UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA ATIVIDADE FÍSICA

CAYQUE BRIETZKE BARRETO

Efeitos do bochecho com carboidrato sobre o desempenho físico, respostas cerebrais e psicofisiológicas de ciclistas mentalmente fadigados durante um teste incremental máximo.

São Paulo
2019

CAYQUE BRIETZKE BARRETO

Efeitos do bochecho com carboidrato sobre o desempenho físico, respostas cerebrais e psicofisiológicas de ciclistas mentalmente fadigados durante um teste incremental máximo.

Versão original

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades, da Universidade de São Paulo para obtenção do título de mestre em Ciências pelo programa de Pós-Graduação em Ciências da Atividade Física.

Área de Concentração:
Atividade Física, Saúde e Lazer

Orientador:
Prof. Dr. Flávio de Oliveira Pires

São Paulo

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Universidade de São Paulo. Escola de Artes, Ciências e Humanidades. Biblioteca)
CRB 8 - 4936

Barreto, Cayque Brietzke

Efeitos do bochecho com carboidrato sobre o desempenho físico, respostas cerebrais e psicofisiológicas de ciclistas mentalmente fadigados durante um teste incremental máximo / Cayque Brietzke Barreto ; orientador, Flávio de Oliveira Pires. – 2019.

67 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Atividade Física, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo

Versão original

1. Ciclismo - Desempenho. 2. Desempenho esportivo. 3. Carboidrato - Efeitos. 4. Fadiga (Fisiologia). I. Pires, Flávio de Oliveira, orient. II. Título

CDD 22.ed. – 796.6

Nome: Barreto, Cayque Brietzke

Título: Efeitos do bochecho com carboidrato sobre o desempenho físico, respostas cerebrais e psicofisiológicas de ciclistas mentalmente fadigados durante um teste incremental máximo

Dissertação apresentada à Escola de Artes,
Ciências e Humanidades da Universidade
de São Paulo para obtenção do título de
Mestre em Ciências do Programa de Pós-
Graduação em Ciências da Atividade
Física

Área de Concentração:

Atividade Física, Saúde e Lazer

Aprovado em: ____ / ____ / ____

Banca Examinadora

Prof. Dr.	_____	Instituição:	_____
Julgamento:	_____	Assinatura:	_____
Prof. Dr.	_____	Instituição:	_____
Julgamento:	_____	Assinatura:	_____
Prof. Dr.	_____	Instituição:	_____
Julgamento:	_____	Assinatura:	_____

Este trabalho é dedicado àqueles que estiveram comigo e me apoiaram durante toda a caminhada desde a graduação, até a conclusão do mestrado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais (Janilton e Rosana), e minha irmã (Thamara) por todo apoio e amparo incondicionais, que dentro do que lhes foi possível, me ajudaram sempre que precisei. Meus avós e tios também merecem um agradecimento especial, pois dentro das possibilidades de cada um, sempre se esforçaram para que eu pudesse cumprir bem esse objetivo de ter uma boa formação acadêmica.

Agradeço muito à minha namorada, Aline por todo o suporte, paciência e companheirismo durante essa jornada, pela compreensão em todos os finais de semana (quase todos durante o período) que acabei abdicando de oportunidades e momentos pessoais para me dedicar à pesquisa e pelo apoio incondicional durante todo esse tempo.

Dois agradecimentos, devem ser feitos em similar proporção aos Prof. Dr. Flávio de Oliveira Pires e Ricardo Yukio Asano. O primeiro, pela orientação acadêmica, profissional e pessoal que contribuiu com maestria para minha formação durante esses 3 anos de mestrado, e que perdurará por toda a carreira acadêmica; o segundo, por toda a trajetória desde a graduação, em Bragança Paulista, onde me orientou o trabalho de conclusão de curso e em projeto de extensão, e intermediou minha chegada ao grupo de estudos para que pudesse, junto ao professor Flávio iniciar na carreira acadêmica.

Agradecimentos aos colegas de grupo de pesquisa também são necessários, pois durante toda a jornadas estivemos sempre juntos em momentos profissionais e pessoais, em especial ao colega de especialização, e posteriormente de laboratório, Paulo Estevão, por essa parceria forte.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, e apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo através de financiamento regular (FAPESP-Brasil) (#2016/16496-3).

Vá e vença, que por vencido não o conheça!

Trecho do filme Tropa de Elite:

RESUMO

BARRETO, Cayque Brietzke. **Efeitos do bochecho com carboidrato sobre o desempenho físico, respostas psicofisiológicas e cerebrais de ciclistas mentalmente fadigados durante um teste incremental máximo**. 2019. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. Versão original.

Estudos têm demonstrado separadamente, a redução do desempenho aeróbio após uma tarefa de alta demanda cognitiva, e a melhora do desempenho físico através da suplementação com bochecho de carboidrato (CHO), levando à hipótese de que o bochecho com CHO possa atenuar a redução do desempenho aeróbio induzida pela fadiga mental. Portanto, nosso objetivo foi investigar se o uso do bochecho com CHO pode melhorar o desempenho físico, atividade cortical e respostas psicofisiológicas em ciclistas mentalmente fadigados submetidos a um teste incremental máximo (TIM). **Métodos:** 19 ciclistas treinados ($7,56 \pm 5,89$ anos de experiência, $4,43 \pm 0,45$ VO_{2PICO} , $359,61 \pm 22,92$ W_{PICO}) realizaram 5 visitas ao laboratório, sendo as duas primeiras em ordem sequencial e as últimas três balanceadas de acordo com a descrição a seguir: 1) familiarização com TIM (teste preliminar), instrumentos e protocolo de FM; 2) TIM controle (CON) e segunda familiarização com o protocolo de FM; 3) TIM+FM; 4) TIM+FM+CHO; 5) TIM+FM+placebo (PLA). Respostas cardiopulmonares, potência, percepção subjetiva de esforço (PSE) e valências afetivas foram analisadas durante o TIM, enquanto a atividade de córtex pré-frontal (CPF) e córtex motor primário (CMP) foram analisadas em intervalos regulares (a cada 25 % do TIM preliminar). As respostas psicológicas e atividade de CPF em repouso foram comparadas através do teste t de *student*, enquanto todas as respostas durante o TIM foram comparadas através de uma de modelos mistos. **Resultados:** os ciclistas mentalmente fadigados atingiram $W_{PICO} \sim 2,18$ % e $\sim 2,23$ % maior na manipulação FM+CHO do que na manipulação FM ($P = 0,09$) e FM+PLA ($P = 0,02$). Além disso, o tempo até a exaustão na manipulação FM+CHO foi $\sim 2,01$ % e $\sim 2,14$ % maior do que na manipulação FM ($P = 0,05$) e FM+PLA ($P = 0,03$), com tamanho de efeito grande em ambos os resultados. A atividade cerebral em CPF foi maior na manipulação MF+CHO e MF+PLA do que na manipulação MF ($P = 0,00$). Além disso a ativação de CMP também foi maior na manipulação MF+CHO ($P = 0,00$) e MF+PLA ($P = 0,01$) do que na manipulação FM, mas nenhuma diferença foi encontrada entre os bochechos. As respostas psicofisiológicas não tiveram diferenças significantes entre as manipulações. **Conclusão:** O bochecho com CHO foi capaz de atenuar a perda de desempenho comparado à manipulação FM+PLA, mas não comparado à FM. Além

disso, tanto FM+CHO quanto FM+PLA induziram maior atividade de CPF e CMP comparados à FM.

Palavras-chave: Desempenho aeróbio. Teste incremental máximo. Atividade cerebral. Suplementação

ABSTRACT

BARRETO, Cayque Brietzke. **Effects of carbohydrate mouth rinse on physical performance, psychophysiological and cerebral responses of mentally fatigued cyclists during a maximal incremental test.** 2019. 67 p. Dissertation (Master of Science) – School of Arts, Sciences and Humanities, University of São Paulo, São Paulo, 2019. Original version.

Independent studies have shown a decrease in endurance performance after a high-demand cognitive task, but an improvement on endurance performance with carbohydrate (CHO) mouth rinse, thus leading to a hypothesis that the CHO mouth rinse could attenuate the mental fatigue-reduced endurance performance. Therefore, our aim was to investigate if the use of CHO mouth rinse may improve physical performance, cortical activity and psychophysiological responses in mentally fatigued cyclists underwent to a maximal incremental test (MIT). **Methods:** 19 endurance trained cyclists (7.56 ± 5.89 years of cycling experience, 4.43 ± 0.45 $\text{VO}_{2\text{PEAK}}$, 359.61 ± 22.92 W_{PEAK}) performed 5 trials, being the two first visits in sequential and the last three in a counterbalanced order, as it follow: 1) familiarization with MIT protocol (preliminary trial), instruments and MF task; 2) MIT control (CON) and second familiarization with MF task; 3) MIT+CHO; 4) MIT+placebo (PLA). Cardiopulmonary responses, power output, ratings of perceived exertion (RPE) and affective valences were assessed through the MIT, while prefrontal cortex (PFC) and primary motor cortex (PMC) activation were obtained at regular intervals (every 25 % of the preliminary MIT). Psychological responses and PFC activation at rest were compared as using t student test, while the responses during the MIT were compared through a number of mixed model. **Results:** Mentally fatigued cyclists reached a $\text{W}_{\text{PEAK}} \sim 2.18$ % and ~ 2.23 % higher in MF+CHO than MF ($P = 0.09$) and MF+PLA ($P = 0.02$), respectively. Moreover, time to exhaustion in MF+CHO manipulation was ~ 2.01 % and ~ 2.14 % greater in MF+CHO than in MF ($P = 0.05$) and MF+PLA ($P = 0.03$), respectively. Both performance results showed a large effect size. Cerebral activation in CPF was greater in MF+CHO and MF+PLA than in MF ($P = 0.00$). Accordingly, PMC activation was also greater in MF+CHO ($P = 0.00$) and MF+PLA ($P = 0.01$) than in MF, but no differences have been observed between bouth rinses. Psychophysiological responses has no significant differences between the manipulations. **Conclusion:** CHO mouth rinse could attenuate the reduced performance compared to MF+PLA but not compared to MF. Moreover, both MF+CHO and MF+PLA induced greater cerebral activity in PFC and PMC compared do MF.

Keywords: Endurance performance. Maximal incremental test. Cerebral activation. Supplementation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Configuração do TIM preliminar e TIM experimental.....	27
Figura 2 -Ativação de CPF pré- pós-RVP na manipulação FM.....	35
Figura 3 -Desempenho cognitivo na manipulação FM.....	36
Figura 4 -Percentual de alteração do desempenho físico na manipulação FM em relação ao CON.....	37
Figura 5 -Ativação de CPF pré- pós-RVP em repouso nas manipulações FM, FM+CHO, e FM+PLA.....	38
Figura 6 -Desempenho cognitivo nas manipulações FM, FM+CHO, e FM+PLA.....	40
Figura 7 -Percentual de alteração do desempenho físico nas manipulações FM, FM+CHO, e FM+PLA.....	42
Figura 8 -Ativação de CPF e CMP durante o TIM nas manipulações FM, FM+CHO, e FM+PLA.....	44
Figura 9 -Respostas psicológicas durante o TIM nas manipulações FM, FM+CHO, e FM+PLA.....	45
Figura 10 - Respostas fisiológicas durante o TIM nas manipulações FM, FM+CHO, e FM+PLA.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização da amostra.....	34
Tabela 2 – Respostas psicológicas pré- pós-RVP.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS

ADP	Adenosina difosfato
AMP	Adenosina monofostato
ATI	Ativação
ATP	Adenosina trifosfato
CON	Controle
CHO	Carboidrato
CMP	Córtex motor primário
CPF	Córtex pré-frontal
DTH	Distúrbio Total de Humor
EEG	Eletroencefalografia
FM	Fadiga mental
FM+CHO	Sessão fadiga mental com ingestão de carboidrato
FM+PLA	Sessão fadiga mental com ingestão de placebo
MOT	Motivação
PLA	Placebo
PSE	Percepção subjetiva de esforço
PSE-W	Razão percepção subjetiva do esforço pela potência média
RVP	<i>Rapid Visual Information Processing</i>
SNC	Sistema nervoso central
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TIM	Teste incremental máximo
VAF	Valência afetiva
VAS	Escala analógica visual
VE	Ventilação
VO ₂	Consumo de oxigênio
VO ₂ PICO	Consumo pico de oxigênio
W _{PICO}	Potência mecânica pico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
<i>1.1 Aspectos da Fadiga Mental</i>	<i>18</i>
<i>1.2 Fadiga mental e desempenho físico</i>	<i>20</i>
<i>1.3 Bochecho com carboidrato e desempenho físico</i>	<i>21</i>
<i>1.4 Problemática do estudo</i>	<i>23</i>
2 MÉTODOS.....	24
<i>2.1 Amostra e aspectos éticos</i>	<i>24</i>
<i>2.2 Desenho experimental.....</i>	<i>25</i>
<i>2.3 Controle dietético</i>	<i>25</i>
<i>2.4 Teste Incremental Máximo.....</i>	<i>26</i>
<i>2.5 Protocolo de tarefa mental</i>	<i>28</i>
<i>2.6 Composição das soluções e protocolo de bochecho com CHO e PLA.....</i>	<i>28</i>
3 INSTRUMENTOS E MEDIDAS	30
<i>3.1 Desempenho físico</i>	<i>30</i>
<i>3.2 Trocas gasosas.....</i>	<i>30</i>
<i>3.3 Eletroencefalografia (EEG).....</i>	<i>31</i>
<i>3.4 Medidas psicológicas.....</i>	<i>32</i>
4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	32

5 RESULTADOS33

5.1 Prova de princípio: efeitos da FM sobre a atividade do CPF, respostas psicológicas, desempenho cognitivo e desempenho físico em TIM..... 34

5.2 Efeitos da fadiga mental sobre a atividade do CPF, respostas psicológicas e desempenho cognitivo..... 38

5.3 Efeitos do bochecho com CHO e PLA sobre o desempenho físico de ciclistas mentalmente fadigados realizando TIM 40

5.3 Efeitos do bochecho com CHO e PLA sobre a atividade do CPF e CMP de ciclistas mentalmente fadigados durante o TIM..... 42

5.3 Efeitos do bochecho com CHO e PLA sobre o as respostas psicofisiológicas de ciclistas mentalmente fadigados durante o TIM..... 44

6 DISCUSSÃO46

6.1 Prova de princípio dos efeitos da FM..... 47

6.2 Efeito da FM na atividade do CPF, respostas psicológicas e desempenho cognitivo nas sessões com bochecho de CHO e PLA..... 48

6.3 Efeito do bochecho com CHO e PLA sobre o desempenho físico de ciclistas mentalmente fadigados durante TIM..... 49

6.4 Efeito do bochecho com CHO e PLA sobre a atividade do CPF e CMP de ciclistas mentalmente fadigados durante TIM..... 51

6.5 Efeito do bochecho com CHO e PLA sobre as respostas psicofisiológicas de ciclistas mentalmente fadigados durante TIM..... 52

6.6 Limitações e aspectos metodológicos 53

7 CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS	55
ANEXO A – PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO.....	64
ANEXO B – ESCALA VISUAL ANALÓGICA.....	65
ANEXO C – ESCALA DE VALÊNCIA AFETIVA.....	66
ANEXO D – QUESTIONÁRIO DE HUMOR.....	67

1 INTRODUÇÃO

1.1 Aspectos da Fadiga Mental

A fadiga mental (FM) é um fenômeno de alteração psicofisiológica caracterizada por sensações de “cansaço” ou “falta de energia”, a qual pode ser desencadeada durante ou após períodos prolongados de alta demanda cognitiva (BOKSEM; TOPS, 2008). Atualmente, a instalação da FM tem sido cada vez mais presente devido ao aumento das demandas cognitivas em diversas ocupações, podendo impactar negativamente na vida pessoal e ocupacional dos indivíduos, uma vez que pode levar ao desengajamento da atividade executada (BOKSEM; TOPS, 2008; RICCI et al., 2007). Estudos têm demonstrado que além de alterações psicológicas e perceptivas (i.e. percepção de esforço, sensação de energia e motivação) (ISHII; TANAKA; WATANABE, 2014b; LORIST; BOKSEM; RIDDERINKHOF, 2005; MARCORA; STAIANO; MANNING, 2009), algumas respostas eletrofisiológicas [i.e. eletroencefalograma (EEG)] (HSU et al., 2015; ISHII; TANAKA; WATANABE, 2014b; WANG et al., 2016) e de função cognitiva (i.e. atenção e planejamento de ações) também são alteradas na presença de FM (ISHII; TANAKA; WATANABE, 2014a; VAN DER LINDEN; FRESE; MEIJMAN, 2003).

Por exemplo, Hsu, Wang e Chen (2015) submeteram 30 indivíduos a um protocolo de FM com 3 níveis diferentes de dificuldade enquanto realizavam a aquisição de EEG e VFC. Ao final de cada estágio, os voluntários respondiam um questionário^a e uma escala que quantificava a sobrecarga mental^b, a fim de verificar a associação entre as respostas fisiológicas e perceptivas ao teste de sobrecarga mental. Os resultados demonstraram que além de alterações perceptivas, a sobrecarga mental resultava em alterações corticais (i.e. redução da atividade cerebral) com grau dependente da dificuldade da tarefa. Ademais, houve associação entre as respostas fisiológicas e perceptivas. Boksem e Tops (2008) sugeriram que a FM seja instalada quando a recompensa associada à tarefa é menor do que o custo para sua execução. Desse modo, a ideia é que a instalação da FM esteja vinculada à relação de custo-benefício da tarefa (i.e. dispêndio energético em relação à recompensa monetária, satisfação pessoal, etc.), podendo resultar na diminuição da motivação e esforço empregado na tarefa.

^a *National aeronautics and space administration task load index.*

^b *Rating scale on mental effort.*

Tem sido proposto que o modelo de FM esteja ligado a alterações ocorridas no sistema nervoso central, principalmente em regiões corticais como córtex pré-frontal (CPF), córtex orbitofrontal e córtex cingulado anterior, as quais seriam possivelmente mediadas pela ação de neurotransmissores cerebrais (BOKSEM; TOPS, 2008). De fato, diversos estudos têm verificado alterações em nível cortical decorrentes da sobrecarga mental, associando-as com a presença da FM (BARWICK; ARNETT; SLOBOUNOV, 2012; HSU et al., 2015; ISHII; TANAKA; WATANABE, 2014a; KÄTHNER et al., 2014; WASCHER et al., 2014). Neste caso, um possível mecanismo é o aumento nas concentrações de adenosina cerebral (LOVATT et al., 2012; QI et al., 2016). A adenosina é uma purina mensageira, a qual tem a função de regular processos fisiológicos, em especial em tecidos como o cérebro e o coração, reduzindo a atividade nesses tecidos (LOVATT et al., 2012; QI et al., 2016). Estudos têm proposto que em tarefas que exijam alta demanda energética no tecido cerebral, haja aumento da degradação de adenosina trifosfato (ATP), com consequente formação de adenosina difosfato (ADP) e adenosina monofosfato (AMP) (DUNWIDDIE; MASINO, 2001; LATINI; PEDATA, 2001; SAWYNOK; LIU, 2003). Desta maneira, a degradação de ATP em tarefas de alta demanda cognitiva contribuiria para a liberação e aumento dos níveis de nucleotídeo de adenina e adenosina cerebral, provocando assim, uma redução na ativação dessas regiões (DUNWIDDIE; MASINO, 2001; QI et al., 2016).

Tais alterações no ritmo cerebral parecem ocorrer principalmente em regiões frontais e centrais, responsáveis pelo planejamento motor, integração de respostas aferentes e emocionais, além da regulação do comando motor (PIRES et al., 2016; ROBERTSON; MARINO, 2016). Wascher et al. (2014), investigando as alterações da atividade cerebral na presença de FM, observaram um aumento significativo da potência de ondas de baixa frequência (ondas teta (θ): 3 – 7 Hz) nas derivações FCz e POz durante todo o período de um teste de sobrecarga mental, indicando a lentificação da região frontal (FCz) e posterior (POz). Além disso, Käthner et al. (2014) verificaram que esse aumento em ondas θ ocorria também em outras regiões frontais (i.e. F3 e F4) além da derivação FCz. Juntos, esses estudos fortaleceram a ideia de que as medidas de ativação cortical obtidas com EEG em regiões cerebrais corticais, especialmente as ondas θ frontais, seriam sensíveis e capazes de identificar a instalação da FM (KÄTHNER et al., 2014; SMITH et al., 2003; WASCHER et al., 2014).

Um ponto interessante nesse cenário de decréscimo na tolerância ao esforço e perda de desempenho físico realizado sob FM são seus prováveis mecanismos de atuação, propostos para explicar ambos os fenômenos; isto é, o fenômeno da FM e do desempenho físico. Enquanto o

desencadeamento da FM tem sido atribuído à redução da atividade cerebral em regiões frontais, a regulação do exercício e tolerância ao esforço têm sido atribuídas às alterações que ocorrem no córtex cerebral, coincidentemente, as mesmas regiões corticais sugeridas na FM (MEEUSEN et al., 2016; PIRES et al., 2016; ROBERTSON; MARINO, 2016). Nesse sentido, em carta ao editor, Robertson e Marino (2016) propuseram um modelo de regulação da tolerância ao esforço, onde o CPF teria função determinante nesse ajuste. De acordo com o proposto, tanto em modelo de exercício auto ajustado (onde o indivíduo é livre para ajustar o ritmo da tarefa) quanto em um teste incremental máximo (TIM), por exemplo, o CPF integraria respostas periféricas aferentes, junto às respostas motivacionais e emocionais advindas do córtex cingulado anterior e orbitofrontal (SHENHAV; COHEN; BOTVINICK, 2016) para o ajuste do ritmo do exercício (quando auto ajustado) ou encerramento da tarefa.

De fato, diversos estudos têm demonstrado importante papel do CPF na regulação do desempenho físico, especialmente em TIM (PIRES et al., 2016; RACINAIS; BUCHHEIT; GIRARD, 2014; ROBERTSON; MARINO, 2015). Por exemplo, Robertson e Marino (2015) verificaram que em um TIM a atividade cerebral no CPF (medida através de EEG) aumentava até o segundo limiar ventilatório, com significativa queda após esse ponto, até o final do exercício. Similar, Pires et al. (PIRES et al., 2016) e Racinais et al. (2014) verificaram em estudos separados, que assim como ocorre com a atividade cerebral do CPF, a oxigenação tecidual dessa região também reduz a partir do segundo limiar ventilatório. Tais alterações de ativação cerebral em regiões frontais, especialmente no CPF, encontradas em ambas as manipulações (FM e momentos finais do TIM) (KÄTHNER et al., 2014; PIRES et al., 2016), parecem ter relação com a perda de desempenho físico e/ou encerramento da tarefa.

1.2 Fadiga mental e desempenho físico

Provavelmente devido às alterações ocorridas no córtex cerebral, entre outras, a instalação de FM tem induzido à perda do desempenho durante exercício físico, além de alterações em algumas respostas psicológicas e perceptivas (LOPES E SILVA, 2014; MARCORA; STAIANO; MANNING, 2009; PAGEAUX et al., 2014). Marcora, Staiano e Manning (2009) e Pageaux et al. (2014) verificaram em estudos separados, que houve redução do desempenho físico quando os sujeitos eram submetidos à FM por meio de uma tarefa de atenção sustentada; tal redução no desempenho foi acompanhada de uma maior percepção

subjetiva de esforço (PSE). Em outro estudo, Pires et al. (2018a) verificaram que além das alterações em respostas psicológicas e cerebrais, a potência mecânica média durante teste de ciclismo contrarrelógio de 20 km foi reduzida em 6,5 %, levando ao aumento no tempo de teste de 2,3 % quando os sujeitos estavam mentalmente fadigados. Além disso Lopes e Silva (2014) verificaram que indivíduos mentalmente fadigados tiveram o desempenho reduzido durante TIM; neste caso, o tempo de exaustão foi reduzido em 4,9% aliado à redução da W_{PICO} na presença de FM.

Uma possível manipulação com potencial de atenuar os efeitos da FM é o bochecho com carboidrato (CHO). Esta manipulação tem sido proposta como possível estratégia ergogênica para a melhora do desempenho físico em diferentes modelos de exercício (ATAIDE-SILVA et al., 2016; FRAGA et al., 2015; LUDEN et al., 2016). De mais importante, essa estratégia parece potencializar o desempenho motor, agindo em direção contrária à ação da FM sobre a atividade cerebral, ou seja, enquanto a FM parece reduzir a atividade de regiões cerebrais responsáveis pelo planejamento motor, o bochecho com CHO parece aumentar a atividade nessas regiões.

1.3 Bochecho com carboidrato e desempenho físico

Embora ainda permaneçam desconhecidos os receptores que iniciam a transmissão do sinal elétrico para os centros cerebrais ativados quando da utilização do bochecho com CHO, atualmente tem sido proposto que a presença de CHO na cavidade oral ativa células gustatórias presentes em toda a boca (principalmente os receptores T1R2 e T1R3), dando início à transmissão da atividade elétrica por neurônios gustatórios até o córtex gustatório primário (ínsula e opérculo frontal) e secundário (orbitofrontal), com desfecho em regiões frontais do cérebro (i.e. CPF) (DE ARAUJO et al., 2009; SIMON et al., 2006; SMALL et al., 2007). De fato, Chambers et al. (2009) e Turner et al. (2014) verificaram através de estudos de imagem, que quando em contato com a cavidade oral, a solução de CHO ativava o CPF, córtex estriado, cíngulo anterior e orbitofrontal. Tais estruturas (córtex orbitofrontal e ínsula), além de fazerem parte do trato gustatório, possuem projeções de regiões cerebrais ligadas ao circuito de recompensa (i.e. área tegmentar ventral e córtex estriado), e atuam sobre respostas cognitivas, emocionais e comportamentais (MEEUSEN et al., 2016; ROBERTSON; MARINO, 2016). No mesmo estudo, porém em seção diferente, Chambers et al. (2009) verificaram ainda que os sujeitos que fizeram bochecho com CHO também tiveram melhor desempenho físico em teste

contrarrelógio de ciclismo, um efeito possivelmente associado à ativação dessas regiões cerebrais.

Além disso, é possível que o bochecho com CHO tenha diferentes efeitos quando utilizado em exercício de diferentes intensidades (BASTOS-SILVA et al., 2016). Por exemplo, Bastos-Silva et al. (2016) investigaram o efeito do bochecho com CHO sobre testes até a exaustão em diferentes intensidades. De acordo com os autores, o bochecho com CHO foi capaz de melhorar o desempenho físico e manter a atividade eletromiográfica em exercício de intensidade moderada, mas não em alta intensidade. Similar, Pires et al. (2018b) demonstraram que em um contrarrelógio de 4-km, onde o esforço é comparado a esforços máximos, o bochecho com CHO também não foi capaz de melhorar o desempenho físico, embora tenha atenuado a fadiga central (PIRES et al., 2016, 2018b). Dessa forma, a principal hipótese para a melhora do desempenho físico quando da utilização do bochecho com CHO seria a ativação dessas estruturas cerebrais, amenizando assim, as sensações de desprazer e desconforto desencadeadas pelo exercício (CHAMBERS; BRIDGE; JONES, 2009).

Tanto em exercícios sem ponto final conhecido (exercício aberto) (BASTOS-SILVA et al., 2016; FRAGA et al., 2015), quanto em exercícios com ponto final conhecido (exercício fechado) (ATAIDE-SILVA et al., 2016; CARTER; JEUKENDRUP; JONES, 2004), a literatura aponta robustas evidências de efeito positivo do bochecho com CHO. Estudo recente de Peart (2017) demonstrou que o efeito médio do bochecho de CHO é a melhora de $\sim 2,48$ % sobre o tempo total de teste, e $\sim 1,93$ % quando o desfecho analisado é a potência mecânica. Brietzke et al. (2018), por exemplo, conduziram uma metanálise sumarizando 16 estudos ($n = 175$ sujeitos) envolvendo bochecho com CHO e testes contrarrelógio de diferentes formatos. Neste estudo, os resultados apontaram para um aumento significativo da potência média durante um teste contrarrelógio comparável à ingestão do CHO. O tempo de teste, no entanto, não foi significativamente melhor.

Embora alguns estudos não tenham visto alteração do desempenho com esta manipulação (BEELEN et al., 2009; KULAKSIZ et al., 2016), é bem estabelecido que o bochecho com CHO é uma manipulação capaz de melhorar o desempenho físico (E SILVA et al., 2013; PEART, 2017; THOMAS; ERDMAN; BURKE, 2016). Alguns pontos podem ser levantados, quando da ausência de efeito da manipulação. O estado alimentar dos indivíduos que realizam o bochecho com CHO, por exemplo, parece ter influência sobre a magnitude da resposta da intervenção sobre o desempenho (JEUKENDRUP; ROLLO; CARTER, 2013; LANE et al., 2013a). Outros fatores que parecem ser importantes são o baixo número amostral dos trabalhos

que avaliaram essa intervenção (JEUKENDRUP; ROLLO; CARTER, 2013), a frequência do bochecho ao longo do exercício, uma vez que seu efeito é imediato (GANT; STINEAR; BYBLOW, 2010), e possivelmente momentâneo, além da relação volume-intensidade do exercício utilizado.

1.4 Problemática do estudo

Visto que indivíduos mentalmente fadigados têm o desempenho físico reduzido em diferentes modelos de exercício, é possível que quando submetidos a um TIM sob o estado de FM, apresentem redução do tempo de exaustão e, portanto, apresentem valores subestimados de variáveis derivadas do teste (i.e. potência pico, VO_{2PICO}). De outro lado, o bochecho com CHO tem sido utilizado frequentemente na prática para a otimização do desempenho físico em diversos modelos de exercício. Interessante, a manipulação com bochecho de CHO poderia ser um possível recurso na tentativa de reverter a perda de desempenho ocasionada pela instalação da FM, pois de um lado a FM altera respostas psicológicas durante o exercício e reduz a atividade cortical em regiões frontais do cérebro, como por exemplo, o CPF. De outro, o bochecho com CHO aumenta a atividade cerebral nas mesmas regiões, possivelmente atenuando algumas respostas perceptivas ao longo do exercício e elevando o desempenho físico. Entretanto, a hipótese de que o bochecho com CHO seja capaz de atenuar ou reverter o efeito da FM sobre as respostas de desempenho físico durante TIM foi totalmente inexplorada. Por exemplo, não se sabe se o bochecho de CHO poderia atenuar o decréscimo sobre a intensidade máxima alcançada num TIM ou no VO_{2PICO} e limiares fisiológicos. Além disso, conhecer as respostas cerebrais e psicológicas durante um TIM com bochecho de CHO em indivíduos mentalmente fadigados seria interessante. Neste caso, vale ressaltar que um TIM é um modelo de exercício interessante, pois permitiria conhecer se uma manipulação de ação central como o bochecho com CHO, apresentaria efeitos dependentes da intensidade do exercício.

Estudos têm demonstrado que a atividade cerebral durante o exercício é regulada alterada de acordo com a intensidade do exercício. Brummer et al. (2011a), por exemplo, observaram que em um teste incremental máximo a atividade do córtex motor aumentava de acordo com o aumento da intensidade do teste. Outros estudos ainda observaram que a atividade cerebral é influenciada pela intensidade e tipo de exercício (BRÜMMER et al., 2011b), e que durante um

TIM a atividade de CPF e córtex motor aumentam até o momento do segundo limiar ventilatório, e reduzem até a exaustão. No entanto, até o momento, nenhum estudo verificou se o mesmo acontece com indivíduos mentalmente fadigados que supostamente teriam alteração da atividade cerebral de CPF após o protocolo de FM.

Baseado em estudos anteriores os quais verificaram, separadamente, a redução do desempenho físico e alteração de respostas psicológicas na presença de FM (LOPES E SILVA, 2014; PAGEAUX et al., 2014), e uma maior atividade cerebral em regiões similares na presença do CHO na cavidade oral, proporcionando melhora no desempenho físico com efeito dependente da intensidade de exercício, possivelmente devido à maior ativação do circuito de recompensa e melhores respostas perceptivas (CHAMBERS; BRIDGE; JONES, 2009; TURNER et al., 2014), esperamos que o bochecho com CHO atenua a redução sobre a atividade cerebral induzida pela FM e melhore as respostas perceptivas alteradas negativamente na presença da FM. Como consequência, a perda de desempenho ocasionada pela FM poderia ser atenuada com o bochecho de CHO.

2 MÉTODOS

2.1 Amostra e aspectos éticos

O cálculo amostral foi realizado de acordo com a equação proposta por Hopkins (2000), com base no efeito esperado da manipulação com bochecho de CHO e o coeficiente de variação (CV) da principal variável dependente do presente projeto (W_{PICO}) (Equação 1), onde “ n ” é o número de sujeitos, “ e ” é o CV e “ d ” é o efeito esperado da manipulação. O CV assumido foi de 5%, um valor próximo aos valores rotineiros para esse tipo de medida em estudos do nosso grupo (GEPsE – Grupo de Estudos em Psicofisiologia do Exercício). Para o valor do efeito esperado, estudos anteriores têm mostrado um efeito médio (“ d ”) $\sim 3,1$ % sobre o desempenho físico, quando a manipulação é realizada em indivíduos restrição alimentar de 4 horas (CARTER; JEUKENDRUP; JONES, 2004; GAM; GUELFI; FOURNIER, 2013; SINCLAIR et al., 2014). Portanto, o “ n ” inicial obtido foi de 20 sujeitos. Assumindo uma possível mortalidade amostral ~ 20 %, 24 sujeitos seriam inicialmente necessários. Desta forma, homens com idade entre 18 e 38 anos, ciclistas recreativos, com $W_{PICO} \geq 325$ W, sem nenhuma complicação de saúde e que não fizessem uso de substâncias lícitas ou ilícitas que pudessem

interferir no desempenho físico foram recrutados. Ademais, a participação do estudo foi voluntária e realizada somente após a assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE). Todos os procedimentos foram aprovados pelo comitê de ética da Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (parecer nº 1.534.118).

$$N = 8 \times \left(\frac{e^2}{d^2} \right) \quad (1)$$

2.2 Desenho experimental

O estudo foi realizado em duas fases, sendo a primeira, uma prova de princípio do efeito da FM sobre o desempenho físico, respostas cerebrais e psicológicas dos ciclistas. Na segunda fase, estudamos o efeito do bochecho com CHO sobre o desempenho físico, respostas cerebrais e psicofisiológicas de ciclistas mentalmente fadigados.

Durante o estudo os sujeitos realizaram 5 visitas ao laboratório para a execução dos seguintes procedimentos: 1) familiarização com TIM (teste preliminar), instrumentos e teste de indução de FM; 2) TIM controle (CON) e segunda familiarização com o teste de indução de FM; 3) FM; 4) FM+CHO; 5) FM+placebo (PLA). As sessões 1 e 2 foram realizadas em ordem sequencial, enquanto as sessões 3, 4 e 5 em ordem contrabalanceada. Especificamente com relação à primeira visita, esta foi utilizada para explicação dos procedimentos, com posterior assinatura do TCLE e anamnese.

O estudo teve um caráter transversal, *crossover*, contrabalanceado e com arranjo duplo cego na experimentação e análise de dados (blindagem das soluções até o final do estudo). As sessões experimentais foram realizadas após intervalo de 3 a 7 dias, com a obtenção das seguintes variáveis dependentes antes e após a tarefa mental: VAS, humor e atividade cerebral. Além disso, durante o TIM foram coletadas medidas de FC, VO₂, PSE, valência afetiva (VAF) e atividade de CPF e CMP.

2.3 Controle dietético

Os ciclistas foram orientados a manter a dieta do dia anterior ao teste da condição CON em todas as sessões experimentais até a hora de iniciar a restrição alimentar e preencher um recordatório alimentar antes de cada teste para a avaliação do padrão da dieta. Além disso, os ciclistas foram orientados a realizar uma restrição alimentar entre 6 e 8 horas, afim de potencializar o efeito da manipulação com bochecho com CHO (ATAIDE-SILVA et al., 2016; LANE et al., 2013b). Importante, os ciclistas foram orientados a absterem-se do consumo de bebida alcóolica e quaisquer suplementos alimentares ou recursos que pudessem afetar seu desempenho físico. Durante o questionário para a quantificação do treinamento, os ciclistas foram indagados sobre eventual uso de substâncias para aumento de desempenho, a fim de reduzir as chances da presença de ciclistas que estivessem usando substâncias lícitas ou ilícitas para melhora do desempenho (um ciclista foi excluído do estudo por este motivo).

2.4 Teste Incremental Máximo

Inicialmente os ciclistas realizaram um TIM contínuo, preliminar (TIM preliminar), configurado com aquecimento de 5 minutos e potência de 100 W (cadência do pedal em 80 rpm), e incrementos de $25 \text{ W} \cdot \text{min}^{-1}$ até a exaustão (definido como a incapacidade de manter a cadência em 80 rpm). Este TIM preliminar foi utilizado para a seleção dos ciclistas, de acordo com o critério de entrada no estudo ($W_{\text{PICO}} \geq 325 \text{ W}$), assim como para a determinação das intensidades durante as quais haveria realização dos bochechos nos TIM experimentais. Desta forma, um TIM com incrementos descontínuos foi utilizado nas sessões CON, FM, FM+CHO e FM+PLA, conforme descrição a seguir.

Brevemente, estudos investigando os efeitos do bochecho de CHO sobre o desempenho em testes contrarrelógio de ciclismo têm utilizado bochechos de CHO a cada 12,5% do trabalho total alcançado em teste preliminar (CARTER; JEUKENDRUP; JONES, 2004; CHAMBERS; BRIDGE; JONES, 2009). Por exemplo, estudo clássico de Carter et al (2004) utilizou um teste contrarrelógio limitado pelo trabalho total realizado (i.e. $914 \pm 40 \text{ kJ}$), enquanto o desempenho físico era medido pelo tempo gasto para completar tal trabalho. Neste estudo, cada participante realizava bochecho com CHO ou PLA a cada 12,5 % do trabalho total completado (CARTER; JEUKENDRUP; JONES, 2004). Dada a característica de um TIM, um teste com desfecho desconhecido *a priori*, o presente estudo foi desenhado para possibilitar aos participantes, a realização de bochechos a cada 25 % do TIM. Assim, dada a impossibilidade de se conhecer, *a*

priori, a W_{PICO} em TIM sob influência do bochecho de CHO, dados de TIM preliminar foram usados. Desta forma, parciais a cada 25 % da W_{PICO} do TIM preliminar foram determinadas para a realização dos bochechos de CHO e PLA nas sessões experimentais. Além disso, para que a realização dos bochechos fosse viabilizada juntamente com a aquisição de sinal de EEG durante o TIM, um degrau descontinuado de 60 segundos a cada 25 % da W_{PICO} do TIM preliminar foi utilizado. Mais especificamente, esse degrau permitiu a realização de bochechos (~30 segundos) antes da aquisição de sinal de EEG (~30 segundos) com artefatos minimizados. Assim, um TIM descontinuado, com a adição de 60 segundos nas potências referentes a 25 %, 50 % e 75 % da W_{PICO} do TIM preliminar, foi utilizado. A figura 1 ilustra a configuração do TIM preliminar e do TIM usado nas sessões experimentais.

Fonte: Cayque Brietzke Barreto, 2019.

A) Configuração do TIM preliminar

B) Configuração do TIM descontinuado das sessões experimentais

* Percentual do teste preliminar

Ao final de cada estágio (imediatamente antes do prolongamento dos degraus usados para os bochechos), os ciclistas respondiam as escalas psicológicas (ver sessão 3.4 Medidas

Psicológicas). Para garantir que os valores máximos fossem alcançados no TIM, os voluntários receberam incentivos verbais do mesmo avaliador, ao longo do teste. Importante, durante todo o TIM os ciclistas permaneceram de olhos fechados para reduzir a quantidade de ruídos e artefatos no sinal da atividade cerebral. Assim, a cadência do pedal foi controlada por um avaliador. Todos os testes foram realizados em uma bicicleta (Giant®, USA) adaptada individualmente de acordo com cada voluntário, e acoplada a um ciclo-simulador eletromagnético (CompuTrainer™ RacerMate 8000, EUA) para controle da potência mecânica e cadência do pedal.

2.5 Protocolo de tarefa mental

Para a indução da FM foi realizado um teste de atenção sustentada com alta carga de memória e atenção sustentada, por meio do *Rapid Visual Information Processing* (RVP) (ALVARENGA, 2018; HILTI et al., 2013; PIRES et al., 2018a), em monitor de 15 polegadas com distância aproximada de 80 centímetros e posicionado ao nível dos olhos do sujeito. Durante o teste são apresentados, de maneira contínua e randômica, números de 1 a 9. Os números são apresentados com uma frequência de 100 dígitos por minuto ($\sim 1,7$ Hz) e os voluntários eram orientados a pressionar a tecla “*space bar*” o mais rapidamente possível, quando sequências de três números ímpares ou pares aparecessem no monitor (i.e. 1,3,5; 2,4,6; 3,5,7). A cada minuto são apresentadas 8 sequências corretas. Como utilizado em estudos prévios para a indução da FM antes de protocolos de exercício, a tarefa teve a duração de 40 minutos (ALVARENGA, 2018; PIRES et al., 2018a). Para assumir a presença de FM, em repouso, foi utilizada uma escala visual analógica (VAS) (anexo B) de 100 mm para medir a sensação de FM, motivação (MOT) e ativação (ATI), um questionário para medir a alteração de humor, os resultados de desempenho cognitivo (indicado pelo número de acertos, tempo de reação e falso alarme), além do aumento de ondas de baixa frequência (ondas θ) em região de CPF (HSU et al., 2015; KÄTHNER et al., 2014; WANG et al., 2016; WASCHER et al., 2014).

2.6 Composição das soluções e protocolo de bochecho com CHO e PLA

Ambas as soluções (CHO e PLA) foram preparadas em farmácia de manipulação, com mesma composição de estudos prévios (GANT; STINEAR; BYBLOW, 2010; TURNER et al., 2014). Similar ao utilizado por Gant et al. (2010), ambas as soluções tiveram como mesma base, uma solução de saliva artificial (0,21 g de NaHCO_3 e 1,875 g de KCl, diluídos em 1000 mL de água destilada) (DE ARAUJO et al., 2003; O'DOHERTY et al., 2001). Ainda de acordo com Gant et al. (2010), a solução PLA foi composta por 0,053 g de acessulfame K diluído em 1000 mL solução de saliva artificial, enquanto a solução de carboidrato foi composta por 148 g de maltodextrina diluídas em 1000 mL da solução PLA. Brevemente, a solução de saliva artificial foi utilizada pois, devido a composição similar à da saliva humana, não gera alteração cerebral apenas pela sua presença na cavidade oral, como a água, por exemplo (CHAMBERS; BRIDGE; JONES, 2009; DE ARAUJO et al., 2003; O'DOHERTY et al., 2001). Por sua vez, a solução de CHO foi diluída na solução PLA para assegurar que as soluções fossem realmente semelhantes principalmente quanto ao sabor. Importante, como sugerido em revisão recente (BEEDIE et al., 2018), utilizamos um desenho com duplo-controle, um controle sem suplementação (CON) e outro com PLA percebido como CHO, para avaliar os feitos do bochecho com CHO. Estudos têm questionado o uso de desenhos duplo-cego tradicionais para a investigação do efeito de diferentes suplementos sobre o desempenho físico (KIRSCH; WEIXEL, 1988; PIRES et al., 2018c; SAUNDERS et al., 2016) pois a simples expectativa de se usar determinado suplemento pode gerar melhora no desempenho (DOMOTOR; SZEMERSZKY; KOTELES, 2015). Então, utilizamos um desenho experimental com PLA percebido como CHO, reforçando desde o primeiro contato e em todos os testes, que as manipulações com bochecho seriam realizadas todas com CHO. Estudos recentes têm desafiado o real efeito de manipulações dietéticas para a melhora do desempenho físico, tais como cafeína (BRIETZKE et al., 2017b; CLARK et al., 2000; PIRES et al., 2018c). Outros têm sugerido que a presença de placebo percebido como a substância ativa a ser investigada, juntamente com a presença de uma condição controle (i.e. baseline) no mesmo desenho experimental, é uma via metodológica importante para desvendar o real efeito da substância ativa sobre o desempenho físico (BEEDIE et al., 2018).

Os ciclistas realizaram o bochecho com 25 mL da solução de CHO ou PLA ao final do aquecimento, e em 3 momentos específicos do TIM (ver sessão 2.4 Teste incremental máximo). O bochecho foi realizado durante 10 segundos, com a máscara do analisador de gases aberta, enquanto mantinham a cadência e a potência do teste. Em seguida, descartavam a solução em um balde para posterior medida da quantidade de solução.

3 INSTRUMENTOS E MEDIDAS

3.1 Desempenho físico

O desempenho físico foi medido através da W_{PICO} e tempo de exaustão. A W_{PICO} foi determinada pelo maior valor de potência mecânica (*Watts*) sustentado com a cadência de 80 rpm, corrigida pela duração do estágio incompleto de acordo com a equação proposta por De Pauw et al. (DE PAUW et al., 2013). Na equação 2, temos que: W_1 é a potência mecânica do último estágio completo; W_2 a potência mecânica no estágio incompleto; T_1 a duração de cada estágio e T_2 o tempo permanecido durante o estágio incompleto (Equação 2). O tempo de exaustão foi assumido no momento em que o voluntário solicitar o encerramento do teste, ou perder a capacidade de manter a cadência em 80 rpm.

$$W_{PICO} = W_1 + \frac{[(W_2 - W_1) \times T_2]}{T_1} \quad (2)$$

Fonte: De Pauw K, Roelands B, Cheung SS, et al. Guidelines to classify subject groups in sport-science research. *Int J Sport Physiol Perform* 2013; 8: 111–122.

3.2 Trocas gasosas

A análise de trocas gasosas foi realizada durante todo o teste, por meio de uma máscara conectada a um analisador de gases de circuito aberto (Cortex Metalyzer 3B®, Cortex Biophysik, Leipzig, Alemanha), capturando as respostas de ventilação (VE), consumo de oxigênio (VO_2) e produção de dióxido de carbono (CO_2) a cada respiração. A mensuração do volume de ar expirado foi realizada por um sensor de fluxo bidirecional, calibrado no início de cada teste com uma seringa com 3 L de ar. Através de um sensor de zircônio foi analisada a fração expirada de O_2 , e por absorção de infravermelho, a fração expirada de CO_2 . Os sensores foram calibrados de acordo com as recomendações do fabricante, através de um cilindro de O_2 e CO_2 com concentração conhecida (12% e 5%, respectivamente). A FC foi registrada através de uma cinta torácica com transmissão via bluetooth (Polar®, EUA). O VO_{2PICO} foi identificado através da média dos últimos 30 segundos de teste (WESTON et al., 2002). Os limiares ventilatórios foram identificados visualmente pelos equivalentes ventilatórios de O_2 e CO_2 , o VE/VO_2 e o VE/VCO_2 , respectivamente. Brevemente, o limiar ventilatório 1 (LV1) foi

determinado na intensidade em que ocorresse aumento abrupto e contínuo na relação VE/VO_2 , sem aumentar VE/VCO_2 ; LV2 foi identificado no último ponto antes de haver um aumento contínuo e acentuado na VE/VCO_2 . Os dados de VE, plotados em função da intensidade foram utilizados para auxiliar na identificação de LV1 e LV2, respectivamente. Para tanto, foi assumido o último ponto antes da primeira (LV1) e segunda (LV2) quebra de linearidade na curva VE-W. Os valores para as análises foram derivados da mediana encontrada entre a identificação de três avaliadores experientes.

3.3 Eletroencefalografia (EEG)

Uma fita métrica foi utilizada para medir a distância entre as referências *nasion* e *inion*, de acordo com o sistema internacional de EEG 10-20 (PIVIK et al., 1993), com eletrodos de referência no processo mastoideo e eletrodo terra (FPz) fixado na testa do voluntário. Os sinais de EEG foram coletados durante 3 minutos de repouso absoluto, antes e após o protocolo para a indução da FM, e durante todo o TIM. A captação do sinal foi realizada em ambiente isolado e silencioso. Para a captação do sinal em repouso os ciclistas foram orientados a permanecer de olhos fechados e evitar movimentação excessiva de tronco ou facial durante a captação. Para diminuir a impedância e melhorar a captação do sinal, foi realizada previamente, a limpeza do local com raspagem do couro cabeludo, assepsia com álcool e aplicação de gel eletrolítico. O sinal de EEG foi coletado através de um aparelho de EEG digital (Emsa® TiEEG, Brasil), a uma frequência de 600 Hz e ganho de 1000, nas seguintes derivações: 1) CPF, derivação Fp1 e 2) CMP, na derivação Cz.

Durante a aquisição, o sinal recebeu o tratamento de um filtro *Notch* digital, com frequência máxima em 60 Hz (rede elétrica brasileira). Após a aquisição do sinal, o sinal foi processado em ambiente Matlab®. Brevemente, os dados foram filtrados através de filtros passa-banda recursivos, *Butterworth* de segunda ordem com frequência estipulada para identificar as frequências conhecidas do sinal EEG (3 – 50 Hz). Em repouso, (antes e após o protocolo de indução da FM), a potência espectral da banda θ foi calculada sobre janela de 5 segundos (1800 amostras) mais estável do sinal, excluindo os primeiros e últimos 30 segundos para evitar possíveis ruídos relacionados à expectativa do ciclista ao início e término da aquisição (BRÜMMER et al., 2011a). Durante o TIM o espectro todo do sinal EEG foi processado em uma janela de 5 segundos do sinal mais estável, imediatamente após cada

realização de bochecho (final do aquecimento, 25 %, 50 % e 75 % da W_{PICO} do TIM preliminar), ou nos momentos correspondentes no TIM COM (i.e. FM). Durante o TIM, os valores foram reportados como percentual (%) de alteração do sinal captado em repouso absoluto antes da indução da FM (PIRES et al., 2016; ROBERTSON; MARINO, 2015) enquanto em repouso, valores absolutos de potência espectral (dB) foram utilizados. Brevemente, estudos anteriores verificaram que em repouso, há uma elevação de ondas θ (i.e. lentificação) no CPF quando da instalação da FM (KÄTHNER et al., 2014; WASCHER et al., 2014). Durante o TIM, era esperado um aumento da potência espectral do sinal de EEG ((PIRES et al., 2016; ROBERTSON; MARINO, 2015).

3.4 Medidas psicológicas

Medidas de PSE (anexo A), e VAF (anexo C) foram coletadas durante o TIM, ao final de cada estágio, enquanto medidas de humor e cansaço mental, através da escala visual analógica (VAS) também foram coletadas antes e após a indução de FM. O humor (anexo D) foi avaliado através do questionário POMS, em versão validada para língua portuguesa (ROHLFS et al., 2008). O questionário consiste em 42 indicadores, os quais contemplam 6 domínios de humor. Para reportar a intensidade das sensações, utiliza-se uma escala de 5 pontos, onde 0 representa “nada” e 4 “extremamente”. Além disso, é calculado distúrbio total de humor (DTH), a partir da soma dos domínios raiva, confusão, depressão fadiga e tensão, subtraindo o vigor e somando uma constante de 100. Um maior DTH representa a redução do HUM, enquanto a redução do DTH é associada à melhora do HUM. Além disso, as sub-escalas “fadiga” e “vigor” foram analisadas em separado para identificar alterações causadas pela instalação da FM (ALVARENGA, 2018; AZEVEDO et al., 2016; PIRES et al., 2018a). A PSE foi obtida por meio da escala de 15 pontos de Borg (1982), com descritores sobre a sensação de esforço, na qual 6-7 correspondem à uma tarefa extremamente leve e 19-20 correspondem à uma tarefa extremamente difícil. Além disso, a VAF foi avaliada através de uma escala bipolar numerada de -5 a 5, com descritores intermediários (muito ruim, ruim, neutro bom e muito bom) de acordo com o prazer do ciclista durante a tarefa.

4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Prova de princípio: Para verificar a instalação da FM, comparamos se a potência espectral de ondas θ em região do CPF (Fp1) se alterava entre os momentos pré- vs pós teste de RVP através do teste t de *student*. Além disso, alterações nas escalas VAS e HUM, entre os momentos pré- vs pós-teste RVP também foram comparadas por teste t de *student*. Em adição, comparamos o desempenho físico, expresso como W_{PICO} e tempo até a exaustão, e o VO_{2PICO} , entre as condições *baseline* e FM por meio de teste t de *student*. As respostas perceptivas e fisiológicas obtidas ao longo do exercício foram comparadas por meio de modelo misto (2 x 4), com os sujeitos sendo o fator aleatório, e a manipulação (CON vs FM) e os momentos do TIM (25%, 50%, 75% do TIM preliminar e exaustão) sendo os fatores fixos.

Efeitos das manipulações sobre o desempenho físico, sinal EEG, e respostas psicofisiológicas durante o TIM: a fim de verificar se o bochecho com CHO seria capaz de reverter a perda de desempenho físico (W_{PICO} , tempo até a exaustão) e VO_{2PICO} causada pela FM, foi utilizado modelo misto tendo manipulação (FM vs CHO vs PLA) como fator fixo e os sujeitos, o fator aleatório. As respostas obtidas ao longo do TIM tais como as respostas de EEG, as variáveis fisiológicas (VO_2 , VE e FC) e as perceptivas (PSE, e VAF) foram comparadas por modelo misto (3 x 4), tendo as manipulações (FM vs CHO vs PLA) e os momentos do exercício (aquecimento, 25%, 50%, 75% do TIM preliminar e exaustão) como fatores fixos, enquanto os sujeitos foram o fator aleatório. Importante, em todas as comparações realizadas por modelo misto foi realizada modelagem da matriz de covariância, assumindo-se a matriz que melhor se ajustou a cada série de dados por meio do *Restricted Log Likelihood*. Teste de Bonferroni foi usado para correção de comparações múltiplas nos casos de valores de F significante.

Apesar do cálculo amostral considerando um tamanho de efeito previsto, o tamanho do efeito “real” contido nos dados experimentais também foi calculado, e interpretado de acordo com Hopkins et al. (2009), considerando efeito pequeno quando $0 \leq d \leq 0,2$, efeito médio $0,3 \leq d \leq 0,6$, efeito grande para $0,7 \leq d \leq 1,2$ e efeito muito grande para $1,2 \leq d \leq 1,9$ e efeito extremamente grande quando $d \geq 2$. As substâncias (CHO ou PLA) foram codificadas e reveladas após as análises, para assegurar que a análise estatística também fosse cega. O nível de significância de 5% ($p < 0,05$) foi utilizado em todas as comparações.

5 RESULTADOS

Passaram pelo principal critério de inclusão (W_{PICO} no TIM preliminar) 24 ciclistas, porém 5 voluntários se retiraram do estudo por problemas pessoais relacionadas ao horário de trabalho ou de saúde (i.e. lesão ocorrida durante sessões de treino ou competição). Desta forma, 19 ciclistas finalizaram o estudo. A tabela 1 demonstra a caracterização da amostra. Os ciclistas foram classificados de acordo com De Pauw et al (2013), como ciclistas de nível 3, através dos critérios de VO_{2PICO} absoluto e W_{PICO} .

Tabela 1 - Caracterização da amostra

Variável	Média ± DP
Massa (Kg)	80,08 ± 10,56
Estatutura (Cm)	175,0 ± 5,0
IMC (Kg/m²)	26,03 ± 3,03
VO_{2PICO} (L/min)	4,43 ± 0,45
W_{PICO} (W)	359,61 ± 22,92
Experiência com ciclismo (Anos)	7,56 ± 5,89
Rodagem (Km/semana)	310,59 ± 128,09

Fonte: Cayque Brietzke Barreto, 2019

** Os dados foram relatados como média ± DP.

5.1 Prova de princípio: efeitos da FM sobre a atividade do CPF, respostas psicológicas, desempenho cognitivo e desempenho físico em TIM

Como controle do estudo, comparamos as sessões CON e FM, para assegurar que a instalação da FM após o RVP poderia reduzir alterar a ativação cortical e respostas psicológicas, alterando o desempenho físico. Após a execução de 40 minutos de RVP houve aumento significativo na potência da banda θ no CPF ($t = -2,43$, $P = 0,03$, $d = 0,47$, ES = médio), um aumento de ~ 26,14 % que indica uma redução da atividade cortical em região pré-frontal. O resultado da atividade de CPF é descrito na figura 2.

Fonte: Cayque Brietzke Barreto, 2019.

Efeito principal do tempo

As respostas psicológicas medidas pré- e pós-RVP também foram alteradas como resultado da realização do teste cognitivo. A sensação de cansaço mental foi significativamente maior após o RVP ($21,5 \pm 24,26$ vs $39,17 \pm 22,90$, $t = -2,90$, $P = 0,01$, $d = 0,75$, ES = grande), enquanto a sensação de vigor medida pelo POMS foi menor ($17,76 \pm 4,19$ vs $16,29 \pm 4,63$, $t = 2,35$, $P = 0,03$, $d = 0,32$, ES = médio). De outro lado, Fadiga ($P = 0,48$) e DTH ($P = 0,76$) não foram significativamente alteradas. Além disso, o desempenho cognitivo (figura 3) foi significativamente reduzido durante o RVP, pois houve efeito principal do tempo sobre o tempo de reação ($F = 3,08$, $P = 0,04$, $d = 2,05$, ES = extremamente grande) e número de respostas corretas ($F = 3,95$, $P = 0,03$, $d = 0,70$, ES = grande), embora o número de falsos alarmes não tenha sido significativamente diferente ($P = 0,60$). Juntas, a redução da atividade do CPF, aumento da sensação de cansaço mental, redução de vigor e perda de desempenho cognitivo, indicam a instalação do estado de FM após o teste RVP.

Fonte: Cayque Brietzke Barreto, 2019.

Efeito principal do tempo

A) Tempo de reação durante o RVP

B) Falsos alarmes durante o RVP

C) Respostas precisas durante o RVP

De fato, como parte da prova de conceito, observamos que os ciclistas mentalmente fadigados tiveram o desempenho físico no TIM reduzido. Por exemplo, a W_{PICO} ($351,15 \pm 25,48$ vs $345,34 \pm 27,28$ W, $t = 3,60$, $P = 0,00$, $d = 0,22$, ES = médio) e o tempo até a exaustão ($842,58 \pm 61,20$ vs $829,37 \pm 65,33$ s, $t = 3,62$, $P = 0,00$, $d = 0,20$, ES = pequeno) foram significativamente menores na condição FM do que no CON. Em termos práticos, a FM reduziu a W_{PICO} em $\sim 1,68$ % e o tempo até a exaustão em $\sim 1,60$ % (figura 4).

Fonte: Cayque Brietzke Barreto, 2019.

A) Percentual de alteração da W_{PICO} dos ciclistas mentalmente fadigados em relação ao CON

B) Percentual de alteração do tempo de exaustão dos ciclistas mentalmente fadigados em relação ao CON

Como esperado, a comparação dos limiares ventilatórios entre CON vs FM revelou que potência mecânica e VO_2 foram maiores em LV2 do que em LV1, portanto a descrição dos efeitos fixos foi suprimida. Importante, efeitos de interação ($F = 6,88$, $P = 0,02$, $d = 0,87$, ES = grande) revelaram maior potência mecânica ($P = 0,02$) em LV2 na condição FM do que CON. Entretanto, nenhuma diferença foi observada quando LV1 e LV2 foram expressos em valores de VO_2 ($P = 0,23$ em LV1 e $P = 0,08$ em LV2). Além disso, quando expressos em valores relativos à W_{PICO} ou VO_{2PICO} , efeito significativo de interação foi observado na $\%W_{PICO}$ ($F = 7,41$, $P = 0,01$, $d = 0,91$, ES = grande) e $\%VO_{2PICO}$ ($F = 6,70$, $P = 0,02$, $d = 0,86$, ES = grande),

indicando que o LV2 ocorreu em maiores $\%W_{PICO}$ ($P = 0,00$) e $\%VO_{2PICO}$ ($P = 0,12$) em FM do que em CON. Em relação ao LV1, não houve diferença significativa entre CON e FM para $\%W_{PICO}$ ($P = 0,93$) e $\%VO_{2PICO}$ ($P = 0,32$).

5.2 Efeitos da fadiga mental sobre a atividade do CPF, respostas psicológicas e desempenho cognitivo.

Para quantificar a instalação da FM após o RVP nas seções com CHO e PLA, os mesmos procedimentos da prova de princípio foram tomados. Assim, também observamos um aumento da potência de ondas θ em ambas os bochechos com CHO ($43,01 \pm 57,24$ vs $57,24$, $t = -3,05$, $P = 0,01$, $d = 0,43$, ES = médio) e PLA ($34,56 \pm 17,29$ vs $53,70 \pm 31,06$, $t = -3,75$, $P = 0,00$, $d = 0,64$, ES = médio). A figura 5 representa a atividade cerebral do CPF antes e após o RVP nas três manipulações (FM, FM+PLA e FM+CHO). Além disso, a sensação de cansaço mental foi maior, enquanto vigor foi reduzido após o RVP em ambas as condições FM+PLA e FM+CHO. Os resultados das respostas psicológicas pré- e pós-RVP nas três manipulações estão demonstrados na tabela 2.

Fonte: Cayque Brietzke Barreto, 2019.
Efeito principal do tempo

Tabela 2 - Respostas psicológicas pré- pós-RVP

	Pré-RVP	Pós-RVP	P-valor	Cohens' d
Fadiga Mental (u.a.)				
FM	21,5 ± 24,26	39,17 ± 22,90	0,01	0,75
PLA	19,53 ± 18,99	47,06 ± 23,72	0,00	0,95
CHO	17,72 ± 22,80	40,28 ± 24,58	0,00	1,28
Fadiga (u.a.)				
FM	3,06 ± 2,77	3,41 ± 2,83	0,48	0,13
PLA	4,06 ± 4,12	4,06 ± 3,92	1,00	0,00
CHO	3,28 ± 3,25	3,33 ± 3,22	0,89	0,20
Vigor (u.a.)				
FM	17,76 ± 4,19	16,29 ± 4,63	0,03	0,32
PLA	18,33 ± 3,24	16,17 ± 4,63	0,03	0,82
CHO	17,17 ± 3,93	15,50 ± 5,32	0,03	0,32
DTH (u.a.)				
FM	104,06 ± 15,13	104,56 ± 12,90	0,76	0,03
PLA	99,24 ± 27,90	107,47 ± 15,71	0,31	0,01
CHO	103,47 ± 12,85	103,63 ± 12,75	0,89	0,14

Fonte: Cayque Brietzke Barreto, 2019

** Os dados foram relatados como média ± DP.

Da mesma maneira, o desempenho cognitivo foi alterado durante a execução do teste RVP, dado o efeito do tempo sobre o tempo de reação ($F = 5,225$, $P = 0,03$, $d = 0,76$, $ES =$ grande), embora nenhum efeito fixo das manipulações ($P = 0,58$) ou de interação entre tempo e manipulação ($P = 0,98$) tenha sido observado sobre esta variável. No entanto, o número de respostas corretas não demonstrou efeito significativo do tempo ($P = 0,12$), da manipulação ($P = 0,25$) ou de interação ($P = 0,98$) e, da mesma forma, o número de falsos alarmes também não foi significativamente diferente quanto ao tempo ($P = 0,66$), manipulação ($P = 0,06$), ou interação ($P = 0,48$). Os resultados de desempenho cognitivo estão apresentados na figura 6. Consideradas juntas as medidas em repouso, as alterações da atividade do CPF, sensação de

cansaço mental, vigor e desempenho cognitivo indicam que o teste RVP também induziu FM nos ciclistas nas sessões FM+PLA e FM+CHO.

Fonte: Cayque Brietzke Barreto, 2019.

Efeito principal do tempo

A) Tempo de reação durante o RVP

B) Falsos alarmes durante o RVP

C) Respostas precisas durante o RVP

5.3 Efeitos do bochecho com CHO e PLA sobre o desempenho físico de ciclistas mentalmente fadigados realizando TIM

Quando analisado o desempenho físico dos ciclistas, observamos efeito principal da manipulação ($F = 4,28,82$, $P = 0,02$, $d = 0,69$, $ES = \text{grande}$), demonstrando que o bochecho com CHO realizado durante o TIM foi capaz de aumentar a W_{PICO} quando comparado à FM+PLA ($P = 0,02$), mas não à FM ($P = 0,09$). Quando os dados de W_{PICO} nas sessões com bochecho foram expressos como percentual de alteração em relação à sessão FM, observamos que a melhora da W_{PICO} em FM+CHO foi significativamente maior do que em FM+PLA ($2,18 \pm 4,48$ vs $0,29 \pm 3,11$ %, $F = 7,55$, $P = 0,01$, $d = 0,94$, $ES = \text{grande}$). De forma geral, tais resultados sugerem que o bochecho com CHO pode atenuar a perda de desempenho físico causada pela FM, apesar da ausência de diferença significativa entre bochecho de FM+CHO e FM. Similar, quando comparados os valores absolutos de tempo até a exaustão, foi observado efeito principal da manipulação ($F = 4,74$, $P = 0,01$, $d = 0,72$, $ES = \text{grande}$), indicando maior tempo até a exaustão em FM+CHO do que em FM+PLA ($P = 0,03$), mas não em FM ($P = 0,05$). Igualmente, quando comparado o percentual de alteração do tempo de exaustão nas sessões com bochecho em relação à FM, observamos maior % de alteração do tempo de exaustão em FM+CHO do que FM+PLA ($2,01 \pm 4,14$ vs $0,20 \pm 3,02$ %, $P = 0,01$, $d = 0,91$, $ES = \text{grande}$). A figura 7 apresenta a alteração percentual de W_{PICO} e tempo até a exaustão.

Fonte: Cayque Brietzke Barreto, 2019.

- A) Percentual de alteração da W_{PICO} do PLA em relação à fadiga mental
- B) Percentual de alteração do tempo até a exaustão do PLA em relação à fadiga mental
- C) Percentual de alteração da W_{PICO} do CHO em relação à fadiga mental
- D) Percentual de alteração do tempo até a exaustão do CHO em relação à fadiga mental

Como esperado, quando comparado ao LV1, LV2 apresentou maiores valores de potência mecânica e VO_2 tanto em valores absolutos quanto relativos à W_{PICO} e VO_{2PICO} , desta forma esses resultados foram suprimidos desta seção. Além disso, efeitos de interação não foram observados para os valores absolutos de potência ($P = 0,95$) ou VO_2 ($P = 0,16$), tampouco para os valores % de W_{PICO} ($P = 0,43$) ou VO_2 ($P = 0,25$).

5.3 Efeitos do bochecho com CHO e PLA sobre a atividade do CPF e CMP de ciclistas mentalmente fadigados durante o TIM

Durante o TIM, a atividade do CPF demonstrou efeito principal do tempo ($F = 10,18$, $P = 0,00$, $d = 1,06$, ES = grande), da manipulação ($F = 13,44$, $P = 0,00$, $d = 1,22$, ES = muito grande) e interação tempo-manipulação ($F = 3,11$, $P = 0,01$, $d = 0,59$, ES = médio). Desta forma, as comparações múltiplas mostraram um aumento significativo da atividade do CPF na condição FM+CHO ($P = 0,00$) e FM+PLA ($P = 0,00$) em relação à condição FM. Além disso, as comparações múltiplas revelaram que tanto FM+CHO quanto FM+PLA elevaram mais a ativação do CPF durante TIM do que a condição FM. Assim, quando comparados à FM, a condição FM+CHO aumentou a atividade do CPF principalmente a 75% do TIM preliminar ($P = 0,01$), enquanto a manipulação FM+PLA aumentou a atividade do CPF em 25% ($P = 0,05$), 50 % ($P = 0,03$) e 75% ($P = 0,02$) do TIM preliminar. Interessante, as manipulações FM+CHO e FM+PLA não foram diferentes entre si.

Com resposta similar, a atividade cerebral do CMP demonstrou efeito principal do tempo ($F = 11,84$, $P = 0,00$, $d = 1,15$, ES = grande), da manipulação ($F = 9,03$, $P = 0,00$, $d = 1,00$, ES = grande) e de interação tempo-manipulação ($F = 6,10$, $P = 0,00$, $d = 0,82$, ES = grande). Desta forma, tanto FM+CHO ($P = 0,00$) quanto FM+PLA ($P = 0,01$) elevaram a ativação do CMP em relação à condição FM, especialmente em 25% ($P = 0,03$) e 75% ($P = 0,03$) na condição FM+CHO, e em 50% do TIM preliminar ($P = 0,03$) na condição FM+PLA (figura 8).

Fonte: Cayque Brietzke Barreto, 2019.

Efeito principal do tempo

* Efeito principal da manipulação

\$ Interação tempo-manipulação

A) Percentual de alteração da potência total (3 -50 Hz) em CPF

B) Percentual de alteração da potência total (3 -50 Hz) em CMP

5.3 Efeitos do bochecho com CHO e PLA sobre as respostas psicofisiológicas de ciclistas mentalmente fadigados durante o TIM

Das respostas psicológicas, apenas efeito principal do tempo foi observado na PSE ($F = 263,56$, $P = 0,00$, $d = 5,41$, ES = extremamente grande) e VAF ($F = 19,90$, $P = 0,00$, $d = 1,53$, ES = muito grande), uma vez que a resposta destas variáveis mudou ao longo do TIM. A figura

9 representa as variáveis psicológicas durante o TIM. Contudo, nenhuma das manipulações foi capaz de alterar a magnitude das respostas destas variáveis.

Fonte: Cayque Brietzke Barreto, 2019.

Efeito principal do tempo

A) Valência afetiva durante o TIM

B) Percepção subjetiva de esforço durante o TIM

O VO_2 aumentou ao longo do TIM (efeito do tempo; $F = 287,26$, $P = 0,00$, $d = 5,65$, ES = extremamente grande), sem diferença entre as manipulações ($P = 0,05$) ou interação manipulação-momento ($P = 0,29$). Similar, as respostas de VE e FC apenas demonstraram efeito principal do tempo ($F = 315,67$, $P = 0,00$, $d = 5,92$, ES = extremamente grande e $F = 400,01$, $P = 0,00$, $d = 6,86$, ES = extremamente grande). As respostas fisiológicas do TIM estão apresentadas na figura 10.

Fonte: Cayque Brietzke Barreto, 2019.

Efeito principal do tempo

A) Frequência cardíaca durante o TIM

B) Ventilação durante o TIM

C) Consumo de oxigênio durante o TIM

6 DISCUSSÃO

Tem sido sugerido que indivíduos mentalmente fadigados têm o desempenho físico reduzido em exercícios de *endurance* (VAN CUTSEM et al., 2017a), enquanto o bochecho com CHO tem sido tratado como potencial recurso para a melhora do desempenho, pois enquanto a

FM tem como provável mecanismo, a redução da atividade de regiões frontais do cérebro, o bochecho com CHO parece aumentar a atividade destas regiões (BRIETZKE et al., 2018; CHAMBERS; BRIDGE; JONES, 2009; VAN CUTSEM et al., 2017a). De acordo com a nossa hipótese, haveria um efeito positivo do bochecho com CHO sobre a atividade cerebral e respostas psicofisiológicas, com desfecho na melhora do desempenho físico, quando indivíduos mentalmente fadigados realizassem um TIM.

Os principais achados do estudo foram a melhora do desempenho físico dos ciclistas mentalmente fadigados na condição FM+CHO comparados à condição FM+PLA, mas não quando comparado à FM. Interessante, ambas as condições FM+CHO e FM+PLA demonstraram maior atividade de CPF e CMP durante o TIM do que em FM, possivelmente indicando efeito placebo do bochecho sobre a atividade cerebral, mas não sobre o desempenho físico. Quanto às respostas psicofisiológicas, não houve diferenças entre as manipulações.

6.1 Prova de princípio dos efeitos da FM.

Inicialmente, como prova de princípio do modelo teórico da FM e assegurar a efetividade da intervenção para indução da FM, investigamos os efeitos da FM sobre a atividade do CPF, respostas psicológicas e desempenho cognitivo em repouso após o RVP, assim como sobre o desempenho físico subsequente. Em linha com estudos anteriores, a FM aumentou a energia de banda θ em região de CPF, o que pode ser interpretado como redução da atividade cortical nessa região (ALVARENGA, 2018; KÄTHNER et al., 2014; PIRES et al., 2018a; WASCHER et al., 2014). Um possível mecanismo através do qual ocorre essa redução da atividade cerebral é o aumento nas concentrações de adenosina no tecido cerebral, devido à sobrecarga cognitiva. Consequentemente, há aumento da hidrólise de ATP e possível aumento nas concentrações de adenosina cerebral, com provável ação inibitória em tecidos como o tecido cerebral (DUNWIDDIE; MASINO, 2001; LATINI; PEDATA, 2001; VAN CUTSEM et al., 2017a).

Além disso, similar a estudos anteriores, após o RVP os ciclistas perceberam maior sensação de cansaço mental e redução do vigor, além da piora do desempenho cognitivo indicado pelo aumento do tempo de reação durante a tarefa cognitiva (ALVARENGA, 2018; AZEVEDO et al., 2016; PIRES et al., 2018a), resultados que podem estar associados à menor atividade de CPF quando da instalação da FM. O principal mecanismo sugerido para a perda do desempenho físico de sujeitos mentalmente fadigados ainda merece maiores

esclarecimentos, no entanto, é possível que esta redução da atividade do CPF possa estar envolvida, uma vez que essa região cortical está associada à tolerância ao esforço, interpretação de respostas interoceptivas e planejamento da atividade motora (MEEUSEN et al., 2016; PIRES et al., 2018a; ROBERTSON; MARINO, 2016; VAN CUTSEM et al., 2017a). Desta forma, a redução de atividade no CPF seria uma das possíveis vias de redução no desempenho físico sob FM.

De outro lado, vale destacar que o aumento da PSE durante exercício sob FM tem sido sugerido como uma provável causa da perda de desempenho nesta condição (MARCORA; STAIANO; MANNING, 2009; VAN CUTSEM et al., 2017a). Neste caso, a redução da atividade do CPF sob FM também poderia estar associada ao aumento da PSE durante exercício subsequente. De fato, além de tal redução da atividade do CPF e piora do estado psicológico e cognitivo após o RVP, os ciclistas tiveram o desempenho físico reduzido em comparação à condição CON. Desta forma, tomados em conjunto, estes resultados fazem forte sugestão de que o protocolo RVP induziu FM nos ciclistas, o qual impactou o teste físico, reduzindo o W_{PICO} em TIM.

6.2 Efeito da FM na atividade do CPF, respostas psicológicas e desempenho cognitivo nas sessões com bochecho de CHO e PLA

Não apenas na sessão de FM, mas também nas sessões FM+ CHO e FM+PLA, o teste RVP foi capaz de induzir FM nos ciclistas. Similar à prova de princípios do presente estudo, em todas as condições experimentais observamos um aumento da potência de ondas θ no CPF, sugerindo que após o RVP os ciclistas tinham menor atividade elétrica no CPF, uma reposta eletrofisiológica característica da instalação da FM (KÄTHNER et al., 2014; PIRES et al., 2018a; WASCHER et al., 2014). Em teoria, atividades de alta demanda cognitiva como tarefas de controle inibitório e atenção sustentada podem aumentar a concentração de adenosina cerebral (neurotransmissor inibitório do SNC), resultando assim, na redução da atividade tecidual (DUNWIDDIE; MASINO, 2001; VAN CUTSEM et al., 2017a). Além disso, para averiguar que os ciclistas estavam sob FM antes de iniciar o TIM, avaliamos a percepção de cansaço mental e vigor e, similar à fase de prova de princípios, verificamos que estas sensações estavam pioradas após o teste RVP. Similar aos estudos de Pires et al. (2018a) e de Azevedo et al. (2016), a sensação de cansaço mental foi maior após o RVP, enquanto a percepção de vigor e o desempenho cognitivo foram reduzidos. Sobre o desempenho cognitivo, nossos resultados

indicaram piora, evidenciado pelo aumento do tempo de reação nas três sessões experimentais. De fato, tarefas de atenção sustentada que induzem FM levam à piora do tempo de reação (GUO et al., 2016, 2018).

Diferente de alguns estudos que utilizaram manipulações com o potencial de reverter os efeitos da FM antes ou durante a execução do teste cognitivo, tais como a ingestão de cafeína (CAF) (ALVARENGA, 2018; AZEVEDO et al., 2016) ou o bochecho com CAF+CHO (VAN CUTSEM et al., 2017b), no presente estudo os ciclistas apenas fizeram o bochecho com CHO após a indução de FM, imediatamente antes de iniciar o TIM. Neste caso, é importante enfatizar que possivelmente a ingestão (ALVARENGA, 2018; AZEVEDO et al., 2016) ou o bochecho de CAF+CHO (VAN CUTSEM et al., 2017b) antes, ou durante o protocolo de FM, poderia interferir nos resultados do teste cognitivo e suas respostas fisiológicas associadas (i.e. EEG), uma vez que tais manipulações têm efeito em direção contrária à fadiga mental em respostas cerebrais (AZEVEDO et al., 2016; DAVIS et al., 2003; POMPORTES et al., 2017; VAN CUTSEM et al., 2017b). De fato, Van Cutsem et al. (2017b) observaram que realizar bochecho de CAF-CHO antes e durante uma tarefa de FM reduziu os efeitos da FM sobre a percepção de cansaço mental, desempenho cognitivo e preveniu alteração eletrofisiológica cerebral medida por meio de EEG.

Portanto, juntas, as respostas de EEG, perceptivas e de desempenho cognitivo confirmam que em todas as condições experimentais do presente estudo, os ciclistas iniciaram o TIM mentalmente fadigados.

6.3 Efeito do bochecho com CHO e PLA sobre o desempenho físico de ciclistas mentalmente fadigados durante TIM

Os efeitos do bochecho com CHO sobre o desempenho físico de indivíduos mentalmente fadigados eram, até hoje, inexplorados. Nossos resultados demonstraram que os ciclistas na condição FM+CHO tiveram o desempenho físico, expresso como W_{PICO} ou tempo de exaustão, significativamente melhor do que na condição FM+PLA. Embora o desempenho na condição FM+CHO não tenha sido significativamente maior do que na condição FM, houve um aumento de 2,18 % e 2,01% em relação à condição FM, respectivamente, com valores limítrofes de significância ($p= 0,09$ e $p= 0,05$, respectivamente). Interessante, a magnitude do aumento do desempenho na condição FM+CHO foi superior à magnitude de perda de desempenho ocasionada pela FM, tanto na W_{PICO} e tempo de exaustão ($\sim \downarrow 1,68$ % e $\downarrow 1,60$ %, respectivamente). Inclusive, tal aumento na W_{PICO} e tempo de exaustão em FM+CHO fez com

que os ciclistas se aproximassem do desempenho alcançado na condição sem FM (i.e. CON). Do ponto de vista estatístico, é possível que a maior variância dos dados durante a sessão FM esteja relacionada à ausência de diferença significativa em relação à FM+CHO. Embora o estudo tenha sido controlado (i.e. característica dos ciclistas, equipamentos utilizados, ambiente etc), utilizando procedimentos padronizados após a realização de estudos-piloto, houve uma variância 38,9% maior na condição FM quando comparado à condição FM-CHO.

Mesmo com a ausência de significância estatística nas comparações envolvendo FM e FM+CHO, nossos achados vão na direção da sugestão de que o bochecho com CHO, enquanto suplementação com ação central, pode atenuar o efeito depressor da FM sobre o desempenho físico. Embora não houvesse estudos desenhados para investigar tais efeitos, já foi demonstrado que a ingestão de cafeína, suplemento com ação central, é capaz de reverter a perda de desempenho induzida pela FM (ALVARENGA, 2018; AZEVEDO et al., 2016). Com uma manipulação mais próxima à utilizada em nosso estudo, Van Cutsem et al. (2017b) observaram que a realização de seguidos bochechos com CAF-CHO foi capaz de atenuar a perda do desempenho cognitivo e o aumento na sensação de cansaço mental, além de prevenir a diminuição da amplitude P2 do EEG em região do CPF e córtex orbitofrontal (maior pico positivo no intervalo de 80 e 260 ms, que pode ser traduzida como redução da atividade cerebral). De acordo com a hipótese de ação central, a presença do CHO na cavidade oral é identificada pelo SNC por meio receptores gustatórios, os quais possuem projeções a áreas cerebrais que formam o circuito de recompensa como, por exemplo, área tegumentar ventral, córtex cingulado anterior, córtex orbito-frontal e CPF, resultando em aumento da atividade cerebral destas regiões (CHAMBERS; BRIDGE; JONES, 2009; TURNER et al., 2014). Neste caso, assumindo que algumas destas regiões possuem projeções ao CMP (i.e CPF) (FUSTER, 2001; ROBERTSON; MARINO, 2016), uma hipótese possível é que o aumento da atividade cerebral em regiões do circuito de recompensa tenha, como desfecho, um aumento da ativação de regiões executoras, como o CMP. Consequentemente, seria razoável esperar que, possivelmente, esse aumento de ~ 2 % do desempenho físico (W_{PICO} e tempo até a exaustão) com bochecho de CHO em relação à condição FM (não significativa) e PLA (significante) tenha sido devido à potencial ação central do bochecho com CHO.

Tradicionalmente, estudos que investigam o efeito de manipulações ergogênicas utilizam uma condição PLA como único controle da manipulação estudada (BEEDIE et al., 2018). No presente estudo, em um desenho de maior robustez, utilizamos um desenho com duplo controle, pois além do PLA (percebido como CHO), utilizamos uma condição com FM sem

suplementação (i.e. “controle puro”). Implicações sobre o uso de condição PLA percebido com a substância ativa são discutidas adiante.

6.4 Efeito do bochecho com CHO e PLA sobre a atividade do CPF e CMP de ciclistas mentalmente fadigados durante TIM

Nosso estudo foi o primeiro a investigar a ativação cerebral de ciclistas sob o estado de FM durante TIM executado com o uso do bochecho com CHO. Em repouso, já foi demonstrado através de ressonância magnética funcional, uma maior atividade cerebral em regiões frontais envolvidas com planejamento e desempenho motor quando da utilização do bochecho com CHO (CHAMBERS; BRIDGE; JONES, 2009; TURNER et al., 2014). A principal sugestão é que o bochecho com CHO aumente a atividade de estruturas corticais frontais relacionadas ao circuito de recompensa, tais como córtex cingulado anterior, córtex orbito-frontal e CPF, tendo este último, projeções ao córtex frontal e CMP (CHAMBERS; BRIDGE; JONES, 2009; FUSTER, 2001; TURNER et al., 2014). Importante, Chambers et al. (2009) ainda observaram que a sacarina (utilizada como PLA) aumentava a atividade cerebral no CPF de forma comparável à glicose. Nossos dados de EEG durante o TIM corroboram os achados de Chambers et al. (2009), pois encontramos maior atividade do CPF quando os ciclistas realizavam bochecho com CHO ou com PLA. Em relação ao CHO, a sugestão é de que a presença da substância na cavidade oral inicie uma cascata de eventos a partir da sinalização de receptores gustatórios (principalmente os T1R2 e T1R3), os quais transmitem as propriedades químicas e de quantidade da substância para o tronco cerebral, com desfecho no tálamo, hipotálamo e regiões frontais do cérebro (DE ARAUJO et al., 2009).

Em relação à maior ativação cortical com o bochecho de PLA, duas são as considerações que merecem destaque. Primeiro, ao invés de sacarina, utilizamos acessulfame K no presente estudo e, portanto, a maior ativação cortical observada na condição FM+PLA não pode ser explicada com base nos resultados de Chambers et al. (2009) sobre o uso de sacarina. Em segundo lugar, utilizamos um desenho do estudo com a utilização de PLA percebido como CHO. Desta forma, similar ao estudo recente de Pires et al. (2018c), é possível que a maior ativação cerebral de CPF tenha ocorrido pela crença dos ciclistas em estarem utilizando uma substância ativa para potencializar o desempenho físico. A literatura em neurociência tem demonstrado que a expectativa em ingerir uma substância ativa leve a respostas cerebrais na mesma direção das respostas da substância ativa (LIU, 2017; WAGER et al., 2004, 2011). De fato, Pires et al. (2018c) observaram que em um TIM a oxigenação de CPF foi aumentada até ~

80% do teste, com comportamento similar entre a substância ativa (CAF) e o PLA percebido como substância ativa.

Um outro resultado importante foi a resposta cerebral durante TIM. Estudos têm reportado aumento da atividade cerebral medida no CPF até ~ 80% de um TIM, quando após este ponto, há redução até o final do teste (PIRES et al., 2016; RACINAIS; BUCHHEIT; GIRARD, 2014; ROBERTSON; MARINO, 2015). Tal resposta ocorre devido à hipocapnia induzida pelo exercício a partir de ~ 80% de um TIM, induzindo vasoconstrição e desoxigenação do CPF (RACINAIS; BUCHHEIT; GIRARD, 2014). Nossos resultados tiveram direção similar quanto à ativação de CPF, com aumento progressivo desde o aquecimento até ~ 75% do TIM preliminar. Ainda, a ativação do CMP teve comportamento similar ao CPF, com aumento progressivo até ~ 75% do TIM. Resultados similares foram encontrados por Robertson et al. (2015) e estão possivelmente relacionados à conexão entre CPF córtex executivo (FUSTER, 2001; MILLER, 2000; RIDDERINKHOF et al., 2004), com o CPF exercendo função de regulação do CMP (CRAIG, 2002; MEEUSEN et al., 2016; ROBERTSON; MARINO, 2016).

6.5 Efeito do bochecho com CHO e PLA sobre as respostas psicofisiológicas de ciclistas mentalmente fadigados durante TIM

Tem sido tradicionalmente sugerido que a perda de desempenho físico em indivíduos mentalmente fadigados pode estar associada à uma piora da resposta de PSE, sem alterar respostas fisiológicas como VO_2 e FC (ALVARENGA, 2018; MARCORA; STAIANO; MANNING, 2009; VAN CUTSEM et al., 2017a). Noossos resultados apontaram respostas similares entre as condições FM, FM+CHO e FM+PLA, tanto em variáveis psicológicas como valência afetiva, como nas fisiológicas como VO_2 , VE e FC. Entretanto, respostas da PSE foram idênticas entre as condições. Em um estudo sobre os efeitos da FM e desempenho de *endurance*, Marcora et al. (2009) observaram que indivíduos mentalmente fadigados tinham menor tempo até a exaustão e maior PSE em um teste retangular à 80% da W_{PICO} , embora as variáveis fisiológicas como VO_2 , FC e VE tenham permanecido inalteradas. Em nosso estudo, curiosamente, ainda que os ciclistas tenham tido redução do desempenho físico na manipulação FM, a PSE não foi diferente entre as manipulações. De certa forma, nossos resultados reforçam esta premissa, pois quando compara à condição FM+CHO, observamos que os ciclistas mentalmente fadigados exerceram menor “*output motor*” (i.e desempenho físico) para a mesma PSE.

Similar à resposta da PSE, nenhuma diferença entre as manipulações foi encontrada para a valência afetiva. De acordo com a literatura, o aumento da intensidade do exercício deve resultar em piora das respostas afetivas (entre 0 e -5) (LADWIG; HARTMAN; EKKEKAKIS, 2017; VASCONCELOS et al., 2019). Recentemente, Vasconcelos et al. (2019) sugeriram um limiar de afeto coincidente com os limiares fisiológicos identificados durante TIM. Brevemente, os autores sugerem que em intensidades acima do LV2, caracterizadas por um aumento relevante do distúrbio metabólico (i.e. aumento da atividade simpática, acidez metabólica e redução de O₂ cerebral e muscular) (OSAWA et al., 2011; RACINAIS; BUCHHEIT; GIRARD, 2014; SALES et al., 2017) há uma mudança nas respostas afetivas, com um aumento na valência afetiva negativa (entre 0 e 5) (VASCONCELOS et al., 2019). A sugestão é que o aumento da vasoconstrição cerebral e redução de oxigenação cerebral a partir de LV2 (efeito da hipocapnia) diminua a função supressora que o CPF tem sobre a atividade da amígdala, uma estrutura cerebral ligada a sensações primitivas como medo, raiva e prazer (EKKEKAKIS, 2009; MILLER; COHEN, 2001).

Sobre as respostas fisiológicas, nossos resultados vão em direção similar a estudos anteriores, pois nem a manipulação com FM, nem a manipulação com bochecho de CHO foi capaz de alterar as respostas que as variáveis fisiológicas apresentaram ao longo do tempo (MARCORA; STAIANO; MANNING, 2009; SILVA-CAVALCANTE et al., 2018).

6.6 Limitações e aspectos metodológicos

No presente estudo, utilizamos um desenho robusto, com presença de duplo-controle, uma condição PLA e um condição sem manipulação (bochecho). A presença de desenho experimental com duplo-controle é pouco comum nas ciências do exercício. Neste sentido, a utilização de substância PLA percebida como a substância ativa tem sido recentemente sugerida como um controle mais adequado em estudos com suplementação dietética (BEEDIE et al., 2018; BRIETZKE et al., 2017a; FOAD; BEEDIE; COLEMAN, 2008; PIRES et al., 2018c), pois permite investigar os reais efeitos da suplementação manipulada com controle dos efeitos psicológicos da crença na substância (FOAD; BEEDIE; COLEMAN, 2008). De fato, algumas substâncias (i.e. cafeína) parecem, de certo modo, ter efeito placebo sobre o desempenho de ciclismo (BEEDIE et al., 2006; BRIETZKE et al., 2017b; FOAD; BEEDIE; COLEMAN, 2008; PIRES et al., 2018c) e atividade cerebral (PIRES et al., 2018c) devido, principalmente, à expectativa de ingerir uma substância ativa e à crença no potencial da substância em melhorar

o desempenho. No entanto, até hoje, nenhum estudo com bochecho de CHO havia sido realizado tendo como controle, o PLA percebido como CHO.

Embora tenhamos utilizado rigor no controle da validade interna do estudo (i.e. característica dos ciclistas, equipamentos utilizados, ambiente etc.), alguns aspectos metodológicos podem ser destacados:

1) É crescente o interesse em se investigar a atividade cerebral durante o exercício (BRÜMMER et al., 2011a, 2011b; PIRES et al., 2018c), uma vez que estudos têm demonstrado que a ativação de importantes regiões cerebrais responde de maneira diferente em diferentes modelos de exercício (BRÜMMER et al., 2011b; PIRES et al., 2016), e tem sido associada às respostas perceptivas e de desempenho físico (PIRES et al., 2018c; ROBERTSON; MARINO, 2015, 2016). Nesse sentido, embora tenhamos obtido sinal de EEG com qualidade razoável durante exercício, não analisamos o sinal de EEG em nenhuma das derivações medidas em intensidade acima dos 75 % do TIM preliminar, pois a presença de artefatos originados pela excessiva movimentação de cabeça e tronco em altas intensidades poderiam limitar a qualidade do sinal (THOMPSON et al., 2008). Além disso, nenhum bochecho foi realizado em intensidades maiores que 75% do TIM preliminar.

2) Utilizamos um TIM para testar as intervenções propostas, pois ambas as manipulações realizadas no presente estudo (i.e. FM e bochecho com CHO) respondem diferentemente de acordo com a intensidade do exercício (BASTOS-SILVA et al., 2016; DUNCAN et al., 2015). Considerando que a manipulação com bochecho com CHO parece ter efeito imediato e pontual (GANT; STINEAR; BYBLOW, 2010), e que a maioria dos estudos realizou o bochecho com CHO a intervalos regulares de ~ 12,5% do exercício (CARTER; JEUKENDRUP; JONES, 2004; CHAMBERS; BRIDGE; JONES, 2009), desenhamos um modelo de TIM em que fosse possível a realização de bochechos ao longo do teste (a cada 25 % do TIM preliminar). Desta forma, a análise de trocas gasosas, uma medida tradicionalmente realizada neste tipo de teste para identificação dos limiares ventilatórios (PIRES et al., 2008, 2011; WESTON et al., 2002) pode ter sido prejudicada pela necessidade de retirada da máscara, impactando assim, na identificação dos limiares ventilatórios. Portanto, o controle necessário para a realização desse estudo reduz a capacidade de aplicação destes resultados a ambientes práticos.

7 CONCLUSÃO

Em conclusão, nosso estudo foi o primeiro a demonstrar que ciclistas mentalmente fadigados têm o desempenho piorado em TIM. Além disso, embora o bochecho com CHO e

PLA percebido como CHO tenham aumentado a atividade cortical no CPF e CMP durante o TIM de maneira similar, apenas o bochecho com CHO atenuou a redução do desempenho físico nos ciclistas mentalmente fadigados.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, P. E. F. **Efeitos da ingestão de cafeína sobre o desempenho de ciclistas mentalmente fadigados durante um teste de ciclismo contrarrelógio de 20km.** [s.l.]

Universidade de São Paulo, 2018.

ATAIDE-SILVA, T. et al. Cho Mouth Rinse Ameliorates Neuromuscular Response with Lower Endogenous Cho Stores. **Medicine &**, v. 48, n. 9, p. 1810–1820, 1 set. 2016.

AZEVEDO, R. et al. Effects of caffeine ingestion on endurance performance in mentally fatigued individuals. **European Journal of Applied Physiology**, v. 116, n. 11–12, p. 2293–2303, dez. 2016.

BARWICK, F.; ARNETT, P.; SLOBOUNOV, S. EEG correlates of fatigue during administration of a neuropsychological test battery. **Clin Neurophysiol**, v. 123, n. 2, p. 278–284, 2012.

BASTOS-SILVA, V. J. et al. Carbohydrate Mouth Rinse Maintains Muscle Electromyographic Activity and Increases Time to Exhaustion during Moderate but not High-Intensity Cycling Exercise. **Nutrients**, v. 8, n. 3, 2016.

BEEDIE, C. et al. Consensus statement on placebo effects in sports and exercise: The need for conceptual clarity, methodological rigour, and the elucidation of neurobiological mechanisms. **European Journal of Sport Science**, v. 18, n. 10, p. 1383–1389, 26 nov. 2018.

BEEDIE, C. J. et al. Placebo effects of caffeine on cycling performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 38, n. 12, p. 2159–2164, 2006.

BEELEN, M. et al. Carbohydrate mouth rinsing in the fed state: lack of enhancement of time-trial performance. **Int J Sport Nutr Exerc Metab**, v. 19, n. 4, p. 400–409, ago. 2009.

BOKSEM, M. A.; TOPS, M. Mental fatigue: costs and benefits. **Brain Res Rev**, v. 59, n. 1, p. 125–139, 2008.

- BORG, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Med Sci Sports Exerc**, v. 14, n. 5, p. 377–381, 1982.
- BRIETZKE, C. et al. Caffeine effects on VO₂max test outcomes investigated by a placebo perceived-as-caffeine design. **Nutrition and health**, v. 23, n. 4, p. 231–238, dez. 2017a.
- BRIETZKE, C. et al. Caffeine effects on VO₂max test outcomes investigated by a placebo perceived-as-caffeine design. **Nutrition and Health**, v. 23, n. 4, p. 231–238, 7 dez. 2017b.
- BRIETZKE, C. et al. Effects of Carbohydrate Mouth Rinse on Cycling Time Trial Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis. **Sports Medicine**, 2018.
- BRÜMMER, V. et al. Primary motor cortex activity is elevated with incremental exercise intensity. **Neuroscience**, v. 181, p. 150–162, 5 maio 2011a.
- BRÜMMER, V. et al. Brain Cortical Activity Is Influenced by Exercise Mode and Intensity. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 43, n. 10, p. 1863–1872, out. 2011b.
- CARTER, J. M.; JEUKENDRUP, A. E.; JONES, D. A. The effect of carbohydrate mouth rinse on 1-h cycle time trial performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 36, n. 12, p. 2107–2111, 2004.
- CHAMBERS, E. S.; BRIDGE, M. W.; JONES, D. A. Carbohydrate sensing in the human mouth: effects on exercise performance and brain activity. **J Physiol**, v. 587, n. Pt 8, p. 1779–1794, 2009.
- CLARK, V. R. et al. Placebo effect of carbohydrate feedings during a 40-km cycling time trial. **Med Sci Sports Exerc**, v. 32, n. 9, p. 1642–1647, 2000.
- CRAIG, A. D. How do you feel? Interoception: the sense of the physiological condition of the body. **Nature reviews. Neuroscience**, v. 3, n. 8, p. 655–66, ago. 2002.
- DAVIS, J. M. et al. Central nervous system effects of caffeine and adenosine on fatigue. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v. 284, n. 2, p. R399–404, 2003.
- DE ARAUJO, I. E. et al. The gustatory cortex and multisensory integration. **Int J Obes (Lond)**, v. 33 Suppl 2, n. S2, p. S34–43, 2009.
- DE ARAUJO, I. E. T. et al. Human Cortical Responses to Water in the Mouth, and the Effects of Thirst. **Journal of Neurophysiology**, v. 90, n. 3, p. 1865–1876, set. 2003.
- DE PAUW, K. et al. Guidelines to classify subject groups in sport-science research. **Int J**

Sports Physiol Perform, v. 8, n. 2, p. 111–122, mar. 2013.

DOMOTOR, Z.; SZEMERSZKY, R.; KOTELES, F. Subjective and objective effects of coffee consumption - caffeine or expectations? **Acta physiologica Hungarica**, v. 102, n. 1, p. 77–85, mar. 2015.

DUNCAN, M. J. et al. Mental Fatigue Negatively Influences Manual Dexterity and Anticipation Timing but not Repeated High-intensity Exercise Performance in Trained Adults. **Research in Sports Medicine**, v. 23, n. 1, p. 1–13, 2 jan. 2015.

DUNWIDDIE, T. V.; MASINO, S. A. The role and regulation of adenosine in the central nervous system. **Annual review of neuroscience**, v. 24, n. 1, p. 31–55, mar. 2001.

E SILVA, T. A. et al. Can carbohydrate mouth rinse improve performance during exercise? A systematic review. **Nutrients**, v. 6, n. 1, p. 1–10, dez. 2013.

EKKEKAKIS, P. Illuminating the black box: investigating prefrontal cortical hemodynamics during exercise with near-infrared spectroscopy. **Journal of sport & exercise psychology**, v. 31, n. 4, p. 505–53, ago. 2009.

FOAD, A. J.; BEEDIE, C. J.; COLEMAN, D. A. Pharmacological and psychological effects of caffeine ingestion in 40-km cycling performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 40, n. 1, p. 158–165, 2008.

FRAGA, C. et al. Carbohydrate mouth rinse enhances time to exhaustion during treadmill exercise. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, v. 37, n. 1, p. n/a-n/a, jan. 2015.

FUSTER, J. M. The prefrontal cortex--an update: time is of the essence. **Neuron**, v. 30, n. 2, p. 319–33, maio 2001.

GAM, S.; GUELFI, K. J.; FOURNIER, P. A. Opposition of carbohydrate in a mouth-rinse solution to the detrimental effect of mouth rinsing during cycling time trials. **Int J Sport Nutr Exerc Metab**, v. 23, n. 1, p. 48–56, fev. 2013.

GANT, N.; STINEAR, C. M.; BYBLOW, W. D. Carbohydrate in the mouth immediately facilitates motor output. **Brain Research**, v. 1350, p. 151–158, 2010.

GUO, M. et al. Research on the Relationship between Reaction Ability and Mental State for Online Assessment of Driving Fatigue. **International journal of environmental research and public health**, v. 13, n. 12, 2016.

- GUO, Z. et al. The impairing effects of mental fatigue on response inhibition: An ERP study. **PLOS ONE**, v. 13, n. 6, p. e0198206, 1 jun. 2018.
- HILTI, C. C. et al. Evidence for a cognitive control network for goal-directed attention in simple sustained attention. **Brain Cogn**, v. 81, n. 2, p. 193–202, mar. 2013.
- HOPKINS, W. G. Measures of reliability in sports medicine and science. **Sports medicine (Auckland, N.Z.)**, v. 30, n. 1, p. 1–15, jul. 2000.
- HOPKINS, W. G. et al. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. **Med Sci Sports Exerc**, v. 41, n. 1, p. 3–13, 2009.
- HSU, B. W. et al. EFFECTIVE INDICES FOR MONITORING MENTAL WORKLOAD WHILE PERFORMING MULTIPLE TASKS. **Percept Mot Skills**, 2015.
- ISHII, A.; TANAKA, M.; WATANABE, Y. The neural substrates of self-evaluation of mental fatigue: a magnetoencephalography study. **PloS one**, v. 9, n. 4, p. e95763, 2014a.
- ISHII, A.; TANAKA, M.; WATANABE, Y. Neural mechanisms of mental fatigue. **Rev Neurosci**, v. 25, n. 4, p. 469–479, 13 jan. 2014b.
- JEUKENDRUP, A. E.; ROLLO, I.; CARTER, J. M. Carbohydrate mouth rinse: performance effects and mechanisms. **Sports Sci Exchange**, v. 26, p. 1–8, 2013.
- KÄTHNER, I. et al. Effects of mental workload and fatigue on the P300, alpha and theta band power during operation of an ERP (P300) brain-computer interface. **Biol Psychol**, v. 102, p. 118–129, 2014.
- KIRSCH, I.; WEIXEL, L. J. Double-blind versus deceptive administration of a placebo. **Behavioral neuroscience**, v. 102, n. 2, p. 319–323, abr. 1988.
- KULAKSIZ, T. N. et al. Mouth Rinsing with Maltodextrin Solutions Fails to Improve Time Trial Endurance Cycling Performance in Recreational Athletes. **Nutrients**, v. 8, n. 5, p. 2–15, maio 2016.
- LADWIG, M. A.; HARTMAN, M. E.; EKKEKAKIS, P. AFFECT-BASED EXERCISE PRESCRIPTION: An Idea Whose Time Has Come? **ACSM's Health & Fitness Journal**, v. 21, n. 5, 2017.
- LANE, S. C. et al. Effect of a carbohydrate mouth rinse on simulated cycling time-trial performance commenced in a fed or fasted state. **Applied Physiology, Nutrition, and**

Metabolism, v. 38, n. 2, p. 134–139, 2013a.

LANE, S. C. et al. Effect of a carbohydrate mouth rinse on simulated cycling time-trial performance commenced in a fed or fasted state. **Appl Physiol Nutr Metab**, v. 38, n. 2, p. 134–139, 2013b.

LATINI, S.; PEDATA, F. Adenosine in the central nervous system: release mechanisms and extracellular concentrations. **Journal of neurochemistry**, v. 79, n. 3, p. 463–484, nov. 2001.

LIU, T. Route of placebo administration: Robust placebo effects in laboratory and clinical settings. **Neuroscience and biobehavioral reviews**, v. 83, p. 451–457, dez. 2017.

LOPES E SILVA, F. **Efeitos de uma tarefa mental sobre o desempenho e as respostas psicofisiológicas em diferentes modelos de exercício**. [s.l.] Universidade Católica de Brasília, 2014.

LORIST, M. M.; BOKSEM, M. A. S.; RIDDERINKHOF, K. R. Impaired cognitive control and reduced cingulate activity during mental fatigue. **Brain research. Cognitive brain research**, v. 24, n. 2, p. 199–205, jul. 2005.

LOVATT, D. et al. Neuronal adenosine release, and not astrocytic ATP release, mediates feedback inhibition of excitatory activity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 16, p. 6265–6270, abr. 2012.

LUDEN, N. D. et al. Carbohydrate mouth rinsing enhances high intensity time trial performance following prolonged cycling. **Nutrients**, v. 8, n. 9, p. 7–9, 2016.

MARCORA, S. M.; STAIANO, W.; MANNING, V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. **J Appl Physiol (1985)**, v. 106, n. 3, p. 857–864, 2009.

MEEUSEN, R. et al. Commentaries on Viewpoint: A role for the prefrontal cortex in exercise tolerance and terminationCommentaries on Viewpoint: A role for the prefrontal cortex in exercise tolerance and terminationCommentaries on Viewpoint: A role for the prefrontal cortex i. **Journal of Applied Physiology**, v. 120, n. 4, p. 467–469, 2016.

MILLER, E. K. The prefrontal cortex and cognitive control. **Nature reviews. Neuroscience**, v. 1, n. 1, p. 59–65, 1 out. 2000.

MILLER, E. K.; COHEN, J. D. An integrative theory of prefrontal cortex function. **Annu Rev Neurosci**, v. 24, p. 167–202, 2001.

O'DOHERTY, J. et al. Representation of Pleasant and Aversive Taste in the Human Brain. **Journal of Neurophysiology**, v. 85, n. 3, p. 1315–1321, mar. 2001.

OSAWA, T. et al. Attenuation of Muscle Deoxygenation Precedes EMG Threshold in Normoxia and Hypoxia. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 43, n. 8, p. 1406–1413, ago. 2011.

PAGEAUX, B. et al. Response inhibition impairs subsequent self-paced endurance performance. **Eur J Appl Physiol**, v. 114, n. 5, p. 1095–1105, maio 2014.

PEART, D. J. Quantifying the Effect of Carbohydrate Mouth Rinsing on Exercise Performance. **Journal of Strength and Conditioning Research**, p. 1, 2017.

PIRES, F. O. et al. Ventilation Behavior in Trained and Untrained Men During Incremental Test: Evidence of one Metabolic Transition Point. **Journal of sports science & medicine**, v. 7, n. 3, p. 335–43, 2008.

PIRES, F. O. et al. Ventilation behavior During upper-body incremental exercise. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 1, p. 225–230, jan. 2011.

PIRES, F. O. et al. Cerebral Regulation in Different Maximal Aerobic Exercise Modes. **Front Physiol**, v. 7, p. 253, 2016.

PIRES, F. O. et al. **Mental Fatigue Alters Cortical Activation and Psychological Responses, Impairing Performance in a Distance-Based Cycling Trial** **Frontiers in Physiology** , 2018a. Disponível em:

<<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fphys.2018.00227>>

PIRES, F. O. et al. Carbohydrate Mouth Rinse Fails to Improve Four-Kilometer Cycling Time Trial Performance. **Nutrients**, v. 10, n. 3, p. 342, 12 mar. 2018b.

PIRES, F. O. et al. Caffeine and Placebo Improved Maximal Exercise Performance Despite Unchanged Motor Cortex Activation and Greater Prefrontal Cortex Deoxygenation. **Frontiers in Physiology**, v. 9, p. 1144, 17 ago. 2018c.

PIVIK, R. T. et al. Guidelines for the recording and quantitative analysis of electroencephalographic activity in research contexts. **Psychophysiology**, v. 30, n. 6, p. 547–558, nov. 1993.

POMPORTES, L. et al. Cognitive Performance Enhancement Induced by Caffeine,

Carbohydrate and Guarana Mouth Rinsing during Submaximal Exercise. **Nutrients**, v. 9, n. 6, jun. 2017.

QI, G. et al. Adenosine Differentially Modulates Synaptic Transmission of Excitatory and Inhibitory Microcircuits in Layer 4 of Rat Barrel Cortex. **Cerebral Cortex**, v. 27, n. Halassa 2011, p. 1–12, set. 2016.

RACINAIS, S.; BUCHHEIT, M.; GIRARD, O. Breakpoints in ventilation, cerebral and muscle oxygenation, and muscle activity during an incremental cycling exercise. **Frontiers in Physiology**, v. 5, p. 142, 11 abr. 2014.

RICCI, J. A. et al. Fatigue in the U.S. workforce: prevalence and implications for lost productive work time. **Journal of occupational and environmental medicine**, v. 49, n. 1, p. 1–10, jan. 2007.

RIDDERINKHOF, K. R. et al. Neurocognitive mechanisms of cognitive control: The role of prefrontal cortex in action selection, response inhibition, performance monitoring, and reward-based learning. **Brain and Cognition**, v. 56, n. 2, p. 129–140, 1 nov. 2004.

ROBERTSON, C. V; MARINO, F. E. Prefrontal and motor cortex EEG responses and their relationship to ventilatory thresholds during exhaustive incremental exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 115, n. 9, p. 1939–1948, 2015.

ROBERTSON, C. V; MARINO, F. E. A role for the prefrontal cortex in exercise tolerance and termination. **J Appl Physiol (1985)**, v. 120, n. 4, p. 464–466, 2016.

ROHLFS, I. C. P. DE M. et al. Aplicação de instrumentos de avaliação de estados de humor na detecção da síndrome do excesso de treinamento. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 10, n. 2, p. 111–116, 2008.

SALES, M. M. et al. An integrative perspective of the anaerobic threshold. **Physiology & Behavior**, 14 dez. 2017.

SAUNDERS, B. et al. Placebo in sports nutrition: a proof-of-principle study involving caffeine supplementation. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, p. 1–8, 2016.

SAWYNOK, J.; LIU, X. J. Adenosine in the spinal cord and periphery: Release and regulation of pain. **Progress in Neurobiology**, v. 69, n. 5, p. 313–340, 2003.

SHENHAV, A.; COHEN, J. D.; BOTVINICK, M. M. Dorsal anterior cingulate cortex and the value of control. **Nat Neurosci**, v. 19, n. 10, p. 1286–1291, out. 2016.

SILVA-CAVALCANTE, M. D. et al. Mental fatigue does not alter performance or neuromuscular fatigue development during self-paced exercise in recreationally trained cyclists. **European Journal of Applied Physiology**, v. 118, n. 11, p. 2477–2487, 28 nov. 2018.

SIMON, S. A. et al. The neural mechanisms of gustation: a distributed processing code. **Nat Rev Neurosci**, v. 7, n. 11, p. 890–901, 2006.

SINCLAIR, J. et al. The effect of different durations of carbohydrate mouth rinse on cycling performance. **Eur J Sport Sci**, v. 14, n. 3, p. 259–264, 2014.

SMALL, D. M. et al. The role of the human orbitofrontal cortex in taste and flavor processing. **Ann N Y Acad Sci**, v. 1121, p. 136–151, 2007.

SMITH, M. E. et al. Monitoring task loading with multivariate EEG measures during complex forms of human-computer interaction. **Human factors**, v. 43, n. 4, p. 601–613, 6 set. 2003.

THOMAS, D. T.; ERDMAN, K. A.; BURKE, L. M. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. **J Acad Nutr Diet**, v. 116, n. 3, p. 501–528, 2016.

THOMPSON, T. et al. EEG applications for sport and performance. **Methods**, v. 45, n. 4, p. 279–288, ago. 2008.

TURNER, C. E. et al. Carbohydrate in the mouth enhances activation of brain circuitry involved in motor performance and sensory perception. **Appetite**, v. 80, p. 212–219, 2014.

VAN CUTSEM, J. et al. The Effects of Mental Fatigue on Physical Performance: A Systematic Review. **Sports Medicine**, v. 47, n. 8, p. 1569–1588, 2 ago. 2017a.

VAN CUTSEM, J. et al. A caffeine-maltodextrin mouth rinse counters mental fatigue. **Psychopharmacology**, dez. 2017b.

VAN DER LINDEN, D.; FRESE, M.; MEIJMAN, T. F. Mental fatigue and the control of cognitive processes: effects on perseveration and planning. **Acta psychologica**, v. 113, n. 1, p. 45–65, maio 2003.

VASCONCELOS, G. et al. A comprehensive integrative perspective of the anaerobic threshold engine. **Physiology & Behavior**, 24 jan. 2019.

WAGER, T. D. et al. Placebo-Induced Changes in fMRI in the Anticipation and Experience of Pain. **Science**, v. 303, n. 5661, p. 1162–1167, 20 fev. 2004.

WAGER, T. D. et al. Predicting individual differences in placebo analgesia: contributions of brain activity during anticipation and pain experience. **The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience**, v. 31, n. 2, p. 439–52, 12 jan. 2011.

WANG, X. et al. Cerebral and neural regulation of cardiovascular activity during mental stress. **Biomedical engineering online**, v. 15, n. Suppl 2, p. 160, dez. 2016.

WASCHER, E. et al. Frontal theta activity reflects distinct aspects of mental fatigue. **Biol Psychol**, v. 96, p. 57–65, 2014.

WESTON, S. B. et al. Effect of ramp slope on ventilation thresholds and VO₂peak in male cyclists. **Int J Sports Med**, v. 23, n. 1, p. 22–27, 2002.

ANEXO A – PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO**ESCALA DE BORG****6****7- Muito Fácil****8****9- Fácil****10****11- Relativamente Fácil****12****13- Ligeiramente Cansativo****14****15- Cansativo****16****17- Muito Cansativo****18****19- Exhaustivo****20**

ANEXO B – ESCALA VISUAL ANALÓGICA

ANEXO C – ESCALA DE VALÊNCIA AFETIVA**FEELING SCALE**

+5	Very Good
+4	
+3	Good
+2	
+1	Fairly Good
0	Neutral
-1	Fairly Bad
-2	
-3	Bad
-4	
-5	Very Bad

ANEXO D – QUESTIONÁRIO DE HUMOR

Escala:

0 = nada**1 = um pouco****2 = moderadamente****3 = bastante****4 = extremamente**

	0	1	2	3	4
1. Apavorado	☐	☐	☐	☐	☐
2. Animado	☐	☐	☐	☐	☐
3. Confuso	☐	☐	☐	☐	☐
4. Esgotado	☐	☐	☐	☐	☐
5. Deprimido	☐	☐	☐	☐	☐
6. Desanimado	☐	☐	☐	☐	☐
7. Irritado	☐	☐	☐	☐	☐
8. Exausto	☐	☐	☐	☐	☐
9. Inseguro	☐	☐	☐	☐	☐
10. Sonolento	☐	☐	☐	☐	☐
11. Zangado	☐	☐	☐	☐	☐
12. Triste	☐	☐	☐	☐	☐
13. Ansioso	☐	☐	☐	☐	☐
14. Preocupado	☐	☐	☐	☐	☐
15. Com disposição	☐	☐	☐	☐	☐
16. Infeliz	☐	☐	☐	☐	☐
17. Desorientado	☐	☐	☐	☐	☐
18. Tenso	☐	☐	☐	☐	☐
19. Com raiva	☐	☐	☐	☐	☐
20. Com energia	☐	☐	☐	☐	☐
21. Cansado	☐	☐	☐	☐	☐
22. Mal-humorado	☐	☐	☐	☐	☐
23. Alerta	☐	☐	☐	☐	☐
24. Indeciso	☐	☐	☐	☐	☐