente no caso dos ensaios em plano, mas também pode ser observada no caso dos ensaios em subida, embora com menor expressão. Relativamente aos ensaios em terreno plano, a diferença mais significativa verificou-se na redução entre a LAC da posição base+50 e a posição inicial, com uma diferença

de 39,3% menos. Entre a posição base+25 e a posição base observou-se também uma clara redução na LAC de cerca de 27,4%. Ainda entre as duas posições mais avançadas, a diferença é bastante significativa, a posição base+50 registou um valor de LAC 16,4% inferior ao registado na posição base+25. Estas diferenças foram confirmadas através dos resultados da análise da SMD apresentados na tabela 11. Registaram-se efeitos de magnitude alta (-0,8784 e -0,871) nos casos na relação entre as posições Plano Base – Plano 25% e Plano Base - Plano 50%, e de magnitude média na relação entre as posições Plano 25% - Plano 50%. Na simulação de subida, apesar dos valores médios registados nas posições base e base+25 serem semelhantes, na posição base+50 observou-se uma redução de 2,8% de LAC comparativamente com a posição base. Como é possível verificar no Gráfico 5, os valores de LAC em plano e subida apresentam um padrão de variação semelhante, embora a média da LAC inicial na posição base em plano seja superior à registada na mesma posição em subida em cerca de 31,3%. No outro extremo das posições avaliadas, a média de LAC na posição base+50 foi consideravelmente menor em plano comparativamente com a subida: -0,74 mmol/L e 18% mais baixo. Apesar da tendência evidenciada pela observação do Gráfico 5, entre atletas foram observadas diferenças significativas nas LAC e os padrões não podem ser considerados lineares. A maior diferença foi observada na posição base em plano de 3,51 mmol/L entre o máximo e o mínimo. A posição base+50 em plano foi aquela que registou menor diferença entre os participantes de 1,2 mmol/L.

Tabela 10. Concentração de lactato sanguíneo em situação de plano e subida

|       | Plano      |           |           | Subida     |           |           |
|-------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|
|       | LAC (Base) | LAC (25%) | LAC (50%) | LAC (Base) | LAC (25%) | LAC (50%) |
| 1     | 3,05       | 1,98      | 2,43      | 2,21       | 2,31      | 2,24      |
| 2     | 1,93       | 1,70      | 1,76      | 1,66       | 1,70      | 1,29      |
| 3     | 4,82       | 2,48      | 1,23      | 2,42       | 3,24      | 2,07      |
| 4     | 3,53       | 1,70      | 1,31      | 1,83       | 1,87      | 2,32      |
| 5     | 1,31       | 1,53      | 1,50      | 1,68       | 1,69      | 1,80      |
| 6     | 2,45       | 3,05      | 2,14      | 3,24       | 2,25      | 2,94      |
| Média | 2,85       | 2,07      | 1,73      | 2,17       | 2,18      | 2,11      |
| DP    | 1,137      | 0,533     | 0,436     | 0,551      | 0,534     | 0,503     |

Legenda: LAC = concentração de lactato sanguíneo; DP = Desvio Padrão.

Tabela 11. SMD relativa à LAC

|                          | SMD - LAC |         |        |        |             |
|--------------------------|-----------|---------|--------|--------|-------------|
|                          | d         | Média   | DP     | V      | Magnitude   |
| Plano Base - Plano 25%   | -0,8784   | -2,0633 | 0,3065 | 0,3665 | Alto        |
| Plano Base - Plano 50%   | -0,871    | -2,065  | 0,313  | 0,3649 | Alto        |
| Plano 25% - Plano 50%    | -0,6983   | -1,8638 | 0,4673 | 0,3536 | Médio       |
| Subida Base - Subida 25% | 0,0184    | -1,1132 | 1,15   | 0,3333 | Equivalente |
| Subida Base - Subida 50% | -0,1132   | -1,2457 | 1,0193 | 0,3339 | Equivalente |
| Subida 25% - Subida 50%  | -0,1343   | -1,2672 | 0,9985 | 0,3341 | Equivalente |

Legenda: LAC = concentração de lactato sanguíneo; DP = Desvio Padrão; d = Valor do efeito; V = Variância.

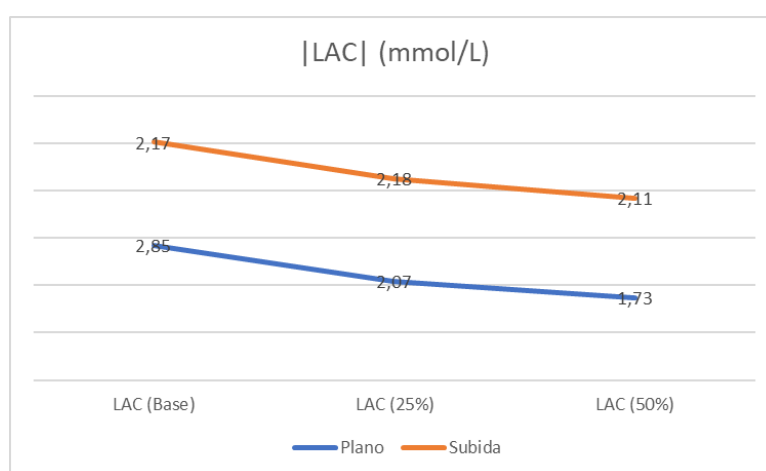


Gráfico 5. Variação da concentração de lactato sanguíneo nas 3 situações avaliadas em plano e subida.

#### 4.5.3. Frequência cardíaca

Os valores obtidos de FC são apresentados em batidas por minuto (bpm) na Tabela 12. Os valores de FC observados são bastante estáveis ao longo dos ensaios, apresentando um padrão semelhante em ambas as situações de plano e subida. Não foram encontradas diferenças significativas entre as médias dos ensaios, os valores obtidos em subida são superiores em apenas uma bpm nas mesmas posições de selim. Estes dados são possíveis de confirmar através da análise da Tabela 13, na qual é possível verificar que todos os cálculos relativos à SMD resultaram num efeito de magnitude equivalente, ou seja, sem diferenças significativas entre os grupos. No entanto, entre participantes foram observadas diferenças mais significativas. Em média, a diferença entre o valor máximo e o mínimo registado nas seis posições de selim foi de 26 bpm. Foi na posição base+50 em subida que se registou a maior amplitude de resultados, de 31 bpm. A menor diferença foi registada na posição base+50 em plano de 22 bpm.

Tabela 12. Frequência cardíaca em situação de plano e subida

|       | Plano     |          |          | Subida    |          |          |
|-------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
|       | FC (Base) | FC (25%) | FC (50%) | FC (Base) | FC (25%) | FC (50%) |
| 1     | 154       | 160      | 160      | 163       | 164      | 166      |
| 2     | 131       | 134      | 139      | 145       | 140      | 141      |
| 3     | 156       | 150      | 144      | 147       | 146      | 143      |
| 4     | 144       | 142      | 140      | 145       | 147      | 146      |
| 5     | 138       | 141      | 138      | 142       | 136      | 135      |
| 6     | 151       | 154      | 154      | 139       | 153      | 149      |
| Média | 146       | 147      | 146      | 147       | 148      | 147      |
| DP    | 9,0       | 8,7      | 8,3      | 7,7       | 9,1      | 9,7      |

Legenda: FC = Frequência Cardíaca; DP = Desvio Padrão

Tabela 13. SMD relativa à FC

|                          | SMD - FC |         |        |        |             |
|--------------------------|----------|---------|--------|--------|-------------|
|                          | d        | Média   | DP     | V      | Magnitude   |
| Plano Base - Plano 25%   | 0,113    | -1,0195 | 1,2455 | 0,3339 | Equivalente |
| Plano Base - Plano 50%   | 0        | -1,1316 | 1,1316 | 0,3333 | Equivalente |
| Plano 25% - Plano 50%    | -0,1176  | -1,2502 | 1,0149 | 0,3339 | Equivalente |
| Subida Base - Subida 25% | 0,1136   | -1,0139 | 1,2512 | 0,3339 | Equivalente |
| Subida Base - Subida 50% | 0        | -1,1316 | 1,1316 | 0,3333 | Equivalente |
| Subida 25% - Subida 50%  | -0,1063  | -1,2387 | 1,0261 | 0,3338 | Equivalente |

Legenda: FC = Frequência Cardíaca; DP = Desvio Padrão; d = Valor do efeito; V = Variância.

O padrão de variação da FC, em ambas as situações estudadas, pode ser observado através do Gráfico 6.

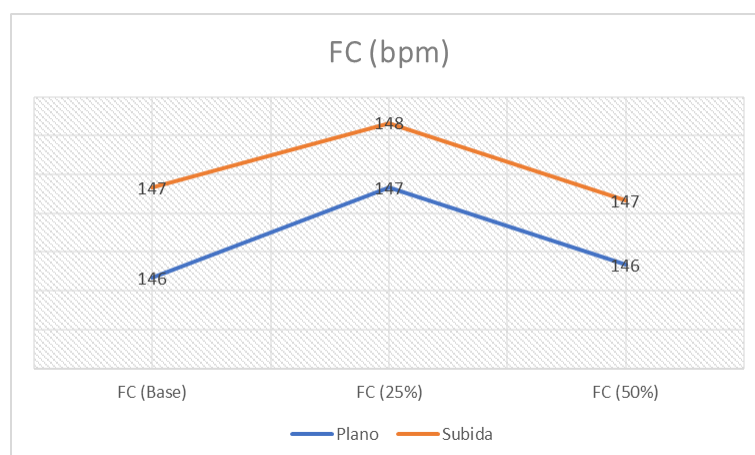


Gráfico 6. Variação da frequência cardíaca nas três situações avaliadas em plano e subida

#### 4.5.4. Percepção subjetiva de esforço

Foi aplicada a escala de Borg (6-20) para aferir da percepção subjetiva de esforço dos participantes. Os resultados apurados encontram-se na Tabela 14. Relativamente à RPE, na análise das médias de cada posição não se registaram diferenças significativas entre as diversas posições em estudo. No entanto, tal como observado relativamente à FC, entre os participantes existiram diferenças importantes. Da análise dos resultados da SMD, expressos na tabela 15, é possível verificar que a maioria dos efeitos foram classificados de magnitude equivalente e apenas nas duas posições (Subida Base - Subida 25% e Subida Base – Subida 50%), foram encontradas relações de baixa magnitude. O participante 3 foi aquele que apresentou valores mais elevados de RPE em todos os ensaios, apresentando ainda valores próximos do máximo da escala nos três ensaios em subida. Registou-se uma média de 6,3 de diferença entre os valores máximo e mínimo de cada posição de selim, os valores mais altos foram registados nas posições base+25 e base+50 em subida. As menores diferenças foram registadas nas posições base e base+25 em plano. Os resultados obtidos são ilustrados no Gráfico 7.

Tabela 14 Percepção subjetiva de esforço em plano e subida

|       | Plano         |              |              | Subida        |              |              |
|-------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
|       | RPE<br>(Base) | RPE<br>(25%) | RPE<br>(50%) | RPE<br>(Base) | RPE<br>(25%) | RPE<br>(50%) |
| 1     | 14            | 14           | 14           | 14            | 13           | 15           |
| 2     | 11            | 11           | 11           | 14            | 13           | 12           |
| 3     | 16            | 16           | 17           | 18            | 19           | 19           |
| 4     | 12            | 11           | 12           | 13            | 11           | 11           |
| 5     | 11            | 12           | 12           | 12            | 11           | 12           |
| 6     | 13            | 14           | 15           | 12            | 13           | 12           |
| Média | 13            | 13           | 13           | 14            | 13           | 13           |
| DP    | 1,8           | 1,8          | 2,0          | 2,0           | 2,5          | 2,8          |

Legenda: RPE = Percepção Subjetiva de Esforço; DP = Desvio Padrão.

Tabela 15. SMD relativa à RPE

|                          | SMD - RPE |         |        |        |             |
|--------------------------|-----------|---------|--------|--------|-------------|
|                          | d         | Média   | DP     | V      | Magnitude   |
| Plano Base - Plano 25%   | 0         | -1,1316 | 1,1316 | 0,3333 | Equivalente |
| Plano Base - Plano 50%   | 0         | -1,1316 | 1,1316 | 0,3333 | Equivalente |
| Plano 25% - Plano 50%    | 0         | -1,1316 | 1,1316 | 0,3333 | Equivalente |
| Subida Base - Subida 25% | -0,4417   | -1,587  | 0,7036 | 0,3415 | Baixo       |
| Subida Base - Subida 50% | -0,411    | -1,5545 | 0,7325 | 0,3404 | Baixo       |
| Subida 25% - Subida 50%  | 0         | -1,1316 | 1,1316 | 0,3333 | Equivalente |

Legenda: RPE = Percepção Subjetiva de Esforço; DP = Desvio Padrão; d = Valor do efeito; V = Variância.

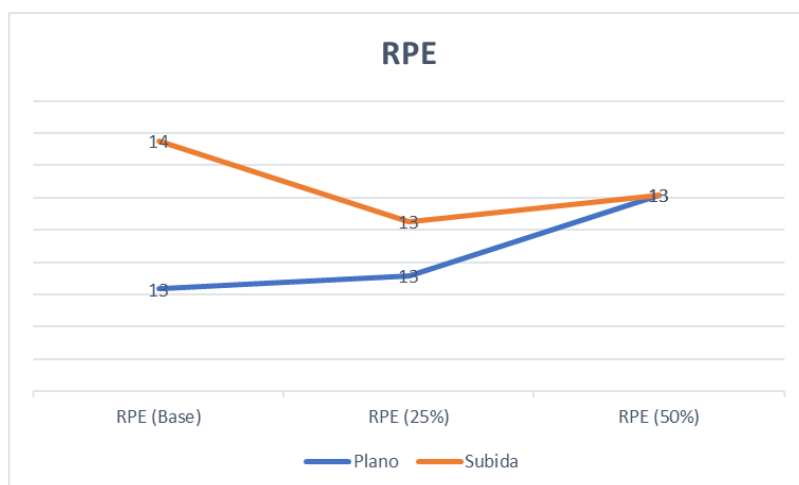


Gráfico 7. Variação da percepção subjetiva de esforço nas três situações avaliadas em plano e subida

#### 4.6. Discussão de resultados do trabalho experimental

Neste estudo foi possível comprovar que, a modificação da posição do selim através do seu deslocamento horizontal, tem implicações no consumo energético e, consequentemente, na performance do ciclista, pelo que a hipótese nula não se verifica.

##### 4.6.1. Consumo de oxigénio

O DHS teve efeitos no  $VO_2$  dos participantes. Nos dados recolhidos foi possível observar que, à medida que o selim foi sendo deslocado horizontalmente na direção do guiador, o valor do  $VO_2$  diminuiu, quer nos ensaios em plano, quer nos ensaios em subida. No entanto, a magnitude da redução do  $VO_2$  não foi igual nas duas situações de teste, plano e subida, conforme o ilustrado no Gráfico 4. A maior diminuição do consumo foi registada na posição base+50 em plano cujo consumo de oxigénio teve uma redução de 6,96%. A mesma tendência foi verificada nos ensaios de simulação de subida. No entanto, apesar do padrão claramente descendente da média dos valores de  $VO_2$  de cada posição testada, quando observados os participantes individualmente verifica-se que o padrão de variação não é uniforme dentro da amostra. De facto, a exemplo do sucedido no teste piloto prévio a este estudo, um dos participantes apresentou um padrão inverso, com aumento do  $VO_2$  com a DHS. Outro participante apresentou um valor mais elevado de  $VO_2$  na posição base+25 em subida, contrariando também o padrão global. Estes dados parecem sugerir que, apesar da tendência verificada de redução do  $VO_2$  com a DHS na direção do guiador nos valores médios de cada

posição testada, na determinação da posição horizontal ideal do selim deverá atentar-se às características individuais de cada ciclista. A diferença entre grupos foi avaliada segundo a Standard Mean Difference (SMD). Tal como é possível constatar através da análise da Tabela 9, a magnitude das relações entre as posições ensaiadas foi classificada de baixa ou equivalente respetivamente em plano e subida, sugerindo poucas diferenças entre os grupos, confirmando-se a maior diferença entre grupos nos ensaios em plano. Na relação Plano Base – Plano 50% foi encontrado o valor mais alto de SMD, tal como esperado pela via da redução de 6,96% do  $\text{VO}_2$ . Nos ensaios em simulação de subida, a redução do  $\text{VO}_2$  foi na ordem dos 2%, a magnitude da SMD avaliada em equivalente. No entanto, e dado a amostra ser constituída por atletas de alto nível competitivo, um ganho de 2% não deve ser desprezado, num contexto em que qualquer ganho, por pequeno que seja, pode ter grande impacto no sucesso em competição (Hall et al., 2012). Apesar da escassa literatura publicada, autores afirmam que existe evidência moderada de que o  $\text{VO}_2$  não é afetado por alterações da posição do selim em alturas da perna inferiores a 4% (Bini & Priego-Quesada, 2022; Connick & Li, 2012). No entanto, os resultados do presente estudo parecem sugerir que, alterações mesmo reduzidas da posição horizontal do selim como as que foram aplicadas neste procedimento experimental, impactam no consumo de oxigénio e, conseqüentemente e de acordo com a literatura (Cheung e Zabala, 2017; Impellizzeri et al., 2005; Vandewalle, 2004), no custo energético e na performance do ciclista de BTT. Estes resultados parecem ir de encontro aos achados de Ferrer-Roca et al. (2014), que reportaram incremento do  $\text{VO}_2$  quando modificaram a posição do selim em altura. Neste sentido, e apesar de o conhecimento atual permanecer escasso e pouco consensual, os resultados neste estudo parecem reforçar que a modificação da posição do selim tem impacto no consumo energético do ciclista, mesmo com pequenas variações.

#### 4.6.2. Concentração de lactato

A concentração de lactato sanguíneo foi outro dos parâmetros avaliados neste estudo. Comparativamente com o teste piloto, neste estudo registaram-se LAC significativamente mais baixas. A exemplo do observado no caso do  $\text{VO}_2$  deste estudo, também se verificou a existência de uma tendência para a redução dos valores de LAC à medida que se vai deslocando horizontalmente o selim para posições mais avançadas e próximas do guiador, claramente mais evidente nos ensaios em plano, mas também presente nos ensaios em subida. Estes resultados parecem ir de encontro à literatura, uma vez que, tal como o  $\text{VO}_2$  ou a FC, a LAC é uma medida do impacto da carga imposta ao ciclista (Halsen, 2014; Mujika, 2017) e será expectável que acompanhe o padrão descendente devido à DHS, encontrado na avaliação do  $\text{VO}_2$ . Em plano, a LAC registada na posição base+50 foi 39,3% mais baixa do que a registada na posição base,

na posição base+25 foi 27,4% mais baixa do que a registada na posição base. Esta significativa diferença foi confirmada através da SMD, com a classificação de magnitude alta para ambos os ensaios. Do mesmo modo, a SMD para Plano 25% - Plano 50%, classificada de magnitude média, confirma também a tendência para a redução do valor de  $\text{VO}_2$  com a DHS. É uma diferença substancial e que confirma, mais uma vez, que a DHS no sentido do guiador parece ser mais vantajosa para os ciclistas em terreno plano uma vez que, de acordo com a literatura (Faria et al., 2005b), elevados valores de LAC são limitantes para a performance no ciclismo. Tal como no caso do  $\text{VO}_2$ , também na LAC foram observadas diferenças significativas entre atletas, não existindo um padrão linear e remetendo, mais uma vez, para a necessidade de se ter em conta as características individuais de cada ciclista. A literatura recente refere que cerca de 43% do tempo total de corrida de uma prova de XCO é disputado em alta intensidade, acima do segundo limiar de lactato (Arriel et al., 2022). A literatura que relaciona a posição do selim do ciclista de BTT e a performance é escassa. Nesse sentido, a redução da produção de lactato pela via da otimização da posição do selim seria altamente vantajosa para o ciclista, tal como os resultados deste estudo parecem sugerir.

#### 4.6.3. Frequência cardíaca

Ao analisar os dados dos ensaios efetuados, a FC aparentemente parece não ter sido afetada pela modificação da posição de selim. Os valores médios de cada ensaio são bastante estáveis entre si e com diferenças pouco significativas. A confirmá-lo temos os dados relativos à SMD descritos na Tabela 13, onde é possível verificar que as diferenças entre grupos foram residuais e de magnitude equivalente. No entanto, mais uma vez foram encontradas diferenças acentuadas entre os participantes nos vários ensaios realizados. Por outro lado, na avaliação da FC deve ter-se em conta que os valores normais de cada indivíduo podem variar substancialmente para a mesma intensidade de esforço e que a FC, que pode ser afetada por fatores ambientais, fisiológicos, psicológicos, modo de vida, entre outros, tem uma resposta individual à carga (Schneider et al., 2018). Este facto pode ser comprovado pela diferença entre valores da FC registada entre os participantes do mesmo ensaio que, por exemplo no caso do ensaio em subida da posição base+50, atingiu uma amplitude de 31 bpm. Assim sendo, os dados recolhidos sugerem não ser possível concluir sobre a influência da DHS na FC.

#### 4.6.4 Perceção subjetiva de esforço

Foi aplicada aos participantes a escala de Borg (6-20) ao 7º min de cada ensaio. Na análise das médias de cada posição não foram observadas diferenças significativas entre as diversas posições em estudo. Este dado parece estar de acordo com a avaliação de SMD, na qual as relações encontradas foram classificadas de equivalentes ou baixas. As maiores

diferenças parecem existir entre os grupos Subida Base - Subida 25% e Subida Base - Subida 50%, em que se registaram valores de -0,4417 e -0,411, próximas do valor médio de classificação de magnitude. A RPE é uma análise subjetiva da sensação de esforço que o atleta experiencia durante a atividade. Na análise global da amostra, é possível verificar que a generalidade dos valores reportados sugere que a carga imposta aos participantes foi percebida como sendo de intensidade moderada, de acordo com a escala (Borg, 1990). Esta constatação está de acordo com o objetivo da carga alvo definida para este estudo, de 70% da MAP. Na análise particular de cada participante, é possível verificar que o participante 3 reportou valores de RPE significativamente superiores aos restantes em ambas as situações, plano e subida, maiores no último caso. Tal facto pode ser explicado pela inexperiência do participante na aplicação da escala, reportando ser a primeira vez que a aplicou, sendo ainda o participante mais jovem e menos experiente do grupo. No entanto, Baino (2011) reportou que o conforto na bicicleta é altamente subjetivo e altamente relacionado com as preferências pessoais do ciclista, o que pode igualmente explicar as diferenças encontradas entre a RPE do participante 3 comparativamente com os demais. Portanto, tal como no caso da FC, a estabilidade dos valores médios de cada posição testada não nos permite tirar ilações dos dados recolhidos sobre a influência da DHS na RPE.

#### **4.7. Conclusão do trabalho experimental**

Os resultados sugerem que a variação horizontal do selim de um ciclista de BTT tem impacto no  $VO_2$ , LAC, FC e RPE. Os resultados parecem ainda sugerir que, o deslocamento horizontal da posição do selim para posições avançadas na direção do guiador, tem benefícios para o ciclista reduzindo o consumo energético e, conseqüentemente, potenciando a performance. A posição base+50% parece ser a mais vantajosa sob o ponto de vista do consumo energético do ciclista de BTT. Mais estudos devem ser realizados para confirmar. Na determinação da posição ideal do selim deve ter-se em conta as características individuais do ciclista. Em atletas de alto nível competitivo, com foco na performance, a avaliação individual deve ser apoiada com recurso a medições fisiológicas, biomecânicas e escolha dos materiais. Este foi o primeiro estudo realizado sobre este tema, trazendo por esse motivo novos dados, o que atesta a sua pertinência. Os resultados e conclusões aqui referidas são importantes para o trabalho prático diário dos treinadores e ciclistas.

#### **4.8. Limitações e trabalhos futuros**

Este estudo apresenta como grande limitação, o facto de ter sido realizado com uma amostra reduzida de apenas 6 participantes não sendo, por esse motivo, possível estabelecer correlações definitivas entre as variáveis fisiológicas analisadas, pelo que deverá ter-se alguma cautela no extrapolar dos resultados obtidos. Este número baixo de participantes limitou também a análise estatística dos resultados do estudo. Ainda assim, o facto de os participantes serem atletas de elevado nível competitivo é um fator diferenciador e que potencia a fiabilidade dos dados recolhidos. Outra limitação importante é o facto de os ensaios terem sido realizados em contexto laboratorial, no qual se procurou reproduzir as condições reais de prática. Novos estudos devem ser realizados com um número maior de participantes, alargando-se também a investigação a atletas do sexo feminino. Seria também proveitoso para o aumento do conhecimento nesta área, aliar à avaliação das variáveis fisiológicas, variáveis biomecânicas como o torque, angulações das articulações e ativação dos principais grupos musculares envolvidos.

#### **4.9. Referências do trabalho experimental**

- Arriel, R. A., Souza, H. L., Sasaki, J. E., & Marocolo, M. (2022). Current perspectives of cross-country mountain biking: physiological and mechanical aspects, evolution of bikes, accidents and injuries. *International journal of environmental research and public health*, 19(19), 12552.
- Baino, F. (2011). Evaluation of the relationship between the body positioning and the postural comfort of non-professional cyclists: a new approach. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 51(1), 59-65.
- Bini, R., & Priego-Quesada, J. (2022). Methods to determine saddle height in cycling and implications of changes in saddle height in performance and injury risk: A systematic review. *Journal of sports sciences*, 40(4), 386-400.
- Borg, G. (1990). Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 55-58.
- Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Academic press.
- Connick, M. J., & Li, F. X. (2013). The impact of altered task mechanics on timing and duration of eccentric bi-articular muscle contractions during cycling. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(1), 223-229. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.08.012>.
- Faraone, S. V. (2008). Interpreting

- estimates of treatment effects: implications for managed care. *Pharmacy and Therapeutics*, 33(12), 700.
- Faria, E. W., Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005a). The science of cycling. Factors affecting performance – Part 2. *Sports medicine*, 35, 313–337. doi:10.2165/00007256-200535040-00003
- Faria, E. W., Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005b). The science of cycling. Physiology and training – Part 1. *Sports medicine*, 35, 285–312. doi:10.2165/00007256-200535040-00002
- Ferrer-Roca, V., Bescos, R., Roig, A., Galilea, P., Valero, O., & Garcia-Lopez, J. (2014). Acute effects of small changes in bicycle saddle height on gross efficiency and lower limb kinematics. *Journal Of Strength And Conditioning Research / National Strength & Conditioning Association*, 28 (3), 784–791. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a1f1a9>.
- Ferrer-Roca, V., Roig, A., Galilea, P., & García-López, J. (2012). Influence of saddle height on lower limb kinematics in well-trained cyclists: static vs. dynamic evaluation in bike fitting. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(11), 3025-3029. DOI: 10.1519/JSC.0b013e318245c09d.
- Fonda, B., Panjan, A., Markovic, G., & Sarabon, N. (2011). Adjusted saddle position counteracts the modified muscle activation patterns during uphill cycling [Article]. *Journal of Electromyography & Kinesiology*, 21(5), 854-860. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2011.05.010>
- Hall, D., James, D., & Marsden, N. (2012). Marginal gains: Olympic lessons in high performance for organisations. *HR Bulletin: Research and Practice*, 7(2), 9-13.
- Halsen S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 44 Suppl 2(Suppl 2), S139–S147. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>
- In J. (2017). Introduction of a pilot study. *Korean journal of anesthesiology*, 70(6), 601–605. <https://doi.org/10.4097/kjae.2017.70.6.60>.
- Leirdal, S., & Ettema, G. (2011b). The relationship between cadence, pedalling technique and gross efficiency in cycling. *European Journal of Applied Physiology*, 111(12), 2885–2893. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-1914-3>
- Macdermid, P. & Stannard, S. (2012). Mechanical work and physiological responses to simulated cross country mountain bike racing. *Journal of Sports Sciences*, 30:14, 1491-1501.

- Mujika, I. (2017). Quantification of Training and Competition Loads in Endurance Sports: Methods and Applications. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(s2), S2-9-S2-17. Retrieved Oct 20, 2023, from <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0403>.
- Schulz, K. F., Altman, D. G., & Moher, D. (2010). CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. *Journal of Pharmacology and pharmacotherapeutics*, 1(2), 100-107.
- Schneider, C., Hanakam, F., Wiewelhove, T., Döweling, A., Kellmann, M., Meyer, T., ... & Ferrauti, A. (2018). Heart rate monitoring in team sports—a conceptual framework for contextualizing heart rate measures for training and recovery prescription. *Frontiers in physiology*, 639.
- Vandewalle, H. (2004). Oxygen uptake and maximal oxygen uptake: interests and limits of their measurements. *Annales de réadaptation et de médecine physique* 47, 243-257.

## **CAPÍTULO IV – DISCUSSÃO GERAL DA TESE**

Este estudo surgiu na sequência de um problema concreto e prático no dia-a-dia de um treinador de BTT: os ciclistas modificam a posição do selim da sua bicicleta, adiantando-a em relação à sua posição de referência, sem qualquer base científica que suporte essa alteração, que é feita arbitrariamente e de acordo com as preferências pessoais do ciclista. Assim sendo, o objetivo principal deste estudo foi determinar as implicações na performance resultantes da alteração da posição do selim de um ciclista de BTT através da sua deslocação horizontal, em relação à posição de referência obtida por métodos tradicionais. Após intensa pesquisa nas bases de dados eletrônicas e revisão da literatura, não foi encontrado qualquer estudo sobre o tema com ciclistas de BTT, pelo que este será o primeiro estudo a avaliar as consequências da variação da posição horizontal do selim em ciclistas de BTT.

Esta dissertação foi construída em duas fases fundamentais:

1ª Artigo de investigação relacionado com o tema modificação do selim;

2ª Trabalho experimental.

Relativamente ao artigo de investigação, foi realizada uma Umbrella Review de revisões sistemáticas com o objetivo de determinar o conhecimento mais atual sobre os efeitos do selim no ciclismo. Foram incluídas nesta revisão apenas 7 estudos que preencheram os critérios de elegibilidade, demonstrando grande heterogeneidade entre si, quer em relação ao tipo de estudos incluídos, quer em relação ao perfil dos participantes ou resultados avaliados. Apesar da escassa literatura encontrada, nesta revisão foi possível encontrar relações entre a posição do selim e o ciclista, em questões como a saúde e a performance. No entanto, para além da baixa qualidade metodológica dos estudos incluídos determinada pela aplicação da checklist do AMSTAR2, os resultados demonstraram que algumas pesquisas forneceram evidências conflitantes nas relações estudadas, quer relacionadas com a saúde, quer especialmente com fatores associados à performance, que por sua vez está especialmente relacionada com o objetivo principal desta tese. No artigo de revisão, incluíram-se artigos relacionados com lesões de sobreuso, excluindo-se as lesões agudas ou traumáticas. Foram encontradas evidências de que a posição do selim tem influência no desenvolvimento de lesões como a dor lombar, lesão ou dor no joelho, cifose lombar e lesões relacionadas com o períneo. Portanto, como conclusão fundamental da umbrellareview, a literatura atual apresenta evidências de que, no ciclismo, a posição do selim do ciclista afeta tanto o desempenho quanto a saúde. No entanto, as evidências sobre o impacto da modificação da posição do selim na performance são escassas e não-consensuais, em especial no que diz respeito ao BTT, contribuindo dessa forma para a

solidificação da pertinência deste estudo e da realização de um trabalho experimental que contribua para trazer mais conhecimento sobre o tema.

O trabalho experimental foi constituído por duas partes: um teste piloto e o estudo experimental. Foi construído um protocolo experimental para testar em laboratório as hipóteses formuladas, apoiado na literatura. Existem diversos fatores que afetam a performance no ciclismo, desde fisiológicos, treino e biomecânicos (Faria, Parker, & Faria, 2005a, 2005b). Com a aplicação das cargas no treino ou competição, a reação do organismo do ciclista dá-se através da intervenção de diversas respostas fisiológicas ao stress imposto (Halsen, 2014; Mujika, 2017). Neste estudo, analisamos algumas das variáveis que poderiam responder ao stress imposto pelas modificações da posição do selim referidas na literatura: consumo de oxigénio, concentração de lactato, frequência cardíaca e perceção subjetiva de esforço. Na primeira parte deste estudo foi realizado um teste piloto com um ciclista. Esse teste serviu principalmente para avaliar os procedimentos experimentais, identificar problemas e corrigi-los. Do teste piloto saíram algumas indicações de alterações importantes para o estudo experimental e que foram introduzidas, nomeadamente a redução da intensidade da carga a aplicar e a duração do teste submáximo.

Uma das questões primárias foi a intensidade da carga a utilizar no teste submáximo. De acordo com os resultados da umbrela review, ajustamentos horizontais na posição do selim podem ter influência na potência exercida pelos ciclistas (Holliday e Swart, 2020). Desse modo, a seleção da potência a utilizar no procedimento experimental justificou especial atenção. Assim, recorrendo em primeiro lugar à literatura (Arriel et al., 2022; Impellizzeri e Marcora, 2007; Stapelfeldt et al., 2004) e também aos resultados do teste piloto, a carga utilizada nos testes submáximos foi individualizada e normalizada a 70% da MAP de cada participante, uma carga que se insere dentro das exigências da corrida de XCO. É uma carga com intensidade suficiente para originar respostas do organismo, mas sem comprometer os ensaios seguintes, especialmente no que diz respeito ao aparecimento de fadiga. Esta normalização da carga tem também a vantagem de corresponder ao nível individual de cada participante sem comprometer os objetivos do estudo.

O  $\text{VO}_2$  foi uma das principais variáveis utilizadas neste estudo para compreender os efeitos do deslocamento horizontal do selim na performance do ciclista, uma vez que, de acordo com a literatura e os resultados da umbrela review, o  $\text{VO}_2$  é a medida golden standard para avaliar o custo energético no exercício (Burnley e Jones, 2007; Faria et al., 2005a; Joyner e Coyle, 2008; Vandewalle (2004). No estudo experimental foi possível verificar que a deslocação horizontal do selim teve efeitos no  $\text{VO}_2$ , reduzindo-o à medida que se desloca o

selim no sentido do guiador. Portanto, o deslocamento do selim no sentido do guiador parece ser vantajoso para o ciclista, sendo que a posição com menor consumo de oxigénio observada foi a plano+50%. Estes resultados, conjuntamente com os resultados da umbrela review, onde foi reportado que o aumento da posição do selim em altura teve efeitos no  $\text{VO}_2$  aumentando-o (Ferrer-Roca et al., 2014), reforçam a hipótese de que a modificação da posição do selim tem efeitos no consumo energético e, consequentemente, na performance. No entanto, dada a escassez de literatura sobre este tópico evidenciada na umbrela review, mais estudos são necessários sobre o tema.

A LAC é, a exemplo do  $\text{VO}_2$ , uma variável fisiológica que reflete o impacto da carga no exercício. Dessa forma, não é de estranhar o facto de os resultados obtidos no teste experimental relativamente à LAC, estarem de acordo e seguirem um padrão de variação semelhante ao do  $\text{VO}_2$ . Inclusivamente, os resultados obtidos revelam uma relação mais forte entre a deslocação do selim e a diminuição da LAC. No entanto, não foi possível obter dados relativamente à relação entre a modificação do selim e a LAC na umbrela review pelo que não nos é possível estabelecer comparações. Esta lacuna na literatura sugere, mais uma vez, a necessidade de se realizarem mais estudos. Assim sendo, um dos principais achados deste estudo é o facto de os resultados sugerirem que é possível reduzir a produção de lactato através do deslocamento do selim. Tal como no caso do  $\text{VO}_2$ , os resultados sugerem que a posição base+50% é a mais vantajosa para o ciclista no que diz respeito à produção de lactato.

Os resultados obtidos relativamente à FC podem considerar-se inconclusivos dada a aparente estabilidade dos seus valores médios e da reduzida diferença entre os grupos em análise. Também na umbrela review não foram registados dados relativos à FC.

No que diz respeito à RPE, os valores médios registados no estudo experimental também são bastante estáveis, quase iguais, entre os grupos. No entanto, na análise pormenorizada dos registos de cada participante individualmente, é possível observar variações na RPE reportada entre participantes e entre as diversas posições analisadas de cada participante individualmente. Tal como referido na discussão de resultados do estudo experimental, um dos participantes reportou valores de RPE bastante elevados, significativamente acima dos restantes. Colocou-se a hipótese de tal se dever à sua inexperiência, em particular na aplicação da escala. No entanto, é importante referir que os ciclistas realizaram os ensaios numa bicicleta que não é a habitual e que, apesar de se proceder aos devidos ajustes, os ciclistas podem evidenciar alguma estranheza e consequente desconforto. Na análise dos dados obtidos por este participante, é possível observar que os valores de  $\text{VO}_2$  e de LAC diminuíram enquanto RPE aumentou, com a deslocação do selim. Estes dados aparentemente contraditórios, têm uma

possível justificação nos resultados da umbrela review, onde foi possível encontrar evidência de que a posição do selim tem efeitos na sensação de conforto e desconforto, podendo dessa forma levar o ciclista a uma avaliação de RPE superior à percepção da mera carga mecânica imposta (Baino, 2011; Bini, 2020; Kruschewsky et al., 2018; Priego Quesada et al., 2017),

A realização do estudo piloto revelou-se importante, quer para a melhoria dos procedimentos do estudo experimental, quer para a compreensão dos fenómenos associados à modificação da posição do selim. Com efeito, os resultados obtidos no estudo piloto apontavam para um aumento do consumo energético com a deslocação horizontal do selim. Esses resultados vieram a ser contrariados no estudo experimental, através do qual se sugere que a variação horizontal do selim de um ciclista de BTT tem impacto no  $VO_2$ , LAC, FC e RPE, no sentido da redução do consumo energético e do stress fisiológico imposto, nomeadamente na redução da LAC, contribuindo assim para a melhoria da performance do ciclista de BTT. Naturalmente, a força destas conclusões está limitada pelo reduzido número de participantes que constituiu a amostra, um participante no caso do estudo piloto e seis no caso do estudo experimental. Esta aparente divergência dos resultados obtidos nos estudos, reforça uma das conclusões principais, quer da umbrela review, quer do estudo experimental, de que as características individuais de cada ciclista devem ser consideradas para a configuração adequada da posição do selim (Diefenthaler et al., 2008; Ferrer-Roca et al., 2012).

## **CAPÍTULO V – CONCLUSÃO GERAL DA TESE**

A realização desta tese permitiu concluir o seguinte:

- A posição do selim dos ciclistas tem impacto em várias questões relacionadas com a saúde e a performance.
- A posição do selim está relacionada com lesões de sobreuso do ciclista, particularmente a dor lombar, lesão ou dor no joelho, cifose lombar e lesões relacionadas com o períneo.
- Pequenas variações da posição horizontal do selim provocam alterações metabólicas importantes na resposta fisiológica a uma carga igual.
- Variáveis fisiológicas como o consumo de oxigénio, a concentração de lactato, a frequência cardíaca e a percepção subjetiva de esforço são afetadas pela deslocação horizontal do selim.
- Em consequência do anterior, a deslocação horizontal do selim no sentido do

guiador parece diminuir o consumo de oxigênio e a concentração de lactato sanguíneo, e poderá ter um impacto de melhoria na performance do ciclista.

- A posição do selim tem impacto noutros fatores tais como a atividade muscular, carga e intensidade, eficiência e conforto. No entanto, as evidências não são consensuais quando aos seus efeitos.
- O efeito da modificação do selim nas variáveis fisiológicas analisadas varia consoante as características individuais do ciclista, pelo que o ajuste deve ser realizado tendo em conta essa individualidade.
- A literatura atual é escassa e existem conflitos entre as evidências reportadas.
- Mais investigação deve ser realizada e analisados os efeitos a longo prazo da modificação da posição do selim em ciclistas de BTT.

## CAPÍTULO VI – REFERÊNCIAS

- Aguilar, L. M., Torres, J. P., Jimenes, C. R., Cabrera, D. R., Cardenas, M. F., & Urgirles, P. F. (2015). *Analysis of the angles in hip, knee and ankle during the pedaling of a Cross Country Olympic cyclist*. 2015 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON),
- Algarra, J.L. & Gorrotxategi, A. (1996). *Ciclismo Total, Tomo 2 – El rendimiento en el ciclismo. Capacidades entrenables*. Editorial Gymnos.
- Arriel, R. A., Graudo, J. A., Oliveira, J. L. D. D., Ribeiro, G. G. S., Meireles, A., & Marocolo, M. (2020). The relative peak power output of amateur mountain bikers is inversely correlated with body fat but not with fat-free mass. *Motriz: Revista de Educação Física*, 26.
- Arriel, R. A., Souza, H. L., Sasaki, J. E., & Marocolo, M. (2022). Current perspectives of cross-country mountain biking: physiological and mechanical aspects, evolution of bikes, accidents and injuries. *International journal of environmental research and public health*, 19(19), 12552.
- Atkinson, G., Davison, R., Jeukendrup, A., & Passfield, L. (2003). Science and cycling: current knowledge and future directions for research. *Journal of Sports Sciences*, 21(9), 767-787.
- Bailey, M., Maillardet, F., & Messenger, N. (2003). Kinematics of cycling in relation to anterior knee pain and patellar tendinitis. *Journal of sports sciences*, 21(8), 649-657.
- Balasubramanian, V., Jagannath, M., & Adalarasu, K. (2014). Muscle fatigue-based evaluation of bicycle design. *Applied ergonomics*, 45(2), 339-345.

- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 32(1), 70-84.
- Belluye, N., & Cid, M. (2001). Approche biomécanique du cyclisme moderne, données de la littérature. *Science & sports*, 16(2), 71-87.
- Bertucci, W., & Grappe, F. (2009). *Biomécanique du pédalage*. Grappe F. *Cyclisme et optimisation de la performance: sciences et méthodologie de l'entraînement*. 2nd ed. De Boeck Université, 195-208.
- Bertucci, W., Grappe, F., Girard, A., Betik, A., & Rouillon, J. D. (2005). Effects on the crank torque profile when changing pedalling cadence in level ground and uphill road cycling. *Journal of biomechanics*, 38(5), 1003-1010.
- Bini, R. R., & Diefenthaler, F. (2010). Kinetics and kinematics analysis of incremental cycling to exhaustion. *Sports Biomechanics*, 9(4), 223-235.
- Bini, R., Hume, P., Lanferdini, F., & Vaz, M. (2014). Effects of body positions on the saddle on pedalling technique for cyclists and triathletes [Article]. *European Journal of Sport Science*, 14, S413-S420. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.708792>
- Bini, R. R., & Carpes, F. P. (2014). *Biomechanics of cycling*. Springer.
- Bini, R. R., Hume, P. A., & Crofta, J. L. (2011). Effects of saddle height on pedal force effectiveness. *Procedia engineering*, 13, 51-55.
- Borg, G. (1990). Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scandinavian journal of work, environment & health*, 55-58.
- Bourdon, P. (2000). Blood lactate transition thresholds: concepts and controversies. *Physiological tests for elite athletes*.
- Burke, E.R. & Pruitt, A.L. (1996). *Body Positioning for Cycling*. In: Burke ER, (Ed.). High-Tech Cycling. Human Kinetics, pp.79-99.
- Burt, P. (2014). *Bike Fit*. Bloomsbury: London.
- Candotti, C. T. (2003). Características biomecânicas e fisiológicas da técnica de pedalada de ciclistas e triatletas.
- Carpes, F. P., Mota, C. B., Bini, R. R., Diefenthaler, F., Guimarães, A. C. S., & Nabinger, E. (2005). Aplicação de força no pedal em prova de ciclismo 40 km contra-relógio simulada: estudo preliminar. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, 19(2), 105-113.
- Chapman, A. R., Vicenzino, B., Blanch, P., Knox, J. J., Dowlan, S., & Hodges, P. W. (2008). The influence of body position on leg kinematics and muscle recruitment during cycling. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(6), 519-526.

- Cheung, S. S., & Zabala, M. (Eds.). (2017). *Cycling science*. Human Kinetics.
- Clarsen, B., Krosshaug, T., & Bahr, R. (2010). Overuse injuries in professional road cyclists. *The American journal of sports medicine*, 38(12), 2494-2501.
- Connick, M. J., & Li, F. X. (2013). The impact of altered task mechanics on timing and duration of eccentric bi-articular muscle contractions during cycling. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 23(1), 223–229. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.08.012>.
- Couto, P. A., Filipe, V. M., Magalhães, L. G., Pereira, J. E., Costa, L. M., Melo-Pinto, P., ... & Varejão, A. S. (2008). A comparison of two-dimensional and three-dimensional techniques for the determination of hindlimb kinematics during treadmill locomotion in rats following spinal cord injury. *Journal of neuroscience methods*, 173(2), 193-200.
- Cramblett, C., Moen, E., & Timmerman, M. Medicine of cycling bike fit task force consensus statement. *Medicine of Cycling*. 2013.
- Di Alencar, T. A. M., de Sousa Matias, K. F., & de Oliveira, F. B. (2010). Cinesiologia e biomecânica do ciclismo: Uma revisão. *Revista Movimenta*; Vol, 3(1).
- Diefenthaeler, F., Bini, R. R., Karolczak, A. P. B., & Carpes, F. P. (2008). Muscle activation during pedaling in different saddle position. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, 10(2), 161-169.
- Engelbrecht, L., & Terblanche, E. (2017). Physiological performance predictors in mountain bike multi-stage races. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(7-8), 951-956.
- Eston R. (2012). Use of ratings of perceived exertion in sports. *International journal of sports physiology and performance*, 7(2), 175–182. <https://doi.org/10.1123/ijsp.7.2.175>
- Faiss, R., Praz, M., Meichtry, A., Gobelet, C., & Deriaz, O. (2007). The effect of mountain bike suspensions on vibrations and off-road uphill performance. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 47(2), 151.
- Faria, E. W., Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005a). The science of cycling. Factors affecting performance – Part 2. *Sports medicine*, 35, 313–337. doi:10.2165/00007256-200535040-00003
- Faria, E. W., Parker, D. L., & Faria, I. E. (2005b). The science of cycling. Physiology and training – Part 1. *Sports medicine*, 35, 285–312. doi:10.2165/00007256-200535040-00002
- Ferrer-Roca, B. (2016). *Comparación de diferentes métodos de ajuste de la bicicleta en ciclistas entrenados: influencia de factores biomecánicos y energéticos*. Universidad de León.
- Ferrer-Roca, V., Roig, A., Galilea, P., & García-López, J. (2012). Influence of saddle height on

- lower limb kinematics in well-trained cyclists: static vs. dynamic evaluation in bike fitting. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(11), 3025-3029. DOI: 10.1519/JSC.0b013e318245c09d.
- Fonda, B., Panjan, A., Markovic, G., & Sarabon, N. (2011). Adjusted saddle position counteracts the modified muscle activation patterns during uphill cycling [Article]. *Journal of Electromyography & Kinesiology*, 21(5), 854-860. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2011.05.010>
- FPC (2021). Manual de BTT do curso de treinadores de ciclismo de grau 1.
- Frank, E., Hermanutz, F., & Buchmeiser, M. R. (2012). Carbon fibers: precursors, manufacturing, and properties. *Macromolecular materials and engineering*, 297(6), 493-501.
- Garvican, L. A., Ebert, T. R., Quod, M. J., Gardner, S. A., Gregory, J., Osborne, M. A., & Martin, D. T. (2013). *High-performance cyclists. Physiological Tests for Elite Athletes* Champaign: Human Kinetics, 299-322.
- Ghosh A. K. (2004). Anaerobic threshold: its concept and role in endurance sport. *The Malaysian journal of medical sciences : MJMS*, 11(1), 24–36.
- Goodwin, M. L., Harris, J. E., Hernández, A., & Gladden, L. B. (2007). Blood lactate measurements and analysis during exercise: a guide for clinicians. *Journal of diabetes science and technology*, 1(4), 558–569. <https://doi.org/10.1177/193229680700100414>
- Goyal K.S., Skalak A.S., Marcus R.E., Vallier H.A., Haile-Salassie, Yohannes, C., Daniel, R. (2005). A Unique Digital Expression of Tibial Plate Fit on Normal Humans. *Orthopaedic Journal*, 2(1): 28-32.
- Green, H. J. (1986). Muscle power: fibre type recruitment, metabolism and fatigue. *Human muscle power*, 65-79.
- Gregor, R. (1985). Effects of saddle height and pedaling cadence on power output and efficiency. *Science of cycling*.
- Gregor, R. J., Conconi, F., & Broker, J. P. (2000). *Biomechanics of road cycling. Road Cycling*. Oxford, United Kingdom: Blackwell Sciences Ltd, 18-39.
- Gregor, R.J., & Rugg, S.G. (1986). Effects of saddle height and pedalling cadence on power output and efficiency. In Edmund R. Burke (Ed.), *Science of Cycling*, 1st Ed., pp.69-90. Human Kinetics.
- Guilhem, G., Dorel, S., Couturier, A., & Hug, F. (2012). Adjustment of muscle coordination during an all-out sprint cycling task. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(11), 2154-2164.

- Hayot, C., Domalain, M., Bernard, J., Decatoire, A., & Lacouture, P. (2013). Muscle force strategies in relation to saddle setback management in cycling [Article]. *Computer Methods in Biomechanics & Biomedical Engineering*, 16, 106-108. <https://doi.org/10.1080/10255842.2013.815937>
- Herrero-Molleda, A., & García-López, J. (2021). El reto de ajustar la bicicleta a la mujer: situación actual y perspectivas futuras. *Logía, educación física y deporte*, 2, 1-14.
- Hinault, B., & Genzling, C. (1988). *Ciclismo de Estrada*. Lisboa: Editorial Presença, Coleção Habitat.
- Hopker, J. (2016). Identifying and developing talent in cycle sport. *Sports Medicine Journal*, 5, 416-422
- Hull, M. L., & Jorge, M. (1985). A method for biomechanical analysis of bicycle pedalling. *Journal of biomechanics*, 18(9), 631-644.
- Inoue, A., Lattari, E., do Carmo, E. C., Rodrigues, G. M., de Oliveira, B. R. R., & Santos, T. M. (2022). Correlation between economy/efficiency and mountain biking cross-country race performance. *European Journal of Sport Science*, 22(11), 1641-1648.
- Impellizzeri, F., & Marcora, S. (2007). The physiology of mountain biking. *Sports Medicine*, 37(1), 59-71.
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., Rampinini, E., Mognoni, P., & Sassi, A. (2005). Correlations between physiological variables and performance in high level cross-country off road cyclists. *British journal of sports medicine*, 39(10), 747-751.
- Impellizzeri, F., Sassi, A., Rodriguez-Alonso, M., Mognoni, P., & Marcora, S. (2002). Exercise intensity during off-road cycling competitions. *Medicine & science in sports & Exercise*, 34(11), 1808-1813.
- Lee, H., Martin, D. T., Anson, J. M., Grundy, D., & Hahn, A. G. (2002). Physiological characteristics of successful mountain bikers and professional road cyclists. *Journal of Sports Sciences*, 20(12), 1001-1008.
- Leirdal, S., & Ettema, G. (2011a). Pedaling technique and energy cost in cycling. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(4), 701-705.
- Macdermid, P. W., Fink, P. W., & Stannard, S. R. (2014). Transference of 3D accelerations during cross country mountain biking. *Journal of Biomechanics*, 47(8), 1829-1837.
- Macdermid, P. & Stannard, S. (2012). Mechanical work and physiological responses to simulated cross country mountain bike racing. *Journal of Sports Sciences*, 30:14, 1491-1501.
- MacRae, H. H., Hise, K. J., & Allen, P. J. (2000). Effects of front and dual suspension mountain

- bike systems on uphill cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(7), 1276-1280.
- Menard, M., Domalain, M., Decatoire, A., & Lacouture, P. (2016). Influence of saddle setback on pedalling technique effectiveness in cycling. *Sports Biomechanics*, 15(4), 462-472.
- Menard, M., Domalain, M., Decatoire, A., & Lacouture, P. (2020). Influence of saddle setback on knee joint forces in cycling. *Sports Biomechanics*, 19(2), 245-257.
- Moon, J. R. (2013). Body composition in athletes and sports nutrition: an examination of the bioimpedance analysis technique. *European journal of clinical nutrition*, 67(1), S54-S59.
- Moreno Mañas, E., Llana-Belloch, S., Úbeda-Pastor, V., & Garcia-Massó, X. (2021). The effect of 26 versus 29-inch wheel diameter in the transmission of vibrations in cross-country mountain biking. *Sports biomechanics*, 1-12.
- Mujika, I. (2017). Quantification of Training and Competition Loads in Endurance Sports: Methods and Applications. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(s2), S2-9-S2-17. Retrieved Oct 20, 2023, from <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0403>
- Nabinger, E. (2006). Análise dinamométrica tridimensional da pedalada de ciclistas.
- Nordeen-Snyder, K.S. (1977). The effect of bicycle seat height variation upon oxygen consumption and lower limb kinematics. *Medicine Science and Sports*, 9: 113–117.
- Nuttall, F. Q. (2015). Body mass index: obesity, BMI, and health: a critical review. *Nutrition today*, 50(3), 117.
- Peveler, W., Bishop, P., Smith, J., Richardson, M., & Whitehorn, E. (2005). Comparing Methods for setting saddle height in trained cyclists. *Journal of Exercise Physiology Online*, 8(1).
- Peveler, W.W. & Green, J.M. (2011). Effects of saddle height on economy and anaerobic power in well-trained cyclists. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25: 629–633.
- Powers, S. K., Howley, E. T., Cotter, J., De Jonge, X. J., Leicht, A., Mündel, T., ... & Rattray, B. (2014). *Exercise Physiology: Australia/New Zealand*. McGraw-Hill Education.
- Price, D. & Donne, B. (1997). Effect of variation in seat tube angle at different seat heights on submaximal cycling performance in man. *Journal of Sports Sciences*, 15: 395-402.
- Prins, L., Terblanche, E., & Myburgh, K. H. (2007). Field and laboratory correlates of performance in competitive cross-country mountain bikers. *Journal of Sports Sciences*, 25(8), 927-935.
- Prinz, B., Simon, D., Tschan, H., & Nimmerichter, A. (2021). Aerobic and anaerobic power distribution during cross-country mountain bike racing. *International Journal of Sports*

- Physiology and Performance*, 16(11), 1610-1615.
- Quintana-Duque, J. C., Dahmen, T., & Saupe, D. (2015). Estimation of torque variation from pedal motion in cycling. *International Journal of Computer Science in Sport*, 14(1).
- Rankin, J. W., & Neptune, R. R. (2010). The influence of seat configuration on maximal average crank power during pedaling: a simulation study. *Journal of Applied Biomechanics*, 26(4), 493-500.
- Ricard, M. D., Hills-Meyer, P., Miller, M. G., & Michael, T. J. (2006). The effects of bicycle frame geometry on muscle activation and power during a Wingate anaerobic test. *Journal of sports science & medicine*, 5(1), 25.
- Roriz, P. (2019). *Sebenta de Biomecânica no Desporto*. Instituto Politécnico da Maia.
- Salai, M., Brosh, T., Blankstein, A., Oran, A., & Chechik, A. (1999). Effect of changing the saddle angle on the incidence of low back pain in recreational bicyclists. *British Journal of Sports Medicine*, 33(6), 398–400. Doi:10.1136/bjism.33.6.398.
- Sánchez-Muñoz, C., Muros, J. J., & Zabala, M. (2017). World and Olympic mountain bike champions' anthropometry, body composition and somatotype. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 58(6), 843-851.
- Sanderson, D. J., Martin, P. E., Honeyman, G., & Keefer, J. (2006). Gastrocnemius and soleus muscle length, velocity, and EMG responses to changes in pedalling cadence. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 16(6), 642-649.
- Sanner, W. H., & O'Halloran, W. D. (2000). The biomechanics, etiology, and treatment of cycling injuries. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 90(7), 354-376.
- Schneeweiss, P., Schellhorn, P., Haigis, D., Niess, A., Martus, P., & Krauss, I. (2019). Predictive Ability of a laboratory performance test in mountain bike cross-country Olympic athletes. *International journal of sports medicine*, 40(06), 397-403.
- Schneeweiss, P., Schellhorn, P., Haigis, D., Niess, A., Martus, P., & Krauss, I. (2020). Cycling performance in short-term efforts: Laboratory and field-based data in XCO athletes. *Sports Medicine International Open*, 4(01), E19-E26.
- Stapelfeldt B, Mornieux G. (2005). Biomechanik im Radsport. *Sport-Orthopädie Sport-Traumatologie*, 21(2): 107-14.
- Stapelfeldt, B., Schwirtz, A., Schumacher, Y. O., & Hillebrecht, M. (2004). Workload demands in mountain bike racing. *International Journal of Sports Medicine*, 25, 294-300.
- Swart, J., & Holliday, W. (2019). Cycling biomechanics optimization—the (R) evolution of bicycle fitting. *Current sports medicine reports*, 18(12), 490-496.
- UCI (2021). *Part IV MTB Regulations 2021*. Taken from

- <https://www.uci.org/regulations/3MyLDDrwJCJJ0BGGOFzOat#part-iv-mountain-bike>.
- Umberger, B. R., Scheuchenzuber, H., & Manos, T. M. (1998). Differences in power output during cycling at different seat tube angels. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, 81. Doi:10.1097/00005768-199805001-00462.
- Valencia Delgado, Á. S. (2020). Biomechanical modeling, in the sagittal plane, of joint's kinetic and cinematic of left lower limb side in cycling before and after a postural study. bike-fitting.
- Vandewalle, H. (2004). Oxygen uptake and maximal oxygen uptake: interests and limits of their measurements. *Annales de réadaptation et de médecine physique* 47, 243-257.
- Van Hoof, W., Volkaerts, K., O'Sullivan, K., Verschueren, S., & Dankaerts, W. (2012). Comparing lower lumbar kinematics in cyclists with low back pain (flexion pattern) versus asymptomatic controls—field study using a wireless posture monitoring system. *Manual therapy*, 17(4), 312-317.
- Vaquero-Cristóbal, R., Albaladejo-Saura, M., Luna-Badachi, A. E., & Esparza-Ros, F. (2020). Differences in fat mass estimation formulas in physically active adult population and relationship with sums of skinfolds. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 7777.
- Viellehner, J., & Potthast, W. (2021). The Effect of Cycling-specific Vibration on Neuromuscular Performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 53(5), 936-944.
- Vigário, P. (2021). Relationship between the position at the end of the first lap and the final classification in XCO MTB: Relación entre la posición al final de la primera vuelta y la clasificación final en BTT XCO. *Revista Académica Internacional de Educación Física*, 1(5), 27-33.
- Wanich, T., Hodgkins, C., Columbier, J. A., Muraski, E., & Kennedy, J. G. (2007). Cycling injuries of the lower extremity. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 15(12), 748-756.
- Wilber, C. A., Holland, G. J., Madison, R. E., & Loy, S. F. (1995). An epidemiological analysis of overuse injuries among recreational cyclists. *International Journal of Sports Medicine*, 16(03), 201-206.
- Wozniak, C.A. (1991). Cycling Biomechanics: A literature Review. *Journal of Sports Physical Therapy*, 14(3):106-113.
- Yamazaki, H., & Matsuda, A. (2016). Joint Torque Evaluation of Lower Limbs in Bicycle Pedaling. *Procedia engineering*, 147, 263-268.

## CAPÍTULO VII – ANEXOS

### Anexo 1 - Checklist do Protocolo CONSORT



### CONSORT 2010 checklist of information to include when reporting a randomised trial\*

| Section/Topic             | Item No | Checklist item                                                                                                                        | Reported on page No |
|---------------------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Title and abstract        |         |                                                                                                                                       |                     |
|                           | 1a      | Identification as a randomised trial in the title                                                                                     | iv                  |
|                           | 1b      | Structured summary of trial design, methods, results, and conclusions (for specific guidance see CONSORT for abstracts)               |                     |
| Introduction              |         |                                                                                                                                       |                     |
| Background and objectives | 2a      | Scientific background and explanation of rationale                                                                                    | 1                   |
|                           | 2b      | Specific objectives or hypotheses                                                                                                     | 24                  |
| Methods                   |         |                                                                                                                                       |                     |
| Trial design              | 3a      | Description of trial design (such as parallel, factorial) including allocation ratio                                                  | 60                  |
|                           | 3b      | Important changes to methods after trial commencement (such as eligibility criteria), with reasons                                    | -                   |
| Participants              | 4a      | Eligibility criteria for participants                                                                                                 | 60                  |
|                           | 4b      | Settings and locations where the data were collected                                                                                  | iii                 |
| Interventions             | 5       | The interventions for each group with sufficient details to allow replication, including how and when they were actually administered | 61                  |
| Outcomes                  | 6a      | Completely defined pre-specified primary and secondary outcome measures, including how and when they were assessed                    | 61                  |
|                           | 6b      | Any changes to trial outcomes after the trial commenced, with reasons                                                                 | -                   |
| Sample size               | 7a      | How sample size was determined                                                                                                        | -                   |
|                           | 7b      | When applicable, explanation of any interim analyses and stopping guidelines                                                          | -                   |
| Randomisation:            |         |                                                                                                                                       |                     |
| Sequence generation       | 8a      | Method used to generate the random allocation sequence                                                                                | 62                  |

|                                                      |     |                                                                                                                                                                                             |    |
|------------------------------------------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|                                                      | 8b  | Type of randomisation; details of any restriction (such as blocking and block size)                                                                                                         | 62 |
| Allocation concealment mechanism                     | 9   | Mechanism used to implement the random allocation sequence (such as sequentially numbered containers), describing any steps taken to conceal the sequence until interventions were assigned | 62 |
| Implementation                                       | 10  | Who generated the random allocation sequence, who enrolled participants, and who assigned participants to interventions                                                                     | 62 |
| Blinding                                             | 11a | If done, who was blinded after assignment to interventions (for example, participants, care providers, those assessing outcomes) and how                                                    | -  |
|                                                      | 11b | If relevant, description of the similarity of interventions                                                                                                                                 | -  |
| Statistical methods                                  | 12a | Statistical methods used to compare groups for primary and secondary outcomes                                                                                                               | 71 |
|                                                      | 12b | Methods for additional analyses, such as subgroup analyses and adjusted analyses                                                                                                            | 71 |
| <b>Results</b>                                       |     |                                                                                                                                                                                             |    |
| Participant flow (a diagram is strongly recommended) | 13a | For each group, the numbers of participants who were randomly assigned, received intended treatment, and were analysed for the primary outcome                                              | 71 |
|                                                      | 13b | For each group, losses and exclusions after randomisation, together with reasons                                                                                                            | -  |
| Recruitment                                          | 14a | Dates defining the periods of recruitment and follow-up                                                                                                                                     | -  |
|                                                      | 14b | Why the trial ended or was stopped                                                                                                                                                          |    |
| Baseline data                                        | 15  | A table showing baseline demographic and clinical characteristics for each group                                                                                                            | 72 |
| Numbers analysed                                     | 16  | For each group, number of participants (denominator) included in each analysis and whether the analysis was by original assigned groups                                                     | 72 |
| Outcomes and estimation                              | 17a | For each primary and secondary outcome, results for each group, and the estimated effect size and its precision (such as 95% confidence interval)                                           | 74 |
|                                                      | 17b | For binary outcomes, presentation of both absolute and relative effect sizes is recommended                                                                                                 | -  |
| Ancillary analyses                                   | 18  | Results of any other analyses performed, including subgroup analyses and adjusted analyses, distinguishing pre-specified from exploratory                                                   | -  |

|                          |    |                                                                                                                  |    |
|--------------------------|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Harms                    | 19 | All important harms or unintended effects in each group (for specific guidance see CONSORT for harms)            | -  |
| <b>Discussion</b>        |    |                                                                                                                  |    |
| Limitations              | 20 | Trial limitations, addressing sources of potential bias, imprecision, and, if relevant, multiplicity of analyses | 85 |
| Generalisability         | 21 | Generalisability (external validity, applicability) of the trial findings                                        | 84 |
| Interpretation           | 22 | Interpretation consistent with results, balancing benefits and harms, and considering other relevant evidence    | 81 |
| <b>Other information</b> |    |                                                                                                                  |    |
| Registration             | 23 | Registration number and name of trial registry                                                                   | -  |
| Protocol                 | 24 | Where the full trial protocol can be accessed, if available                                                      | -  |
| Funding                  | 25 | Sources of funding and other support (such as supply of drugs), role of funders                                  | -  |

Citation: Schulz KF, Altman DG, Moher D, for the CONSORT Group. CONSORT 2010 Statement: updated guidelines for reporting parallel group randomised trials. BMC Medicine. 2010;8:18.

© 2010 Schulz et al. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

\*We strongly recommend reading this statement in conjunction with the CONSORT 2010 Explanation and Elaboration for important clarifications on all the items. If relevant, we also recommend reading CONSORT extensions for cluster randomised trials, non-inferiority and equivalence trials, non-pharmacological treatments, herbal interventions, and pragmatic trials. Additional extensions are forthcoming: for those and for up-to-date references relevant to this checklist, see [www.consort-statement.org](http://www.consort-statement.org).

## Anexo 2 – Procedimento experimental do teste piloto

| Horário previsto | Descrição                                                                                                                                                                              |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 09h00            | Chegada ao laboratório                                                                                                                                                                 |
| 09h05-09h20      | Preparação do atleta e da bicicleta                                                                                                                                                    |
|                  | Calibração dos instrumentos                                                                                                                                                            |
| 09h20- 09h30     | Registo de dados pessoais do atleta, informação acerca da natureza do estudo e do procedimento experimental a realizar e sorteio da ordem dos ensaios                                  |
| 09h30-09h35      | Recolha de dados antropométricos                                                                                                                                                       |
| 09h40-09h50      | Início do aquecimento - potência correspondente a 40% da PMA                                                                                                                           |
| 09h50-09h55      | Recuperação passiva                                                                                                                                                                    |
| 10h00            | Início do ensaio nº 1, o ciclista pedalará a uma potência correspondente a 25% da potência alvo e recolha de sangue capilar para análise da concentração de lactato sanguíneo          |
| 10h01            | Aumento para 50% da potência alvo                                                                                                                                                      |
| 10h02            | Aumento para 75% da potência alvo                                                                                                                                                      |
| 10h03            | Aumento para 100% da potência alvo                                                                                                                                                     |
| 10h10            | Fim do ensaio, recolha de sangue capilar para análise da concentração de lactato sanguíneo e início da recuperação ativa através de uma potência correspondente a 25% da potência alvo |
| 10h15            | Fim da recuperação ativa, recolha de sangue capilar para análise da concentração de lactato sanguíneo e início da recuperação passiva                                                  |
| 10h30            | Fim da recuperação passiva e recolha de sangue capilar para análise da concentração de lactato sanguíneo.                                                                              |
| 10h40            | Início do ensaio nº 2                                                                                                                                                                  |
| 11h20            | Início do ensaio nº 3                                                                                                                                                                  |
| 11h50            | Fim do ensaio nº 3 - fim dos trabalhos da manhã                                                                                                                                        |
| 12h15-14h15      | Intervalo para almoço                                                                                                                                                                  |
| 14h15            | Calibração dos instrumentos                                                                                                                                                            |
| 14h30            | Início do ensaio nº 4                                                                                                                                                                  |
| 15h10            | Início do ensaio nº 5                                                                                                                                                                  |
| 15h50            | Início do ensaio nº 6                                                                                                                                                                  |
| 16h20            | Fim do ensaio nº 6 e do teste piloto                                                                                                                                                   |
| 16h20-16h30      | Espaço para comentários/feedbacks por parte do participante                                                                                                                            |

## Anexo 3 – Parecer da Comissão de Ética do N2i



### COMISSÃO CIENTÍFICA DO NÚCLEO DE INVESTIGAÇÃO DO INSTITUTO POLITÉCNICO DA MAIA

## NOTIFICAÇÃO DE APROVAÇÃO ÉTICA

**Nome do Investigador Responsável:** Pedro Vigário

**Instituição/Escola/Departamento:** Instituto Politécnico da Maia

**Email:** a034169@ipmaia.pt

**Nome do projeto de investigação:**

|                                                     |                                       |                                                |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>Ref.ª do projeto de investigação:</b> 001/jun/23 | <b>Data da decisão:</b> 06 junho 2023 | <b>Data do termo da decisão:</b> 06 junho 2025 |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------|

O projeto/protocolo acima descrito foi **APROVADO** com base no conteúdo da informação da candidatura e nos seus anexos.

Seguindo os pressupostos fundamentais apresentados no formulário de candidatura à aprovação, a Comissão Científica do Núcleo de Investigação do IPMAIA (N2i) deve ser informada acerca de qualquer desvio ao projeto de investigação antes da data do termo da decisão.

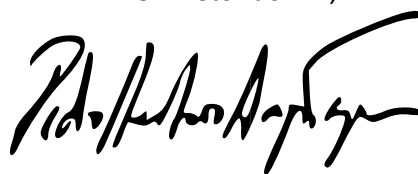
Deverá informar também qualquer facto que obrigue à revisão da aprovação ética, especificamente:

- Efeitos adversos inesperados sobre os participantes.
- Modificações nos procedimentos.
- Qualquer alteração na equipa de investigação.
- Situações anómalas que possam afetar a adequabilidade ética do projeto.

Para modificar o projeto aprovado, por favor envie um email com as alterações indicadas no respetivo Formulário do Protocolo de Procedimentos de Investigação que envolvem Participantes Humanos.

De modo a cumprir os princípios éticos nacionais e internacionais, nomeadamente a “Declaração de Genebra” (2002), a “Declaração de Helsínquia” e emendas (2008) e a “Convenção de Oviedo” (1997), deve enviar para o Diretor do N2i a Declaração de Compromisso Ético em anexo.

O Diretor do N2i,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Pedro Henrique Aguiar', written in a cursive style.

## Anexo 4 – Consentimento informado

### Consentimento informado, livre e esclarecido

No âmbito da realização do Mestrado em Condição Física no Desporto e Exercício, o Instituto Politécnico da Maia tem em curso uma investigação sobre *Variações no consumo energético com o deslocamento horizontal da posição do selim de um ciclista de BTT Cross-Country Olímpico (XCO)*.

Deste modo, venho por este meio solicitar a sua colaboração e consentimento para a sua participação no estudo.

A participação é voluntária, as respostas são confidenciais e anónimas, e pode desistir a meio da sua participação, se assim o entender.

Por favor, antes de iniciar leia as instruções no início do formulário para o seu correto preenchimento.

Depois de preenchidos, os formulários e o consentimento devem ser entregues ao investigador.

Se tiver qualquer dúvida ou questão em relação ao estudo, por favor questione o investigador. Se pretender informação adicional em privado, por favor contacte [a034169@ipmaia.pt](mailto:a034169@ipmaia.pt) ou 962042698 (Pedro Vigário).

Agradecendo a sua disponibilidade, subscrevo-me com os melhores cumprimentos.

Pedro Vigário (Responsável)

✂-----

### Consentimento

Eu, \_\_\_\_\_, li a informação e autorizo a minha participação no respetivo estudo.

Após a leitura entendi os objetivos do estudo e tive oportunidade de esclarecer as minhas dúvidas. Entendi também que a informação que eu der é totalmente confidencial.

Assinatura: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

## Anexo 5 – PRISMA 2020 checklist

| Section and Topic             | Item # | Checklist item                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Location where item is reported |
|-------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| <b>TITLE</b>                  |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                 |
| Title                         | 1      | Identify the report as a systematic review.                                                                                                                                                                                                                                                          | 26                              |
| <b>ABSTRACT</b>               |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                 |
| Abstract                      | 2      | See the PRISMA 2020 for Abstracts checklist.                                                                                                                                                                                                                                                         | 26                              |
| <b>INTRODUCTION</b>           |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                 |
| Rationale                     | 3      | Describe the rationale for the review in the context of existing knowledge.                                                                                                                                                                                                                          | 28                              |
| Objectives                    | 4      | Provide an explicit statement of the objective(s) or question(s) the review addresses.                                                                                                                                                                                                               | 30                              |
| <b>METHODS</b>                |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                 |
| Eligibility criteria          | 5      | Specify the inclusion and exclusion criteria for the review and how studies were grouped for the syntheses.                                                                                                                                                                                          | 31                              |
| Information sources           | 6      | Specify all databases, registers, websites, organisations, reference lists and other sources searched or consulted to identify studies. Specify the date when each source was last searched or consulted.                                                                                            | 30                              |
| Search strategy               | 7      | Present the full search strategies for all databases, registers and websites, including any filters and limits used.                                                                                                                                                                                 | 30                              |
| Selection process             | 8      | Specify the methods used to decide whether a study met the inclusion criteria of the review, including how many reviewers screened each record and each report retrieved, whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.                     | 31                              |
| Data collection process       | 9      | Specify the methods used to collect data from reports, including how many reviewers collected data from each report, whether they worked independently, any processes for obtaining or confirming data from study investigators, and if applicable, details of automation tools used in the process. | 31                              |
| Data items                    | 10a    | List and define all outcomes for which data were sought. Specify whether all results that were compatible with each outcome domain in each study were sought (e.g. for all measures, time points, analyses), and if not, the methods used to decide which results to collect.                        | 32                              |
|                               | 10b    | List and define all other variables for which data were sought (e.g. participant and intervention characteristics, funding sources). Describe any assumptions made about any missing or unclear information.                                                                                         | -                               |
| Study risk of bias assessment | 11     | Specify the methods used to assess risk of bias in the included studies, including details of the tool(s) used, how many reviewers assessed each study and whether they worked independently, and if applicable, details of automation tools used in the process.                                    | 31                              |
| Effect measures               | 12     | Specify for each outcome the effect measure(s) (e.g. risk ratio, mean difference) used in the synthesis or presentation of results.                                                                                                                                                                  | -                               |
| Synthesis methods             | 13a    | Describe the processes used to decide which studies were eligible for each synthesis (e.g. tabulating the study intervention characteristics and comparing against the planned groups for each synthesis (item #5)).                                                                                 | 32                              |
|                               | 13b    | Describe any methods required to prepare the data for presentation or synthesis, such as handling of missing summary statistics, or data conversions.                                                                                                                                                | 32                              |
|                               | 13c    | Describe any methods used to tabulate or visually display results of individual studies and syntheses.                                                                                                                                                                                               | 32                              |
|                               | 13d    | Describe any methods used to synthesize results and provide a rationale for the choice(s). If meta-analysis was performed, describe the model(s),                                                                                                                                                    | 32                              |

| Section and Topic             | Item # | Checklist item                                                                                                                                                                                                                                                                       | Location where item is reported |
|-------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
|                               |        | method(s) to identify the presence and extent of statistical heterogeneity, and software package(s) used.                                                                                                                                                                            |                                 |
|                               | 13e    | Describe any methods used to explore possible causes of heterogeneity among study results (e.g. subgroup analysis, meta-regression).                                                                                                                                                 | -                               |
|                               | 13f    | Describe any sensitivity analyses conducted to assess robustness of the synthesized results.                                                                                                                                                                                         | -                               |
| Reporting bias assessment     | 14     | Describe any methods used to assess risk of bias due to missing results in a synthesis (arising from reporting biases).                                                                                                                                                              | -                               |
| Certainty assessment          | 15     | Describe any methods used to assess certainty (or confidence) in the body of evidence for an outcome.                                                                                                                                                                                | -                               |
| <b>RESULTS</b>                |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                 |
| Study selection               | 16a    | Describe the results of the search and selection process, from the number of records identified in the search to the number of studies included in the review, ideally using a flow diagram.                                                                                         | 33, 34                          |
|                               | 16b    | Cite studies that might appear to meet the inclusion criteria, but which were excluded, and explain why they were excluded.                                                                                                                                                          | 33                              |
| Study characteristics         | 17     | Cite each included study and present its characteristics.                                                                                                                                                                                                                            | 35                              |
| Risk of bias in studies       | 18     | Present assessments of risk of bias for each included study.                                                                                                                                                                                                                         | -                               |
| Results of individual studies | 19     | For all outcomes, present, for each study: (a) summary statistics for each group (where appropriate) and (b) an effect estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval), ideally using structured tables or plots.                                                     | -                               |
| Results of syntheses          | 20a    | For each synthesis, briefly summarise the characteristics and risk of bias among contributing studies.                                                                                                                                                                               | -                               |
|                               | 20b    | Present results of all statistical syntheses conducted. If meta-analysis was done, present for each the summary estimate and its precision (e.g. confidence/credible interval) and measures of statistical heterogeneity. If comparing groups, describe the direction of the effect. | -                               |
|                               | 20c    | Present results of all investigations of possible causes of heterogeneity among study results.                                                                                                                                                                                       | -                               |
|                               | 20d    | Present results of all sensitivity analyses conducted to assess the robustness of the synthesized results.                                                                                                                                                                           | -                               |
| Reporting biases              | 21     | Present assessments of risk of bias due to missing results (arising from reporting biases) for each synthesis assessed.                                                                                                                                                              | -                               |
| Certainty of evidence         | 22     | Present assessments of certainty (or confidence) in the body of evidence for each outcome assessed.                                                                                                                                                                                  | -                               |
| <b>DISCUSSION</b>             |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                 |
| Discussion                    | 23a    | Provide a general interpretation of the results in the context of other evidence.                                                                                                                                                                                                    | 43                              |
|                               | 23b    | Discuss any limitations of the evidence included in the review.                                                                                                                                                                                                                      | 49                              |
|                               | 23c    | Discuss any limitations of the review processes used.                                                                                                                                                                                                                                | -                               |
|                               | 23d    | Discuss implications of the results for practice, policy, and future research.                                                                                                                                                                                                       | 50                              |
| <b>OTHER INFORMATION</b>      |        |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                 |
| Registration and protocol     | 24a    | Provide registration information for the review, including register name and registration number, or state that the review was not registered.                                                                                                                                       | 50                              |
|                               | 24b    | Indicate where the review protocol can be accessed, or state that a protocol was not prepared.                                                                                                                                                                                       | -                               |
|                               | 24c    | Describe and explain any amendments to information provided at registration or in the protocol.                                                                                                                                                                                      | -                               |

| Section and Topic                              | Item # | Checklist item                                                                                                                                                                                                                             | Location where item is reported |
|------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Support                                        | 25     | Describe sources of financial or non-financial support for the review, and the role of the funders or sponsors in the review.                                                                                                              | 50                              |
| Competing interests                            | 26     | Declare any competing interests of review authors.                                                                                                                                                                                         | 50                              |
| Availability of data, code and other materials | 27     | Report which of the following are publicly available and where they can be found: template data collection forms; data extracted from included studies; data used for all analyses; analytic code; any other materials used in the review. | -                               |

From: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71

For more information, visit: <http://www.prisma-statement.org/>