

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE NUTRIÇÃO
MESTRADO EM NUTRIÇÃO**

***EFEITOS DA INGESTÃO DE CAFEÍNA SOBRE A CONTRIBUIÇÃO ANAERÓBIA
E O DESEMPENHO EM CICLISMO DE 4000M APÓS DEPLEÇÃO DE
GLICOGÊNIO MUSCULAR***

Marcos David da Silva Cavalcante

**MACEIÓ
2012**

Marcos David da Silva Cavalcante

***EFEITOS DA INGESTÃO DE CAFEÍNA SOBRE A CONTRIBUIÇÃO ANAERÓBIA E O
DESEMPENHO EM CICLISMO DE 4000M APÓS DEPLEÇÃO DE GLICOGÊNIO
MUSCULAR***

Dissertação apresentada à Faculdade de Nutrição da Universidade Federal de Alagoas sob orientação do profº Dr. Adriano Eduardo Lima da Silva como requisito à obtenção do título de Mestre em Nutrição.

MACEIÓ

2012

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Fabiana Camargo dos Santos

- C376e Cavalcante, Marcos David da Silva.
Efeitos da ingestão de cafeína sobre a contribuição anaeróbica e o desempenho em ciclismo de 4.000m após depleção de glicogênio muscular/ Marcos David da Silva Cavalcante. – 2012.
71 f. : il., graf., tab.
- Orientador: Adriano Eduardo Lima da Silva.
Dissertação (Mestrado em Nutrição) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Nutrição. Programa de Pós-Graduação em Nutrição. Maceió, 2012.
- Inclui bibliografias.
1. Cafeína. 2. Exercícios contra-relógio. 3. Glicogênio muscular - Depleção. 4. Contribuição anaeróbica. 5. Recrutamento muscular. I. Título.

CDU: 612.393:796.015.6



**MESTRADO EM NUTRIÇÃO
FACULDADE DE NUTRIÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**



Campus A. C. Simões
BR 104, km 14, Tabuleiro dos Martins
Maceió-AL 57072-970
Fone/fax: 81 3214-1160

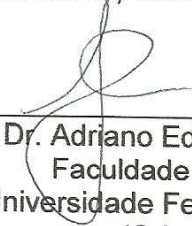
**PARECER DA BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE
DISSERTAÇÃO**

***EFEITOS DA INGESTÃO DE CAFEÍNA SOBRE A CONTRIBUIÇÃO
ANAERÓBIA E O DESEMPENHO EM CICLISMO DE 4000M APÓS
DEPLEÇÃO DE GLICOGÊNIO MUSCULAR***


por

Marcos David da Silva Cavalcante


A Banca Examinadora, reunida aos 13 dias do mês de Março do ano de 2012, considera o candidato:



Prof. Dr. Adriano Eduardo Lima da Silva)
Faculdade de Nutrição
Universidade Federal de Alagoas
(Orientador)



Prof. Dr. Gustavo Gomes de Araújo
Curso de educação física
Universidade Federal de Alagoas
(Examinador)



Prof. Dr. Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi
Escola de educação física e esporte
Universidade de São Paulo
(Examinador)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu avô Gerson José da Silva (em memória) pelos seus ensinamentos e por ser um dos responsáveis pela pessoa que eu sou hoje.

"Quando o desejo de seguir uma carreira é suficientemente forte, é inútil tentar evitar o inevitável simplesmente por necessidades materiais"

Marcelo Gleiser

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu pai Marcos André Cavalcante por sempre ter me apoiado e não ter medido esforços para fornecer a melhor educação não só para mim como também para todos os meus irmãos.

À minha mãe Rosineide da Silva pelo apoio durante toda minha vida.

Aos meus familiares: avó Anita e Helena, irmãos Diogo, Pablo e Rayanne simplesmente pelo fato de existirem minha vida.

Ao meu querido sobrinho André Gabriel (zé dédé) pelos momentos de alegrias.

Aos meus tios que apesar de estarem distantes, não deixaram de me apoiar. Em especial, ao meu tio Carlinho pelos seus conselhos e por estar sempre disponível no que for preciso.

À minha eterna (risos) namorada Kelly Soares por fazer parte da minha vida e pela paciência durante todo o desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço ao meu orientador e grande amigo Adriano Eduardo Lima Silva (capitão) por ter me ensinado a dar os primeiros passos na pesquisa e pelo convívio durante esses anos da minha formação que foi de grande importância não só para minha formação profissional mas também como pessoa.

À todos os amigos membros do grupo de pesquisa em ciências do esporte (GPCE) pelas discussões e por ter ajudado na minha formação. Em especial, gostaria de agradecer aos que colaboraram durante as coletas de dados nos momentos difíceis: João (eterno estagiário), Victor, Patrícia e Kleiner.

Aos amigos de laboratório Rafaell e Ralmony pelos cinco meses de convívio durante as coletas de dados desse trabalho e por terem enfrentado e superado juntamente comigo todas as dificuldades que apareceram durante esse período.

À Lihara e Hessel pela ajuda na prescrição da dieta dos atletas.

Ao João Paulo por ter cedido sua bike para realização dos testes.

Ao coordenador do curso de educação física Professor Amandio Geraldês por ter disponibilizado o Laboratório de Aptidão Física, Desempenho e Saúde (LAFIDES) para realização das coletas de dados.

Ao professor Luciano Meireles da Faculdade de Farmácia por ter disponibilizado o seu laboratório.

Ao Josiel pela disponibilidade, ajuda e paciência durante análises de lactato.

Ao professor Rui da Faculdade de Farmácia pela ajuda na aquisição das cápsulas de cafeína e placebo.

Às professoras da Faculdade de Nutrição Suzana e Terezinha por terem disponibilizado o laboratório para análises de lactato plasmático.

Aos professores Gustavo e Rômulo por suas contribuições e sugestões que enriqueceram esse trabalho.

À Amanda pela ajuda nas questões relacionadas a pós-graduação.

Ao Samuel (Samciclo) e Giu (Sllalom) por terem divulgado a pesquisa.

Aos ciclistas voluntários deste estudo pela disponibilidade e paciência durante as coletas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de mestrado concedida durante esses dois anos.

Todos os dias quando acordo
Não tenho mais
O tempo que passou
Mas tenho muito tempo
Temos todo o tempo do mundo...

Todos os dias
Antes de dormir
Lembro e esqueço
Como foi o dia
Sempre em frente
Não temos tempo a perder...

Nosso suor sagrado
É bem mais belo
Que esse sangue amargo
E tão sério
E Selvagem! Selvagem!
Selvagem!...

Veja o sol
Dessa manhã tão cinza
A tempestade que chega
É da cor dos teus olhos
Castanhos...

Então me abraça forte
E diz mais uma vez
Que já estamos
Distantes de tudo
Temos nosso próprio tempo
Temos nosso próprio tempo
Temos nosso próprio tempo...

Não tenho medo do escuro
Mas deixe as luzes
Acesas agora
O que foi escondido
É o que se escondeu
E o que foi prometido
Ninguém prometeu
Nem foi tempo perdido
Somos tão jovens...

Tão Jovens! Tão Jovens!...

Renato Russo

RESUMO

Diversas pesquisas têm demonstrado que a ingestão de cafeína (1, 2, 7 trimetilxantina) aumenta o desempenho. Devido a esses achados e de sua retirada da lista de substâncias proibidas no ano de 2004 pela agência internacional anti doping, atletas de várias modalidades esportivas tem amplamente utilizado a cafeína com intuito de aumentar o desempenho durante as competições. Estudos tem evidenciado um aumento no desempenho em exercícios de alta intensidade após a ingestão de cafeína. O aumento no desempenho com o uso da cafeína nesse tipo de exercício, parece estar relacionado ao aumento da contribuição anaeróbia. Por outro lado, a depleção das reservas de glicogênio muscular parece reduzir o desempenho durante exercícios de alta intensidade. Essa redução segundo estudos parece ser devido a uma redução da contribuição anaeróbia. Mais recentemente, pesquisas têm sido realizadas com objetivo de investigar a relação entre suplementação de carboidrato com a adição de cafeína sobre o desempenho. Desta forma o objetivo dessa dissertação foi: 1º) Revisar os principais achados acerca dos efeitos da ingestão combinada da cafeína e carboidrato sobre o desempenho em exercícios contra-relógio e quais os mecanismos de ação estariam envolvidos (artigo de revisão). 2º) Verificar se a ingestão de cafeína reverte o desempenho e a contribuição anaeróbia prejudicados com a depleção de glicogênio muscular durante 4000m de ciclismo contra-relógio (artigo de resultados). Nos estudos revisados no artigo de revisão foi constado que a maioria dos trabalhos com ingestão combinada de cafeína e carboidrato demonstraram aumento adicional no desempenho. Entretanto mais estudos necessitam ser realizados para elucidar quais são os mecanismos de ação durante exercícios do tipo contra-relógio decorrentes da ingestão combinada de cafeína e carboidrato. No artigo de resultados, a cafeína reverteu o desempenho antes prejudicado com a depleção de glicogênio muscular e aumentou a contribuição anaeróbia para níveis acima do encontrado na condição controle.

Palavras-chave: Depleção de glicogênio muscular, Cafeína, Carboidrato, Desempenho.

ABSTRACT

Several research has shown that caffeine ingestion (1, 2, 7 trimethylxanthine) increases performance. Due to these findings and their removal from the list of banned substances in 2004 by the international anti doping agency, athletes of various sports have widely used caffeine in order to increase performance during competitions. Studies have shown an increase in performance in high-intensity exercise after caffeine ingestion. The increase in performance with the use of caffeine in this type of performance, seems to be related to increasing the anaerobic contribution . On the other hand, depletion of glycogen stores appear to reduce performance during high intensity exercise. This reduction according studies appears to be due to a reduction of the anaerobic contribution. More recently, research has been conducted in order to investigate whether supplementation of carbohydrate with the addition of caffeine provides the additional effect on performance. Thus, the goal of this dissertation was: 1) review the main findings about the effects on performance in time trial and what the mechanisms involved in the combined supplementation of caffeine and carbohydrate (review article). 2) verify if intake of caffeine can reverse the impairment in performance and anaerobic contribution caused by depletion of muscle glycogen during 4000m cycling time trial (results article). In the studies reviewed in the review article found that most studies with combined ingestion of caffeine and carbohydrate showed a further increase in performance. However, more studies need to be performed to elucidate what are the mechanisms of action during time trial arising from the combined ingestion of caffeine and carbohydrate. In the article results the caffeine reversed the performance impaired prior by depletion of muscle glycogen and anaerobic contribution increased to levels above the conditions with muscle glycogen depletion with ingestion of placebo and control.

Key-words: Muscle glycogen depletion; Caffeine; Carbohydrate; Performance.

LISTA DE FIGURAS

2º artigo: artigo de resultados

Figura 1- Desenho experimental.....	52
Figura 2- Sequência de medidas do teste experimental.....	54
Figura 3- Média e erro padrão do tempo realizado durante 4000m de ciclismo contra relógio.....	58
Figura 4- Média e erro padrão da produção de potência (PPO), Potência aeróbia (Paer) e Potência anaeróbia (Pan) durante 4000m de ciclismo contra relógio.....	59

LISTA DE TABELAS

1º artigo: artigo de revisão

Tabela 1- Resultados de artigos utilizando ingestão combinada de cafeína e carboidrato durante exercício contra-relógio.....	33
--	----

2º artigo: artigo de resultados

Tabela 1- Média e desvio padrão da iEMG, VO_2 , $\%VO_{2max}$, FC e PSE durante os 4000m de ciclismo contra-relógio.....	60
Tabela 2- Média e desvio padrão para as variáveis de PPO, Paer, Pan, iEMG, VO_2 , $\%VO_{2max}$, FC e PSE médias em cada trecho de 1000m.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS

ATP - adenosina trifosfato

GM - glicogênio muscular

CHO - carboidrato

RER - razão de trocas respiratória

CAF - cafeína

J - joule

W_{max} - potência máxima

T - trabalho

W - potência

kJ - kilojoule

mg.kg⁻¹ - miligrama por quilograma

min - minuto

s - segundos

SGLT1 - co-transportador sódio-glicose

GLUT 2 - transportador de glicose tipo 2

g.m⁻¹ - gramas por minuto

g.h⁻¹ - gramas por hora

VO_{2max} - consumo máximo de oxigênio

MAOD - máximo déficit acumulado de oxigênio

m - metros

ECG - eletrocardiograma

cm - centímetro

ml.kg⁻¹ - mililitros por quilograma

FC_{max} - frequência cardíaca máxima

bpm - batimentos por minuto

CON - controle

DEP-PLA - depleção de glicogênio muscular e ingestão de placebo

DEP - CAF - depleção de glicogênio muscular e ingestão de cafeína

rpm - rotações por minuto

VO₂ - consumo de oxigênio

VCO₂ - dióxido de oxigênio

VE - volume ventilatório
ml.min⁻¹ - mililitro por minuto
FC - frequência cardíaca
W_c - carga do último estágio completado
t - tempo
CVM - contração voluntária máxima
iEMG - eletromiografia integrada
PPO - produção de potência
Paer - potência aeróbia
Pan - potência anaeróbia
[La] - concentração de lactato plasmático
PLA - placebo
VL - vasto lateral
μL - micro-litro
Naf - fluoreto de sódio
PSE - percepção subjetiva de esforço
Pmet - potência metabólica
L.m⁻¹ - litros por minuto
P_{tot} - potência total
IC - intervalo de confiança
mmol.L⁻¹ - milimoles por litros

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	15
2 COLETÂNEA DE ARTIGOS.....	18
2.1 1º artigo: artigo de revisão	
Efeitos da ingestão combinada de cafeína e carboidratos sobre o desempenho em exercícios contra relógio.....	19
2.2 2º artigo: artigo de resultados	
Efeitos da ingestão de cafeína sobre a contribuição anaeróbica e o desempenho em ciclismo de 4000m após depleção de glicogênio muscular.....	42
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cafeína (1, 3, 7- trimetilxantina) tem sido utilizada por uma grande quantidade de atletas em eventos esportivos com intuito de melhorar o desempenho esportivo (CHESTER E WOJEK, 2008; DESBROW E LEVERITT, 2005; VAN THUYNE E DELBEKE, 2006). Em um estudo realizado por Desbrow e Leveritt (2005) foi evidenciado que cerca de 90% dos competidores do campeonato mundial de triátlon (*ironmen*) admitiram ter utilizado cafeína antes ou durante a competição. Esses dados estão de acordo com achados de um estudo mais recente, onde Chester e Wojek (2008), constataram que houve um aumento de 20,6% no uso da cafeína entre os ciclistas (n=287) após a retirada da cafeína da lista de substâncias proibidas em janeiro de 2004 pela agência mundial antidoping (WADA). A retirada se deve ao fato da dificuldade de evitar o consumo de cafeína por atletas, visto que essa substância encontra-se presente em diversos alimentos, bebidas e medicamentos. Isso fez com que a WADA adicionasse a cafeína na lista de substâncias monitoradas, onde a concentração urinária permitida é de, no máximo, 12mg/ml (VAN THUYNE E DELBEKE, 2006).

Os efeitos da ingestão da cafeína sobre o desempenho estão bem estabelecidos na literatura (COSTILL , DALSKY , AND FINK 1978; GRAHAM & SPRIET 1991; JACKMAN et al. 1996 GREER, FRIARS E GRAHAM 2000; BELL DG & MCLELLAN 2003). Um aumento no desempenho também tem sido evidenciado durante a realização de exercícios de alta intensidade (BELL et al., 2001; DOHERTY, 1998; WILLES et al., 2006; ANSELMO et al., 1992). A melhora no desempenho com o uso de cafeína nesse tipo de exercício parece estar relacionada ao aumento da contribuição do sistema anaeróbio (SIMONDS et al. 2010; DOHERTY, 1998; BELL et al., 2001). Por outro lado, uma redução na disponibilidade de glicogênio muscular prejudica o desempenho durante exercícios

de alta intensidade (MAUGHAN et al., 1981; GREENHAFF et., al 1987a,1987b, 1988), principalmente devido a uma limitação no fornecimento de energia pelo sistema anaeróbio. Entretanto, até o presente momento, não é conhecido se a ingestão de cafeína é capaz de reverter os efeitos deletérios da depleção de glicogênio sobre o desempenho, por meio do aumento da contribuição anaeróbia antes prejudicada. Entretanto, parece razoável suspeitar alguma relação entre cafeína e metabolismo de carboidratos, uma vez que tem crescido o número de pesquisas com interesse de testar se existe um efeito adicional quando a cafeína é ingerida em conjunto com carboidrato.

Diante do que foi apresentado acima, essa dissertação tem dois objetivos principais: 1º) Revisar os principais mecanismos envolvidos e seus efeitos sobre o desempenho com a ingestão combinada de cafeína e carboidrato (artigo de revisão). 2º) Verificar se a ingestão de cafeína é capaz de reverter o prejuízo causado pela baixa disponibilidade de glicogênio muscular sobre a contribuição anaeróbia e o desempenho durante 4000m de ciclismo contra relógio (artigo original).

1º artigo: artigo de revisão

Revista pretendida: Brazilian Journal of Biomotricity

SILVA-CAVALCANTE, MD; LIMA-SILVA, AE. Efeitos da ingestão combinada de cafeína e carboidratos sobre o desempenho em exercícios contra relógio.

RESUMO

A importância dos substratos para otimizar o suprimento energético durante o exercício vem sendo investigada. Entre os substratos mais utilizados por atletas com objetivo de melhorar o desempenho, encontra-se o carboidrato (CHO). A melhora no desempenho parece ser devido a uma manutenção dos níveis de glicose sanguínea e um aumento na oxidação de CHO exógeno, reduzindo dessa maneira a utilização das reservas de CHO endógeno. Com o intuito de melhorar o desempenho, pesquisa tem utilizado cafeína (CAF) em combinação com CHO. O objetivo do presente artigo de revisão foi verificar se o desempenho é afetado e quais mecanismos estão relacionados à ingestão de CAF + CHO. Nos estudos revisados, evidenciamos que a maioria dos estudos apresentaram uma melhora no desempenho com o uso de CAF + CHO. Os mecanismos de ação promovidos pela suplementação em conjunto de CAF e CHO parece estar no aumento da atividade do transportador de glicose dependente de sódio 1 (SGLT1) e do transportador de glicose tipo 2 (GLUT 2). Porém, esses mecanismos não estão completamente elucidados. Dessa forma, mais estudos são necessários para esclarecer completamente quais são os mecanismos de ação em decorrência da ingestão de CAF + CHO.

Palavras-chave: desempenho, cafeína, oxidação de carboidrato, exercícios contra-relógio.

ABSTRACT

The importance of the substrates to optimize the energy supply during exercise has been investigated. Among the substrates widely used by athletes in order to improve performance, is the carbohydrate (CHO). The improved performance seems to be due to a maintenance of blood glucose levels and an increase in exogenous CHO oxidation, thereby reducing the use of endogenous CHO reserves. Aiming for maximum performance, research has used caffeine (CAF) in combination with CHO. The aim of the present review was to determine whether performance is affected and what mechanisms are related to the ingestion of CHO + CAF. In the studies reviewed, we found that most studies showed an improvement in performance with the use of CAF + CHO. According to the studies reviewed, the mechanisms of action promoted by combined supplementation CAF and CHO seems increase activity of glucose transporter sodium-dependent 1 (SGLT1) and glucose transporter type 2 (GLUT 2). However, these mechanisms are not fully elucidated. Thus further studies are needed to fully clarify what are the mechanisms of action promoted by ingestion of CHO + CAF.

Key-words: performance; caffeine; carbohydrate oxidation; time trial.

INTRODUÇÃO

A importância dos substratos energéticos para geração de energia por via da ressíntese de Adenosina trifosfato (ATP) durante realização do exercício tem sido amplamente investigada (ARKINSTALL et al., 2001, COYLE, 1992, WALKER et al., 2000, ANGUS et al., 2002, JEUKENDRUP et al. 1997, WATT et al. 2002). Em um estudo clássico realizado por um grupo de cientistas escandinavos liderados por Bergstrom et al. (1967) foi demonstrado experimentalmente por meio da técnica de biopsia que, quando as reservas de glicogênio muscular (GM) encontravam-se aumentadas através de manipulação dietética e exercício físico, os indivíduos conseguiam aumentar o seu tempo de permanência em exercício de longa duração. O conhecimento da participação do GM para gerar energia durante o exercício foi melhorado com um estudo realizado por Gollnick et al. (1974), onde utilizando exercícios em diferentes intensidades (de 30% a 150% VO_{2max}), esses autores demonstraram que a taxa de degradação de GM foi 7,4 vezes maior em uma intensidade correspondente a 84% VO_{2max} quando comparado a 30% VO_{2max} . Esses achados são importantes, uma vez que a grande maioria dos esportes é realizada em alta intensidade. Dado a importância dos estoques de GM pré-exercício para a capacidade de manter o exercício por um maior período de tempo, principalmente em esforços de alta intensidade, treinadores e cientistas do esporte começaram a investigar meios de aumentar as reservas de GM e/ou poupá-las durante a realização do exercício.

Entre os principais recursos ergogênicos utilizados por atletas, encontra-se a suplementação ou manipulação dietética do carboidrato (CHO). O primeiro estudo relatando a importância da suplementação de CHO antes e durante o exercício foi realizado em 1920 por Krogh & Lindhard, os quais evidenciaram que após uma dieta rica em CHO a razão de troca respiratória (RER) foi aumentada, indicando um aumento na oxidação de CHO. Desde então, vários estudos tem testado os efeitos da ingestão de

CHO sobre o metabolismo e desempenho (JENTJENS et al., 2006; ANGUS et., 2002; CARTER et al., 2003; BELOW et al., 1995; JEUKENDRUP et al., 2006; ANANTARAMAN et al., 1995; EL-SAYED et al., 1997). O principal mecanismo proposto pelos estudos para o efeito ergogênico do CHO é a manutenção da glicemia e a oxidação do CHO exógeno, o que promoveria um atraso na utilização dos estoques de GM e conseqüentemente aumentaria o desempenho durante exercícios prolongados (Ahlborg et al. 1974; Coyle et al. 1983, Tsintzas et al 1995, 1996, Yaspelkis et al. 1993).

Além do CHO, a cafeína (CAF) tem sido amplamente utilizada por atletas como recurso ergogênico, principalmente após a sua retirada da lista de substâncias proibidas pela a *World Anti Doping Agency* (WADA) em 2004 (Chester & Wojek, 2004; Desbrow & Leveritt, 2006). Um grande número de estudos tem sido conduzido com o objetivo de investigar os efeitos ergogênicos da ingestão da CAF sobre o desempenho durante o exercício, principalmente exercícios aeróbios (COSTILL et al., 1978; GRAHAM & SPRIET 1991; JACKMAN et al. 1996; GREER, FRIARS E GRAHAM 2000; BELL & MCLELLAN 2003; WILLES et al., 2006; ANDERSON et al., 2000; BRUCE et al., 2000; BELL et al., 2002; BRIDGE et al., 2006; HUNTER et al., 2002). A maioria desses estudos demonstrou efeitos positivos sobre o desempenho esportivo (Ganio et al., 2009).

Recentemente, estudos têm testado os efeitos da ingestão combinada de CAF e CHO sobre a ressíntese de GM, oxidação de CHO exógeno e desempenho (PEDERSEN et al., 2008; YEO et al., 2005; DESBROW et al., 2009; HULSTON & JEUKENDRUP, 2008). A CAF em conjunto com o CHO parece exercer um efeito adicional sobre o desempenho, quando comparado à ingestão de apenas CHO (HULSTON & JEUKENDRUP, 2008). Entretanto, os mecanismos não têm sido completamente elucidados, principalmente em exercícios de alta intensidade. Além disso, os efeitos ergogênicos da CAF têm sido mais observados em exercícios de carga constante realizado até a exaustão. Exercícios desse tipo tem apresentado um maior coeficiente de

variação (LAURSEN et al.2007) e menor validade externa (ATKINSON et al., 2007) em comparação a exercícios contra relógio, onde os atletas têm que realizar uma maior distância ou quantidade de trabalho no menor tempo possível ou o máximo de trabalho em um tempo fixo (GANIO et al., 2009).

Diante do exposto, o objetivo desta revisão foi abordar os principais mecanismos envolvidos na ingestão de CAF em combinação de CHO e seus efeitos sobre o desempenho durante exercícios do tipo contra relógio com base em trabalhos indexados no *pubmed*. Foram incluídos nessa revisão apenas trabalhos que avaliaram os efeitos da ingestão combinada de CAF e CHO sobre o desempenho em exercícios em que os participantes dos estudos tinham a tarefa de realizar uma distância ou quantidade de trabalho no menor tem possível ou a máxima quantidade de trabalho completado em um tempo fixo.

Essa revisão foi dividida em dois tópicos. O primeiro tópico apresentou e discutiu os principais resultados acerca do uso combinado de CAF e CHO sobre o desempenho em exercícios contra relógio. O segundo, se deteve em abordar de forma crítica quais são os principais mecanismos de ação envolvidos na suplementação de CAF em combinação com CHO durante o exercício.

Ingestão combinada de CAF e CHO: efeitos sobre o desempenho

Os resultados de estudos utilizando ingestão combinada de CAF + CHO estão resumidos na tabela 1. Kovacs et al. (1998), avaliaram o efeito da ingestão de uma solução contendo 7% de CHO com diferentes doses de CAF (150, 225, e 320mg/l) 20min antes e durante o exercício. Nesse estudo os participantes tiveram que realizar uma quantidade trabalho equivalente a 1h de exercício a uma intensidade correspondente a $70\%W_{max}$, calculado por meio da seguinte equação: $T(J) = 0,75 \times W_{max} \times 3.600$. A adição de CAF resultou na melhora do desempenho nas condições CHO-CAF-320 ($58,9 \pm 1,2$

min) e CHO-CAF-225 ($58,9 \pm 1,0$ min) em comparação a CHO ($61,5 \pm 1,1$ min), CHO-CAF-150 ($60,4 \pm 1,0$ min) e PLA ($62,5 \pm 1,3$ min). No entanto, não foi evidenciada diferença significativa entre as condições CHO-CAF-150 e CHO. A condição CHO-CAF-150 diferiu apenas de PLA. A rápida realização do trabalho estipulado nas condições com CAF, foi acompanhado por uma maior média de potência (W) produzidas pelos sujeitos durante o ciclismo contra relógio. Esses resultados demonstram que o uso da CAF+CHO exerceu um efeito adicional no desempenho e na potência média durante o teste contra relógio. Por outro lado, os autores não constataram diferenças nas concentrações de glicose plasmática nas condições CAF em relação à CHO. Esses achados corroboram em parte com resultados encontrados por um estudo mais recente realizado por Cox et al. (2002), que demonstraram um aumento de 3% na condição em que os sujeitos ingeriram CAF pré ou durante o exercício contra relógio (7 kJ/kg) realizado após 2h de exercício a $70\%VO_{2max}$, quando comparado com a suplementação isolada de CHO. No que diz respeito às concentrações plasmáticas de glicose, diferentemente do encontrado por Kovacs et al. (1998), Cox e colaboradores verificaram uma maior concentração de glicose pós ciclismo contra relógio com a suplementação da CAF. Entretanto, nesse estudo não foi utilizado uma condição placebo, impedindo desta forma de identificar se a ingestão de CHO promoveu uma melhora no desempenho em comparação a placebo e se a suplementação combinada de CAF e CHO exerceu um efeito adicional.

Assim como Kovacs et al. (1998) e Cox et al., (2002), Hulston & Jeukendrup (2008) utilizando protocolo com 105min de exercício de carga constante ($62\%VO_{2max}$) seguido por um contra relógio de 688 ± 56 kJ, também evidenciaram uma melhora no desempenho (4,6%) quando a ingestão de CHO foi acompanhada de CAF. A potencia média também foi aumentada com a ingestão de CAF em comparação a CHO (262 ± 9 W vs 250 ± 8 W, respectivamente). Houve uma redução no tempo e um aumento na média de potência em CHO quando comparado a placebo. Dessa forma, no estudo de Hulston &

Jeukendrup (2008) foi demonstrado um efeito adicional no desempenho com a suplementação da CAF. Apesar desses resultados, esses autores não encontraram alterações metabólicas entre as condições CAF + CHO e CHO que pudessem explicar o melhor desempenho. Por outro lado, os valores de RER, oxidação de glicose derivada do fígado, taxa de aparecimento e desaparecimento de glicose foram maiores entre as condições CAF + CHO e CHO vs placebo (água), o que indica que a ingestão de CHO combinada a CAF não exerceu um efeito adicional sobre o metabolismo. No entanto, esses resultados devem ser vistos com cautela, uma vez que essas medidas metabólicas foram realizadas apenas durante o exercício de carga constante. Portanto, as possíveis alterações metabólicas que podem ter ocorrido durante o exercício contra relógio não foram investigadas.

Em contrapartida, Desbrow e colaboradores (2009) não verificaram nenhuma alteração no desempenho com o uso adicional de $1,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ ou 3 mg.kg^{-1} de CAF comparado a CHO (30min 42s \pm 3min 41s, 29min 51s \pm 3min 38s e 30min 25s \pm 3min 10s, respectivamente). Da mesma forma, Hunter et al. (2002) testaram os efeitos conjugado da ingestão de CAF e CHO no desempenho em ciclismo contra relógio durante uma simulação de prova prolongada (100km). O desempenho não melhorou com adição de CAF a uma solução contendo 7% de CHO ingerida 1h antes e a cada 15min de exercício. Também não foi encontrada diferença entre as condições CHO e placebo.

Slivka et al. (2008) conduziram um estudo na tentativa de responder se a suplementação combinada de CAF e CHO seria capaz de melhorar o desempenho em situação em que os indivíduos encontram-se com balanço energético negativo. Após induzir os participantes do estudo a um balanço energético negativo por meio de manipulação dietética e exercício durante dois dias, os pesquisadores forneceram quatro diferentes bebidas (-CAF/-CHO, -CAF/+CHO, +CAF/-CHO, +CAF/+CHO) a cada 30min durante 2h de exercício de carga constante ($50\%W_{\text{max}}$) realizado antes de 20km de

ciclismo contra relógio. Os autores reportaram que não houve diferença significativa no desempenho entre as condições -CAF/+CHO e +CAF/+CHO. No entanto, o desempenho foi otimizado em -CAF/+CHO quando comparado a condição -CAF/-CHO. A explicação segundo os autores estaria na distância do teste contra-relógio considerada curta.

Entretanto, um aumento no desempenho em exercícios mais curtos e de alta intensidade tem sido evidenciado após a suplementação de CAF + CHO, quando comparado a CHO isolado (DOHERTY et al., 2004; CURETON et al., 2007; GANIO et al., 2007). De fato, usando um protocolo de 15 min de contra relógio, após um exercício mais prolongado de 120min alternando a intensidade entre 65% e 75% VO_{2max} a cada 15min, Cureton et al. (2007) encontraram maior (15%) quantidade de trabalho produzida pelos sujeitos após a administração de CAF (5,3 mg.kg⁻¹) em combinação a CHO, quando comparado a apenas CHO (218 ± 31 kJ vs 190 ± 36 kJ, respectivamente). Houve também um aumento nos níveis de glicose imediatamente após o contra relógio na condição CAF + CHO. Segundo os pesquisadores, esse aumento parece ser em decorrência do maior trabalho exercida nessa condição.

Em posterior estudo conduzido por Roberts et al. (2010), foi demonstrado uma melhora de 2% no desempenho em exercício ainda mais curto e de maior intensidade, em comparação ao utilizado por Cureton et al. (2007). Após uma bateria envolvendo 3 blocos de exercício com corrida, caminhada e saltos, os sujeitos correram 15m (sprint) em menor tempo quando suplementados por CAF e CHO do que somente CHO. Os resultados de Roberts et al. (2010) e Cureton et al. (2007) estão de acordo ao encontrado anteriormente por Doherty et al. (2004), onde a potencia média durante 1min de sprint (ciclismo) foi significativamente maior em CAF + CHO (794 ± 164 W) em comparação a CHO (750 ± 163 W). Sendo assim, a justificativa de que a ingestão de CAF + CHO não exerceria efeitos sobre o desempenho durante 20 km ciclismo por ser um exercício curto

dada por Slivka et al. (2008), parece não ser plausível, visto que estudos supracitados têm encontrado melhora no desempenho em exercícios mais curtos.

Ingestão combinada de CAF e CHO: mecanismos de ação

O uso da CAF em combinação com CHO parece exercer um aumento no desempenho (CONGER et al., 2011). Entretanto, os mecanismos pelos quais a ingestão de CAF + CHO promove esse efeito, ainda não estão completamente esclarecidos. Sendo assim, nesse tópico serão abordados os principais mecanismos ação envolvidos na suplementação de CAF em conjunto com CHO durante o exercício propostos atualmente na literatura.

A oxidação de CHO exógeno parece ser restringida principalmente por uma limitada absorção de glicose no intestino (HAWLEY et al., 1992; JEUKENDRUP, 2004). Em recente estudo realizado van Nieuwenhoven et al. (2000), foi constatado que o uso da CAF combinado a glicose ($1,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ e 45g , respectivamente) aumentou significativamente (23%) a absorção de glicose no intestino durante 90 minutos de exercício a 70% da carga máxima (W_{max}). Para van Nieuwenhoven et al. (2000), esse achado pode ser explicado por uma possível ação da cafeína no aumento na atividade do transportador glicose dependente de sódio 1 (SGLT1) que atua no transporte de glicose para o enterócito e/ou no transportador de glicose tipo 2 (GLUT-2) que é responsável pelo transporte da glicose do enterócito para o sangue.

Baseados nos achados de van Nieuwenhoven et al. (2000), Yeo e colaboradores (2005) especularam que a ingestão de CAF poderia aumentar a disponibilidade de CHO ingerido, aumentando consequentemente a oxidação de CHO exógeno. Eles demonstraram que a ingestão combinada de CAF (5 mg.kg^{-1}) e CHO ($0,8 \text{ g.m}^{-1}$) durante 2h de exercícios em uma intensidade correspondente a $64\% \text{VO}_{2\text{max}}$ resultou no aumento em 26% na oxidação de CHO exógeno durante os últimos 30 minutos de exercício,

quando comparado a CHO. Os autores sugeriram que essa maior oxidação de CHO foi resultante do aumento na taxa de absorção gastrointestinal promovida pela suplementação de CAF+CHO e, que um aumento na liberação de glicose pelo fígado ou na entrada de glicose no músculo, foi pouco provável, uma vez que estudos prévios (GREER et al., 2000; KEIJZERS et al., 2002; VERGAUWEN et al., 1994) têm evidenciado uma menor entrada de glicose no músculo após utilização de CAF. Entretanto, isso não pôde ser confirmado visto que a cinética de glicose não foi mensurada. Segundo Yeo et al. (2005), uma maior taxa de oxidação de CHO exógeno poderia ser benéfica para o desempenho devido a uma possível redução na taxa de utilização de fontes endógenas de CHO.

Na tentativa de responder se a ingestão de CAF + CHO altera a cinética de glicose e se o aumento na oxidação de CHO promove uma melhora no desempenho, Hulston & Jeukendrup (2008) realizaram um estudo utilizando dois diferentes protocolos, um protocolo com 105 minutos de exercício em carga constante seguido de 1h de ciclismo contra relógio. A cinética de glicose, representada pela taxa de aparecimento e desaparecimento da glicose, não foi alterada pela ingestão de CAF + CHO comparado a apenas CHO durante o exercício de carga constante. Além de nenhuma alteração na cinética de glicose, Hulston & Jeukendrup também não encontraram diferença significativa na oxidação de CHO exógeno.

Tabela 1- Resultados de artigos utilizando ingestão combinada de cafeína e carboidrato durante exercício contra-relógio.

Estudos	Participantes (n)	Dose de CAF (mg/kg)	Dose de CHO (g/h)	Protocolo	Modalidade	Aumento no desempenho CAF + CHO vs CHO?
Rehrer et al., 1997	15H	6,2	60	Total de trabalho completado em 30min	Corrida	NÃO
Kovacs et al., 1998	15H	2,1, 3,2 e 4,5	74,8	Tempo para completar Trabalho [T(J)= 0,75 x W _{max} x 3.600]	Ciclismo	SIM
Jacobson et al., 2001	8H	6,0	67,9	Tempo para completar 7 kJ/kg de trabalho	Ciclismo	NÃO
Bell & Maclellan, 2003	10H, 2M	4,0	NI	10km	Corrida	NÃO
Cox et al., 2002 (estudo A)	12H	1,3 e 6,0	74,8 e 60,4	Tempo para completar 7 kJ/kg de trabalho	Ciclismo	SIM
Cox et al., 2002 (estudo B)	8H	1,9	113,6 e 84,0	Tempo para completar 7 kJ/kg de trabalho	Ciclismo	SIM
Eschbach et al., 2002	11H	6,0	23,1	5km	Ciclismo	NÃO
	8H	6,0	42,5	100km	Ciclismo	NÃO
Hunter et al., 2002						NÃO

Estudos	Participantes (n)	Dose de CAF (mg/kg)	Dose de CHO (g/h)	Protocolo	Modalidade	Aumento no desempenho CAF+CHO vs CHO?
Van Niewenhoven et al., 2005	90H, 8M	1,3	65,5	18km	Corrida	NÃO
Smith et al., 2006	10H	1,3	31,4	40km	Ciclismo	SIM
Cureton et al., 2007	16H	5,3	66,2 e 56,4	Total de trabalho completado em 15min	Ciclismo	SIM
Ganio et al., 2007	14H	5,9	66,2 e 56,4	Total de trabalho completado em 15min	Ciclismo	SIM
Slivka et al., 2008	11H	10,8	48,0	20km	Ciclismo	NÃO
Hulston & Jeukendrup, 2008	10H	5,3	43,0	Tempo para completar Trabalho [T(J)= 0,75 x Wmax x 2.700]	Ciclismo	SIM
Doherty et al., 2004	11H	5,0	NI	1min (All-out)	Ciclismo	SIM
Desbrow et al., 2009	9H	1,2 e 3,0	70	Tempo para completar 7 kJ/kg de trabalho	Ciclismo	NÃO
Roberts et al., 2010	8H	4,0	NI	15m (sprint)	Corrida	SIM

H: homem; M: mulher; NI: não informado

Esse último resultado corrobora com os encontrados mais recentemente por Desbrow e colaboradores (2009), onde também não foi evidenciada nenhuma alteração na oxidação de CHO exógeno quando ingerido com $1,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ ou 3 mg.kg^{-1} de CAF. Segundo Desbrow et al. (2009), a explicação para esse resultado estaria na quantidade de CHO ingerida antes e durante ($\sim 70 \text{ g.h}^{-1}$) enquanto que van Nieuwenhoven et al. (2000) e Yeo et al. (2005) utilizaram $\sim 30\text{-}35 \text{ g.h}^{-1}$ e 48 g.h^{-1} , respectivamente. Para Desbrow, com a maior quantidade de CHO ingerida antes no café da manhã (2h antes do exercício) e durante o exercício em seu estudo, os sujeitos teriam otimizado ao máximo o transporte gastrointestinal de glicose, inibindo desta forma o efeito adicional da CAF na oxidação de CHO exógeno.

Entretanto, a quantidade de CHO suplementada durante o exercício por Desbrow e colaboradores (2009) parece não explicar os resultados encontrados sobre a oxidação de CHO, uma vez que Hulston & Jeukendrup (2008) também, como apresentado anteriormente, não encontraram aumento na oxidação de CHO após os sujeitos consumirem CAF em combinação com uma quantidade de CHO um pouco menor ($\sim 43 \text{ g.h}^{-1}$ vs 48 g.h^{-1}), comparado a utilizada no estudo de Yeo et al. (2005). Além de uma menor quantidade de CHO usado, os sujeitos participantes do estudo realizado por Hulston & Jeukendrup pedalarão após uma noite de jejum (10-12h) o que mais uma vez vai de encontro a explicação dada por Desbrow para seus achados. Uma explicação alternativa para esses diferentes resultados, poderia estar nas diferentes doses de CAF utilizadas nos estudos de Yeo et al. (10 mg.kg^{-1}), Hulston & Jeukendrup ($5,3 \text{ mg.kg}^{-1}$) e Desbrow et al. ($1,5$ e 3 mg.kg^{-1}). Hulston & Jeukendrup sugeriram que a menor dose de CAF usada em seu estudo comparado ao utilizado por Yeo e colaboradores explicaria uma similar oxidação de CHO exógeno. Mas, esses resultados não podem ser explicados por uma menor dose de

caféina, visto que van Nieuwenhoven et al. (2000) evidenciaram significativo aumento na absorção gastrointestinal da glicose com a ingestão de dose menor de CAF em comparação a utilizada por Hulston & Jeukendrup (2008) (~120 mg vs 375 ± 45 mg). Sendo assim, a explicação mais provável para os diferentes achados desses estudos parece estar nas diferenças de sensibilidade dos participantes a CAF.

Diante do exposto acima, os efeitos da ingestão combinada de CAF e CHO sobre a oxidação de CHO exógeno e os mecanismos envolvidos ainda não estão completamente elucidados. Dessa forma, mais pesquisas devem ser desenvolvidas com objetivo de aumentar o conhecimento acerca dos mecanismos pelos quais a suplementação de CAF + CHO aumenta o desempenho durante o exercício.

Considerações finais

Em resumo, o uso da CAF combinado ao CHO promove um aumento no desempenho. Apesar de alguns estudos terem evidenciado um aumento na absorção e oxidação de CHO exógeno, pouco se sabe sobre quais são os mecanismos, principalmente durante o teste contra relógio, que explicariam o aumento no desempenho envolvendo a ingestão em conjunto de CAF e CHO. Sendo assim, mais estudos devem ser realizados com objetivo de esclarecer quais são as alterações metabólicas que ocorre durante o teste contra-relógio em decorrência da ingestão combinada de CAF e CHO que leva ao aumento no desempenho.

Referências

- AHLBORG, B.; BERGSTROM, J.; EKELUND, L.G.; HULTMAN, E. Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, Stockholm, v. 70, p 129-142, 1967.
- ANANTARAMAN, R.; CARMINES, A.A.; GAESSER, G.A.; WELTMAN, A. Effects of carbohydrate supplementation on performance during 1 h of high intensity exercise. *International Journal of Sports Medicine*.v. 16(7), p. 461-465, 1995.
- ANDERSON, M.E.; BRUCE, C.R.; FRASER, S.F.; STEPTO, N.K.; KLEIN, R.; HOPKINS, W.G.; HAWLEY, J.A. Improved 2000-meter rowing performance in competitive oarswomen after caffeine ingestion. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. v. 10, p. 464–475, 2000.
- ANGUS, D.J.; FEBBRAIO, M.A.; HARGREAVES, M. Plasma glucose kinetics during prolonged exercise in trained humans when fed carbohydrate. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, v. 283, p. E573–E577, 2002.
- ARKINSTALL, M.J.; BRUCE, C.R.; NIKOLOPOULOS, V.; GARNHAM, A.P.; HAWLEY, J.A. Effect of carbohydrate ingestion on metabolism during running and cycling. *Journal of Applied Physiology*, v. 91, p. 2125–2134, 2001
- ATKINSON, G.; PEACOCK, O.; GIBSON, A.S.; TUCKER, R. Distribution of power output during cycling: impact and mechanisms. *Sports Medicine* . v. 37, p. 647-67, 2007.
- BELL, D.G.; MCLELLAN, T.M. Effect of repeated caffeine ingestion on repeated exhaustive exercise endurance. *Medicine and Science in Sports Exercise*, v. 35(8), p.1348-1354, 2003.

BELL, D.G.; MCLELLAN, T.M.; SABISTON, C.M. Effect of ingesting caffeine and ephedrine on 10-km run performance. *Medicine and Science in Sports Exercise*. v. 34, p. 344–349, 2002.

BELOW, P.R.; MORA-RODRIGUEZ, R.; GONZALES, A.J.; COYLE, E.F. Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 h of intense exercise. *Medicine and Science in Sports Exercise*, v. 27(2), p. 200-10, 1995.

BERGSTROM, J.; HERMANSEN, L.; HULTMAN, E.; SALTIN, B. Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiologica Scandinavica*, v. 71, p. 140-150, 1967.

BRIDGE, C.A.; JONES, M.A. The effect of caffeine ingestion on 8 km run performance in a field setting. *Journal of Sports Sciences*. v. 24, p. 433–439, 2006.

BRUCE, CR, ANDERSON, ME, FRASER, SF, STEPTO, NK, KLEIN, R, HOPKINS, WG, AND HAWLEY, JA. Enhancement of 2000-m rowing performance after caffeine ingestion. *Medicine and Science in Sports Exercise*, v. 32, p. 1958– 1963, 2000.

CARTER, J.; JEUKENDRUP, A.E.; MUNDEL, T.; JONES, D.A. Carbohydrate supplementation improves moderate and high-intensity exercise in the heat. *Pflügers Archives*, v. 446(2), p. 446-211, 2003.

CHESTER, N.; WOJEK, N. Caffeine consumption amongst British athletes following changes to the 2004 WADA prohibited list. *International Journal of Sports Medicine*, v. 29(6), p.524-528, 2008.

CONGER, S.A.; WARREN, G.L.; HARDY, M.A.; MILLARD-STAFFORD, MINDY, L. Does Caffeine Added to Carbohydrate Provide Additional Ergogenic Benefit for Endurance? *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, v. 21, p. 71-84, 2011.

COSTILL, D.L.; DALSKY, G.P.; FINK, W.J. Effects of caffeine ingestion on

metabolism and exercise performance. *Medicine and Science in Sports Exercise*, v.10, p.155-8, 1978.

COX, G.R.; DENSBROW, B.; MONTGOMERY, P.G.; ANDERSON, M.E.; BRUCE, C.R.; MACRIDES, T.A.; BURKE, L.M. Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *Journal of Applied Physiology*, v. 93, p. 990–999, 2002.

COYLE, E.F. Carbohydrate Supplementation during Exercise. *The Journal of Nutrition*. v. 122, p. 788-795, 1992.

COYLE, E.F.; HAGBERG, J.M.; HURLEY, B.F.; MARTIN, W.H.; EHSANI, A.A.; HOLLOSZY, J.O. Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *Journal Applied Physiology*, v. 55, p. 230-235, 1983.

CURETON, K.J.; WARREN, G.L.; MILLARD-STAFFORD, M.L.; WINGO, J.E.; TRILK, J.; BUYCKX, M. Caffeinated sports drink: Ergogenic effects and possible mechanisms. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, v. 17, p. 35–55, 2007.

DESBROW, B.; BARRETT, C.M.; MINAHAN, C.L.; GRANT, G.D.; LEVERITT, M.D. Caffeine, cycling performance, and exogenous CHO oxidation: a dose-response study. *Medicine and Science in Sports Exercise* . v. 41(9), p.1744-1751, 2009.

DESBROW, B.; LEVERITT, M. Awareness and use of caffeine by athletes competing at the 2005 Ironman Triathlon World Championships. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. v. 16(5), p. 545-558, 2006.

DOHERTY, M., & SMITH, P.M. Effects of caffeine ingestion on exercise testing: A meta-analysis. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. v. 14, p.626–646, 2004.

EL-SAYED, M.S.; BALMER, J.; RATTU, A.J. Carbohydrate ingestion improves endurance performance during a 1 h simulated time trial. *Journal of Sports Sciences*, v. 15(2), p.223-230, 1997.

ESCHBACH, L.C., DRAKE, S.M., BOYD, J.C., WHITEHEAD, M.T., MAGAL, M., & WEBSTER, M.J. The effect of caffeine ingestion on metabolism and performance during prolonged cycling [abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v.34(5, Suppl.), p. S87, 2002.

GANIO, M.S.; KLAU, J.F.; CASA, D.J., ARMSTRONG, L.E.; MARESH, C.M. Effect of caffeine on sport-specific endurance performance: a systematic review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, v. 23(1), p.315-24, 2009.

GANIO, M.S.; KLAU, J.F.; LEE, E.C.; YEARGIN, S.W.; MCDERMOTT, B.P.; MARESH, C.M.; ARMSTRONG, L.E. Effect of a caffeinated carbohydrate-electrolyte fluid on cycling performance and leg maximal voluntary contraction [abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 39(5, Suppl.), p. S89, 2007.

GOLLNICK, P.D.; PIEHL, K.; SALTIN, B. Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibres after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates. *Journal of Physiology*, v. 241, p. 45-57, 1974.

GRAHAM, T.E.; SPRIET, L.L. Performance and metabolic responses to a high caffeine dose during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*. v.71, p. 2292–2298, 1991.

GREER F, FRIARS D, GRAHAM TE. Comparison of caffeine and theophylline ingestion: exercise metabolism and endurance. *Journal of Applied Physiology*, v.89, p.1837-44, 2000.

GREER, F.; FRIARS, D.; GRAHAM, T.E. Comparison of caffeine and theophylline ingestion: exercise metabolism and endurance. *Journal of Applied Physiology*, v. 89, p. 1837–1844, 2000.

HAWLEY J.A.; DENNIS, S.C.; NOWITZ, A.; BROUNS, F.; NOAKES, T.D. Exogenous carbohydrate oxidation from maltose and glucose ingested during prolonged exercise. *European Journal of Applied Physiology*, v. 64, p. 523–527, 1992.

HULSTON, C.J.; JEUKENDRUP, A.E. Substrate metabolism and exercise performance with caffeine and carbohydrate intake. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 40(12), p. 2096–2104, 2008.

HUNTER, A.M.; ST CLAIR GIBSON, A.; COLLINS, M.; LAMBERT, M.; NOAKES, T.D. Caffeine ingestion does not alter performance during a 100-km cycling time-trial performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. v. 12, p. 438–452, 2002.

JACKMAN, M.R.; WENDLING, P.; FRIARS, D.; GRAHAM, T.E. Metabolic, catecholamine, and endurance responses to caffeine during intense exercise. *Journal of Applied Physiology*. v. 81, p.1658–1663, 1996.

JENTJENS R.L.P.G., UNDERWOOD, K.; ACHTEN, J.; CURRELL, K.; MANN, C.H.; JEUKENDRUP, A.E. Exogenous carbohydrate oxidation rates are elevated after combined ingestion of glucose and fructose during exercise in the heat. *Journal of Applied Physiology*, v. 100, p. 807–816, 2006.

JEUKENDRUP, A.; BROUNS, F.; WAGENMAKERS, A.J.; SARIS, W.H. Carbohydrate-electrolyte feedings improve 1 h time trial cycling performance. *International Journal of Sports Medicine*, v. 8(2), p.125-129, 1997.

JEUKENDRUP, A.E.; MOSELEY, L.; MAINWARING, G.L.; Spencer, S.; Samuel, P.; Mann C.H. Exogenous carbohydrate oxidation during ultraendurance exercise. *Journal of Applied Physiology*, v. 100, p. 1134–1141, 2006.

JEUKENDRUP, AE. Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition*, v. 20, p. 669–677, 2004.

KEIJZERS, G.B.; De GALAN, B.E.; TACK, C.J.; SMITS, P. Caffeine can decrease insulin sensitivity in humans. *Diabetes Care*, v. 25, p. 364–369, 2002.

KOVACS, E.M.R.; STEGEN, J.H.C.H.; BROUNS, F. Effect of caffeinated drinks on substrate metabolism, caffeine excretion, and performance. *Journal of Applied Physiology*, v. 85(2), p. 709–715, 1998.

KROGH, A.; LINDHARD, J. The relative value of fat and carbohydrate as sources of muscular energy. *Biochemical Journal*, v. 14, p.290-363, 1920.

LAURSEN, P.B.; FRANCIS, G.T.; ABBISS, C.R.; NEWTON, M.J.; NOSAKA, K. Reliability of time-to-exhaustion versus time-trial running tests in runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. v. 39, p. 1374–1379, 2007.

PEDERSEN, D.J.; LESSARD, S.J.; COFFEY, V.G.; CHURCHLEY, E.G.; WOOTTON, A.M., They, N.G.; WATT, M.J.; HAWLEY, J.A. High rates of muscle glycogen resynthesis after exhaustive exercise when carbohydrate is coingested with caffeine. *Journal of Applied Physiology*. v. 105(1), p.7-13, 2008.

REHRER, N.J.; CUSDIN, T.; DEUTSCH, M. Effects of caffeine and carbohydrate on time trial cycling [abstract]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. v. 29(5, Suppl.), p. S252, 1997.

ROBERTS, S.P.; STOKES, K.A.; TREWARTHA, G.; DOYLE, J.; HOGBEN, P.; THOMPSON, D. Effects of carbohydrate and caffeine ingestion on performance

during a rugby union simulation protocol. *Journal of Sports Sciences*. v. 28(8), p. 833-42, 2010.

SLIVKA, D.; HAILES, W.; CUDDY, J.; RUBY, B. Caffeine and carbohydrate supplementation during exercise when in negative energy balance: Effects on performance, metabolism, and salivary cortisol. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, v. 33(6), p. 1079–1085, 2008.

TSINTZAS, O.K.; WILLIAMS, C.; BOOBIS, L.; GREENHAFF, P. Carbohydrate ingestion and glycogen utilisation in different muscle fibre types in man. *Journal of Physiology*, v. 15, p, 489- 243, 1995.

TSINTZAS, O.K.; WILLIAMS, C.; BOOBIS, L.; GREENHAFF, P.; Carbohydrate ingestion and single muscle fiber glycogen metabolism during prolonged running in men. *Journal of Applied Physiology*, v. 81(2), p.801-819, 1996.

Van NIEUWENHOVEN, M.A.; BRUMMER, R.M.; BROUNS, F. Gastrointestinal function during exercise: comparison of water, sports drink, and sports drink with caffeine. *Journal of Applied Physiology*, v. 89, p.1079–1085, 2000.

VERGAUWEN, L.; HESPEL, P.; RICHTER, E.A. Adenosine receptors mediate synergistic stimulation of glucose uptake and transport by insulin and by contractions in rat skeletal muscle. *Journal of Clinical Investigation*, v. 93, p. 974–981, 1994.

WALKER J.L.; HEIGENHAUSER, G.J.F.; HULTMAN, E.; SPRIET, L.L. Dietary carbohydrate, muscle glycogen content, and endurance performance in well-trained women, *Journal of Applied Physiology*, v. 88, p.2151-2158, 2000.

WATT, M.J.; HEIGENHAUSER, G.J.F.; SPRIET, L.L. Intramuscular triacylglycerol utilization in human skeletal muscle during exercise: is there a controversy? *Journal of Applied Physiology*, v. 93, p. 1185–1195, 2002;

WILES, J.D.; COLEMAN, D.; TEGERDINE, M.; SWAINE I.L. The effects of caffeine ingestion on performance time, speed and power during a laboratory-based 1 km cycling time-trial. *Journal of Sports Sciences*, v. 24(11), p. 1165 – 1171, 2006.

YASPELKIS, B.B.; PATTERSON, J.G.; ANDERLA, P.A.; DING, Z.; IVY, J.L. Carbohydrate supplementation spares muscle glycogen during variable-intensity exercise. *Journal of Applied Physiology*, v. 75(4), p. 1477-85, 1993.

YEO, S.E.; JENTJENS, R.L.P.G.; WALLIS, G.A.; JEUKENDRUP, A.E. Caffeine increases exogenous carbohydrate oxidation during exercise. *Journal of Applied Physiology*, v. 99, p. 844–850, 2005.

2º artigo: artigo de resultados

Revista pretendida: Medicine & Science and Sports & Exercise
SILVA-CAVALCANTE, MD; LIMA-SILVA, AE. Efeitos da ingestão de cafeína sobre a contribuição anaeróbia e o desempenho em ciclismo de 4000m após depleção de glicogênio muscular

RESUMO

Objetivo: Nós examinamos os efeitos da ingestão de cafeína sobre o aumento da contribuição anaeróbia e desempenho em uma prova de 4000m, quando os indivíduos iniciaram o exercício em situação de depleção de glicogênio muscular (GM). **Método:** Sete ciclistas amadores realizaram três testes de 4000m de ciclismo contra-relógio em ordem contrabalançada e duplo cego, com depleção de glicogênio muscular mais ingestão de placebo (DEP-PLA) ou cafeína (DEP-CAF), e controle (CON). Na noite anterior aos testes DEP-CAF e DEP-PLA, os ciclistas realizaram um protocolo para depleção de GM muscular de ambas as fibras. **Resultados:** O desempenho foi significativamente reduzido em DEP-PLA vs CON ($387,7 \pm 11,3$ vs $379,8 \pm 8,9$ s, respectivamente, $P < 0,05$), e houve uma tendência ($p = 0,061$) na redução da Pan em DEP-PLA, quando comparado a CON. Entretanto, o desempenho e a Pan foram aumentados ($P < 0,05$) em DEP-CAF vs DEP-PLA ($372,6 \pm 15,7$ s e $67,4 \pm 14,91$ W vs $387,7 \pm 11,3$ s e $47,3 \pm 14,6$ W, respectivamente, $p < 0,05$). A média de FC durante os 4000m foi maior ($P < 0,05$) em DEP-CAF vs DEP-PLA, respectivamente. A iEMG foi significativamente maior ($P < 0,05$) em DEP-PLA, quando comparada a DEP-CAF ($26,7 \pm 8,0$ vs $23,1 \pm 7,2\%$, respectivamente). A PSE foi reduzida com a ingestão de cafeína nos primeiros 1000m em DEP-CAF vs CON, respectivamente. Não foi demonstrado diferença na VO_2 , $\%VO_2$, Paer entre as condições ($P > 0,05$). **Conclusão:** Esses resultados sugerem que a redução no desempenho é revertida com a suplementação de cafeína em situação de depleção de glicogênio muscular. Esse aumento parece ser devido a uma maior potência e contribuição anaeróbia nos primeiros 2000m com a ingestão de cafeína.

Palavras-chave: cafeína, exercícios contra-relógio, contribuição anaeróbia, depleção de glicogênio muscular, recrutamento muscular.

ABSTRACT

Purpose: We examined the effects of caffeine ingestion on anaerobic contribution and performance in a 4000m cycling time trial, when individuals begin exercise in a state of muscle glycogen depletion (GM). **Methods:** Seven amateur cyclists performed three tests 4000m cycling time trial in counterbalanced order, double-blind, with depletion of muscle glycogen more intake of placebo (DEP-PLA) or caffeine (DEP-CAF) and control (CON). The night before the tests DEP-CAF and DEP-PLA, cyclists performed a protocol for depletion of GM in both muscle fibers. **Results:** Performance was significantly reduced in DEP-PLA vs. CON (387.7 ± 11.3 vs. 379.8 ± 8.9 s, respectively, $P < 0.05$). While there was a trend ($p = 0.061$) in reducing the Pan in DEP-PLA compared to CON. However, the performance and Pan were increased ($P < 0.05$) in DEP-CAF vs. DEP-PLA (372.6 ± 15.7 s and 67.4 ± 14.91 W vs 387.7 ± 11.3 s and $47, 3 \pm 14.6$ W, respectively, $p < 0.05$). The mean HR during the 4000m was higher ($P < 0.05$) in DEP-CAF vs. DEP-PLA, respectively. The iEMG was significantly greater in DEP-PLA than for the DEP-CAF (26.7 ± 8.0 vs $23.1 \pm 7.2\%$, respectively, $P < 0.05$). The PSE was reduced with the intake of caffeine during the first 1000m in DEP-CAF vs CON, respectively. It was not demonstrated differences in $VO_2, \% VO_2, Paer$ between conditions ($P > 0.05$). **Conclusion:** These results suggest that the reduction in performance is reversed with the caffeine supplementation in situation of depletion of muscle glycogen. This improve in performance appears to be due to a higher power and anaerobic contribution in the first 2000m with the intake of caffeine after depletion of muscle glycogen.

Key-words: caffeine; time trial; anaerobic contribution; depletion of muscle glycogen, muscle recruitment.

INTRODUÇÃO

Parágrafo número 1. A importância das reservas de glicogênio muscular (GM) sobre o desempenho em exercícios prolongados está bem estabelecida na literatura (1,6,33). Alguns estudos têm demonstrado que o desempenho durante exercícios de alta intensidade é prejudicado quando as reservas de GM estão reduzidas (22, 23, 39, 42). Langfort et al. (37) evidenciaram que após três dias de dieta com baixo conteúdo (~5%) de carboidrato (CHO), a potência média produzida foi significativamente reduzida durante 30 segundos de exercício alta intensidade (teste de Wingate) quando comparado a situação com uma dieta normal (~50% CHO). A redução do desempenho foi atribuída a uma menor contribuição do sistema energético anaeróbio. Segundo esses autores, a menor capacidade de trabalho após redução das reservas de GM se deve a uma diminuição na glicogólise durante o exercício.

Parágrafo número 2. Enquanto a diminuição de GM parece afetar o desempenho e o fornecimento de energia por via anaeróbia durante exercícios de alta intensidade, a ingestão aguda de cafeína parece ter efeito oposto, aumentando o desempenho e a contribuição anaeróbia durante esse tipo de exercício (3, 11, 14). Durante uma corrida em alta intensidade (125 %VO_{2max}), Doherty (14) encontrou um aumento de 10% no fornecimento de energia anaeróbia após a ingestão de 5mg/kg de cafeína, mensurado através do máximo déficit acumulado de oxigênio (MAOD). Similarmente, Bell et al. (5) também demonstraram que a contribuição do sistema anaeróbio aumentou em cerca de 7% durante o exercício em cicloergometro em uma intensidade correspondente a 125 %VO_{2max}. Esses achados também são corroborados por um estudo mais recente (44).

Parágrafo número 3. Dois principais mecanismos de ação da cafeína têm sido propostos para explicar uma maior contribuição do sistema anaeróbia durante o exercício de alta intensidade. Primeiro, a ingestão de cafeína promoveria uma ação inibitória nos receptores de adenosina, o que aumentaria a atividade da enzima fosfrutoquinase envolvida na glicólise anaeróbia (8, 44). Segundo, o uso de cafeína promoveria um aumento na secreção das catecolaminas, especialmente a adrenalina, resultando em uma maior atividade glicolítica durante o exercício (11). Adicionalmente, a cafeína também parece promover um aumento no recrutamento muscular (32) e uma redução na percepção do esforço (PSE), levando ao aumento na produção de potencia ou no tempo de esforço (13). Em conjunto, esses efeitos resultariam no aumento do fornecimento de energia por via anaeróbia, o que levaria a um aumento no desempenho do atleta durante esforços de alta intensidade.

Parágrafo número 4. Apesar dos estudos terem investigado os efeitos das reservas de GM e da ingestão de cafeína de forma isolada sobre o desempenho e a contribuição anaeróbia, até o presente momento, nenhum estudo foi conduzido com intuito de analisar se a ingestão aguda de cafeína poderia reverter os efeitos deletérios causados pela baixa disponibilidade de GM sob o desempenho e o sistema anaeróbio durante o exercício de alta intensidade. Uma aplicação prática caso a ingestão de cafeína promova uma melhora no desempenho, encontra-se nas situações em que o período de descanso necessário para repor as reservas de GM não é respeitado. Essas situações podem ocorrer quando atletas tem duas sessões de treinamento no dia e durante competições como *tour de France*, em que os atletas participam de sucessivas provas. Além disso, estudos com cafeína e depleção de glicogênio muscular tem se concentrado em investigar seus efeitos sobre o desempenho e metabolismo anaeróbio durante testes até a exaustão (21, 22, 23, 24, 42). Dessa forma, é interessante investigar seus efeitos também em provas contra-relógio de média duração (ex: 4000m de ciclismo), na qual o metabolismo anaeróbio parece exercer efeito determinante tanto no desempenho (12), quanto no ritmo de prova (2, 28, 29). Adicionalmente, exercícios de contra-relógios parecem ser mais reprodutivos (45) e com maior validade externa, quando comparado a exercícios de intensidade constante até a exaustão (4).

Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi verificar se a ingestão de cafeína promove um aumento na contribuição anaeróbia e no desempenho em uma prova de 4000m, quando os indivíduos iniciam o exercício em situação de depleção de GM. A partir do modelo teórico vigente, a hipótese do presente estudo foi que a depleção de GM reduziria a contribuição anaeróbia e o desempenho durante a prova de 4000m. No entanto, essa redução na contribuição anaeróbia e no desempenho causada pela depleção de GM, poderia ser amenizada, ou até mesmo revertida, com a ingestão de cafeína.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostra

Parágrafo número 5. Antes da realização dos testes, os participantes do estudo responderam a um questionário referente ao seu estado de saúde e realizaram uma avaliação cardiológica através de um exame de eletrocardiograma (ECG). Após a avaliação cardiológica, sete ciclistas amadores ($32,3 \pm 5,4$ anos de idade, $73,6 \pm 7,4$ kg, $173,1 \pm 5,3$ cm, $10,5 \pm 4,7\%$ gordura, W_{\max} de $227,8 \pm 10,2$ W, $VO_{2\max}$ de $58,1 \pm 6,3$ ml.kg⁻¹.min⁻¹ e FC_{\max} de $189 \pm 6,3$ bpm) foram selecionados para participarem do presente estudo. Cada um dos participantes foi informado sobre os riscos associados ao protocolo do estudo e assinaram um termo de

consentimento concordando em participar do experimento. Os procedimentos adotados no presente estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de Alagoas para pesquisas envolvendo seres humanos, processo nº 009376/2010-19.

Desenho experimental

Parágrafo número 6. Cada um dos atletas visitou o laboratório sete vezes (figura 1). Na Primeira visita, todos os indivíduos foram submetidos a uma avaliação antropométrica para caracterização da amostra. Em seguida foi realizado um teste incremental máximo para determinar o consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) e a potência máxima (W_{max}). Na segunda visita, os indivíduos realizaram no período da manhã um teste de familiarização contra-relógio de ciclismo de 4000m. Posteriormente, nas visitas três, quatro e cinco, os indivíduos realizaram um teste contra-relógio de 4000m (ordem contrabalançada e visitas separadas por sete dias), nas seguintes condições: A) sem depleção de glicogênio muscular e ingestão de placebo (CON); B) com depleção de glicogênio muscular e ingestão de placebo (DEP-PLA); C) com depleção de glicogênio muscular e ingestão de cafeína (DEP-CAF). Nas noites anteriores aos experimentos DEP-CAF e DEP-PLA, os participantes realizaram um protocolo validado (18, 19, 25) para redução das reservas de glicogênio muscular.

Parágrafo número 7. A altura do banco para cada participante foi mensurada na primeira visita ao laboratório e foi replicada em todos os testes posteriores. Os participantes do estudo foram orientados a não realizarem atividades físicas vigorosas, não ingerirem substâncias que continham cafeína (café, chocolate, mate, pó-de-guaraná, coca-cola e guaraná) ou alcoólicas nas 24 horas precedentes aos testes.

Medidas antropométricas

Parágrafo número 8. Na primeira visita, foi realizada uma avaliação antropométrica para determinação da massa corporal, estatura e percentual de gordura, este último utilizando as dobras cutâneas do peitoral, abdômen e coxa, através da equação de Jackson e Pollock (31).

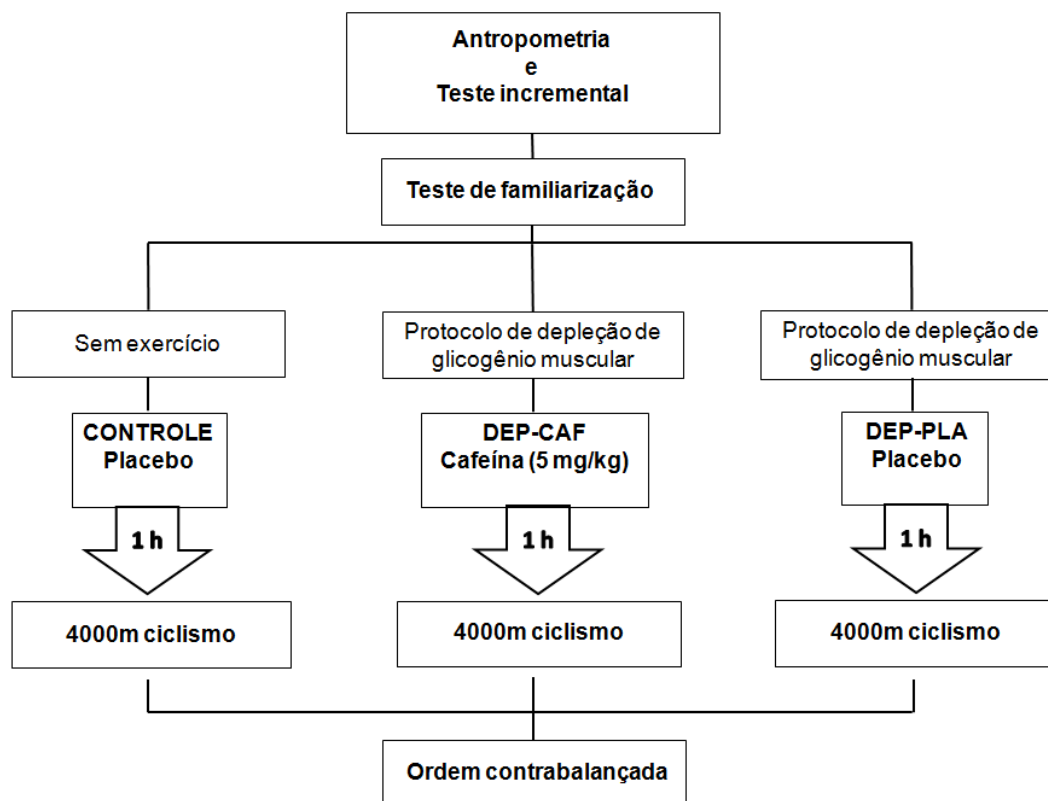


Figura 1 - Desenho experimental.

Teste incremental

Parágrafo número 9. Os sujeitos pedalarão em um ciclossimulador modelo Trainer Flow ergo T1680 (Tacx, Wassenaar, Holanda) a 100W durante três minutos para aquecimento. Após esse período, foram aplicados incrementos de 30W a cada três minutos até a exaustão, mantendo uma cadência de pedalada entre 80 e 90 rotações por minuto (rpm) até o final do teste. O teste foi interrompido quando os indivíduos não conseguiram manter a cadência de pedalada dentro desse intervalo por três avisos consecutivos feitos pelo pesquisador. Durante todo o teste, medidas de consumo de oxigênio (VO_2), dióxido de carbono (VCO_2) e volume ventilatório (VE) foram obtidas através de um analisador automático de trocas gasosas (Quark CPET, Cosmed, Itália). Antes de cada teste, os sensores de fração de O_2 e CO_2 expirado foram calibrados usando um cilindro com uma concentração conhecida de O_2 (16%) e CO_2 (5%). O volume de ar expirado foi calibrado utilizando uma seringa contendo três litros de ar. O teste foi considerado máximo quando dois ou mais dos seguintes critérios foram atendidos: 1) aumento inferior a $150 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ no VO_2 após o

incremento da carga no último estágio; 2) uma razão de trocas respiratórias (RER) $\geq 1,10$ no último estágio do teste; 3) uma frequência cardíaca (FC) \geq a 90% da máxima predita pela idade no último estágio do teste.

Parágrafo número 10. A frequência cardíaca máxima (FC_{max}) foi definida como o maior valor obtido no último estágio do teste. O VO_{2max} foi definido como o valor médio dos últimos 30s do teste incremental. A potência máxima (W_{max}) foi determinada como a maior carga que os ciclistas sustentaram durante todo o último estágio (período de três minutos). Quando a carga não foi sustentada durante todo o estágio, a W_{max} foi calculada através da seguinte equação (34):

$$W_{max} = W_c + [(t/180) \times 30]$$

Parágrafo número 11. Onde: W_c é o valor da carga do último estágio completado, t é o tempo (s) em que os ciclistas permaneceram no estágio incompleto, 180 é a duração (s) de cada estágio e 30 é o incremento de potência entre os estágios.

Teste de familiarização

Parágrafo número 12. Com um mínimo de 48 horas após a realização do teste incremental, os participantes realizaram um teste de familiarização para se adaptarem ao ciclossimulador e procedimentos adotados durante os 4000m de ciclismo contra relógio (45). Os atletas foram informados para realizar o teste no menor tempo possível e permanecer sentados na bicicleta durante todo teste. Os atletas foram livres para alterar a marcha e a cadência de pedalada durante todo teste contra relógio. Durante a realização dos testes contra relógio foi fornecido de forma verbal apenas a distância percorrida (a cada 200m) pelos atletas.

Teste experimental

Parágrafo número 13. Após o teste de familiarização (mínimo de 96 horas), os atletas realizaram três testes experimentais (DEP-CAF, DEP-PLA e CON) no período da manhã. Antes do teste, a contração voluntária máxima (CVM) foi mensurada para posteriormente normalizar o sinal da eletromiografia integrado (iEMG) durante a prova (figura 2). Cinco minutos após a realização da CVM, foi realizado um aquecimento com cinco minutos de duração em uma intensidade correspondente a 100W, mantendo a cadência de pedalada em 90 rpm. Em seguida foram realizados cinco minutos de repouso, seguido pelo teste contra relógio. Durante os testes foram realizados os mesmos procedimentos adotados no teste de familiarização, no entanto, o sinal de iEMG, a produção de potência (PPO), potência aeróbia

(P_{aer}), potência anaeróbia (P_{an}), VO_2 , e FC foram mensuradas a cada 200m. A PSE foi mensurada a cada 1000m. A concentração de lactato plasmático [La] foi mensurada antes do aquecimento (repouso), cinco minutos após o aquecimento (pré-contra relógio) e imediatamente após o teste contra relógio (pós-contra relógio).

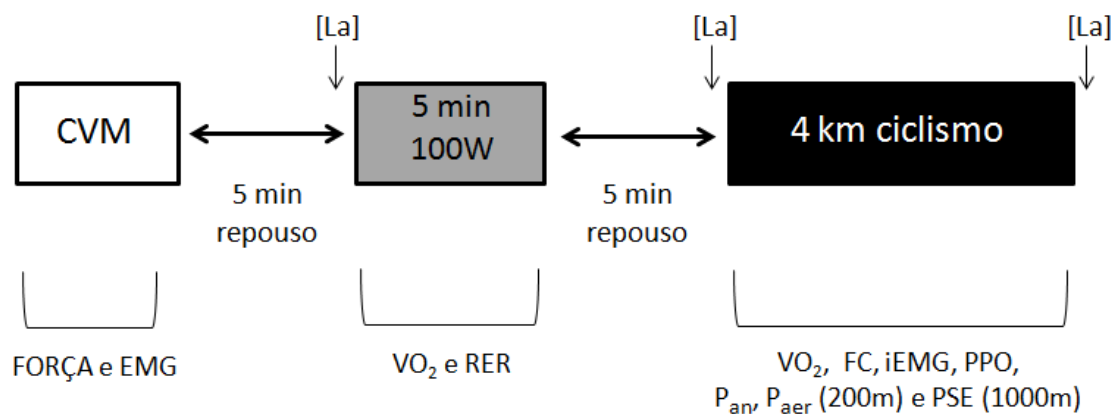


Figura 2 - Sequência de medidas do teste experimental. [La]: concentração de lactato; CVM: contração voluntária máxima; iEMG: atividade eletromiográfica integrada; VO_2 : consumo de oxigênio; RER: razão de trocas respiratórias; FC: frequência cardíaca; PPO: produção de potência; P_{aer} : potência aeróbia; P_{an} : potência anaeróbia; PSE: percepção subjetiva de esforço.

Controle dietético

Parágrafo número 14. Durante os dois dias seguintes ao teste incremental, os indivíduos foram orientados a registrarem em forma de recordatório, todos os alimentos (tipo, quantidade e horário) consumidos nesse período. A validade desse tipo de instrumento foi descrita em estudos anteriores (40, 46). Com o objetivo de manter os mesmos níveis de GM antes da realização do teste CON e do protocolo de depleção de GM, os indivíduos foram orientados a escolher um dos recordatórios para ser reproduzido no dia que antecedeu o teste CON, bem como, no café da manhã (ingerido uma hora antes) no dia desse teste. O café da manhã no teste CON foi composto de uma média de $55,8 \pm 21,4\%$ de carboidrato, $26,5 \pm 14,7\%$ de gordura e $17,7 \pm 7,8\%$ de proteína. No dia de aplicação do protocolo de depleção, os indivíduos seguiram até o início da aplicação do protocolo de depleção o mesmo padrão alimentar contido no registro escolhido. Entretanto, após o término do protocolo de depleção do GM e na manhã seguinte antes do teste experimental, os indivíduos receberam uma dieta padronizada com baixo teor de carboidrato ($12,7 \pm 0,1\%$ de carboidrato, $60,6 \pm 0,1\%$ de gordura e $26,7 \pm 0,1\%$ de proteína), elaborada por uma nutricionista, com objetivo de manter

a reserva de GM baixa.

Protocolo para depleção de glicogênio muscular

Parágrafo número 15. Os indivíduos compareceram ao laboratório na noite anterior (10-12 horas) aos testes experimentais DEP-CAF e DEP-PLA para realizar o protocolo de depleção de glicogênio muscular. Esse protocolo foi realizado da seguinte forma: os indivíduos pedalarão em uma intensidade correspondente a $70\%W_{\max}$ ($159,9 \pm 7,0$ W) durante 90 minutos. Após cinco minutos de intervalo, foram realizadas seis séries intermitentes a $125\%W_{\max}$ ($285,1 \pm 13,0$ W) com duração de um minuto de esforço seguida por um minuto de pausa passiva. Nas duas situações os indivíduos mantiveram uma cadência de pedalada entre 80 e 90 rpm. Esse protocolo foi previamente validado através de biopsia muscular, onde foi encontrada uma redução dos níveis de GM entre 50 e 70% em relação aos valores pré-exercício (19, 20, 26).

Ingestão de cafeína e placebo

Parágrafo número 16. Sessenta minutos antes do teste DEP-CAF os indivíduos ingeriram cápsulas contendo 5 mg.kg^{-1} de cafeína pura (CAF), enquanto nos testes CON e DEP-PLA foram ingeridas cápsulas constituídas de celulose (PLA). Os participantes foram informados de que todas as cápsulas ingeridas por eles continham cafeína, para evitar algum efeito placebo. As cápsulas foram administradas em sistema duplo cego.

Mensuração da contração voluntária máxima

Parágrafo número 17. Antes de cada teste contra relógio foi realizado um teste de contração voluntária máxima (CVM). Os participantes realizaram um aquecimento padronizado com quatro contrações isométricas dos músculos do quadríceps com duração de 5 segundos, intercaladas por 30s de intervalo entre elas, em uma intensidade correspondente a 50%, 60%, 70% e 80%, respectivamente, da contração máxima subjetiva de cada participante. Em seguida foram realizadas três CVM com 5 segundos de duração, separadas por 1 minuto de intervalo. Durante as contrações os atletas foram encorajados de forma verbal para atingir a força máxima. A CVM foi determinada como maior pico de força entre as três CVM. A força dos músculos do quadríceps das duas pernas, com o joelho em um ângulo de 60° (com a extensão total sendo considerada 0°) e com o quadril em 90° , foi mensurada através de uma célula de carga (EMG System Brasil, São José dos Campos, Brasil).

Aquisição e análise do sinal eletromiográfico

Parágrafo número 18. Durante as CVM e os testes contra relógio, a aquisição do sinal de iEMG do músculo vasto lateral (VL) do quadríceps direito foi realizada por meio de um eletromiografo modelo 410c (EMG system Brasil, São Paulo, Brasil). Inicialmente, foi realizada uma tricotomia seguida por uma assepsia com álcool para reduzir a impedância da pele. Após esses procedimentos, um eletrodo de superfície bipolar de Ag/AgCl (Hal, São Paulo, Brasil) foi posicionado sobre o músculo VL. O eletrodo de referência foi posicionado em um local neutro (tíbia). Os eletrodos foram fixados sobre a pele utilizando fita adesiva (Micropore™ 3M, Campinas, SP, Brasil) para minimizar o movimento dos fios. A colocação e localização dos eletrodos foram de acordo com as recomendações do SENIAM (28). A frequência de amostragem para a aquisição dos registros eletromiográficos foi de 2000Hz. Para reduzir a interferência de ruídos, o sinal foi filtrado utilizando o filtro *Butterworth* de segunda ordem (20-500 Hz). Durante o teste contra relógio a média da iEMG foi calculada a cada 200m. A iEMG coincidente com o pico de força da maior CVM foi usada para normalizar os valores de iEMG durante o teste contra relógio.

Coleta sanguínea e análise da concentração de lactato

Parágrafo número 19. Vinte e cinco micro-litros (μL) de sangue arterializado foram coletados do lóbulo da orelha direita para a análise da concentração de lactato plasmático [La] (kit Biotécnica, Varginha, Brasil). Após a realização da coleta sanguínea, as amostras foram imediatamente colocadas em microtubo contendo 25 μL de fluoreto de sódio (NaF) a 1% e em seguida foram armazenadas para posterior análise. Posteriormente, as amostras de sangue foram centrifugadas a 3000 (rpm) durante 10 minutos para separação do plasma. As concentrações plasmáticas de lactato foram determinadas por espectrofotômetro (Quimis®, São Paulo, Brasil) e os valores foram expressos em mmol.L^{-1} . Para corrigir a diluição da amostra sanguínea em NaF, os valores das [La] foram multiplicados por dois.

Mensuração de variáveis respiratórias, frequência cardíaca, produção de potência e percepção subjetiva de esforço

Parágrafo número 20. O VO_2 , VCO_2 , VE e RER foram mensurados, respiração a respiração, durante todos os testes utilizando o mesmo equipamento do teste incremental (Quark CPET, Cosmed, Itália). A FC foi mensurada batimento-a-batimento através de um cardiofrequencímetro integrado ao analisador de gases. A potência (W) produzida pelos ciclistas durante os testes contra relógio foi mensurada a cada segundo utilizando um *software*

(Tacx Trainer software 3.0, Wassenaar, Holanda). A percepção subjetiva de esforço (PSE) foi avaliada através da escala de Borg de quinze pontos (7) a cada 1000m.

Quantificação da potência aeróbia e anaeróbia

Parágrafo número 21. Primeiramente, a potência metabólica (P_{met}) durante o aquecimento foi calculada utilizando a seguinte equação (18):

$$P_{met} (W) = VO_2 (L \cdot min^{-1}) \times ((4940 RER + 16.040)/60) \quad (1)$$

Parágrafo número 22. A eficiência mecânica grossa foi determinada por meio da divisão da potência total do aquecimento (100W) pela P_{met} do mesmo (9). Durante o teste contra relógio, a P_{met} foi calculada a cada 200m, adotando um valor de RER equivalente a 1,00 (30). A P_{aer} durante o teste contra relógio foi calculada multiplicando a P_{met} pela eficiência mecânica grossa (30). A produção de P_{an} durante o teste contra relógio foi calculada através da subtração da P_{aer} da potencia total externa (P_{tot}) (30).

Análise estatística

Parágrafo número 23. A distribuição dos dados foi analisada utilizando o teste de Shapiro-Wilk. A análise de variância (ANOVA) de medidas repetidas seguido pelo teste de *least significant difference test* (LSD) para comparação pareada foi empregada para comparar os valores de P_{aer} , P_{an} , PPO, FC, PSE, Tempo, [La] e iEMG entre as situações CON, DEP-PLA e DEP-CAF. O *Effect size* e o intervalo de confiança (95% IC) foram empregados, quando apropriado, para avaliar as diferenças entre as médias de PPO, P_{aer} , P_{an} e tempo de prova. O limite mínimo para um efeito pequeno, moderado e grande foi de 0,20; 0,50 e 0,80; respectivamente (10). Para todos os tratamentos foi adotado um nível de significância de 5% ($P < 0,05$). Todas as análises foram realizadas utilizando o *software* SPSS 13.0.

RESULTADOS

Desempenho, PPO, P_{aer} , P_{an} , iEMG, PSE, FC, VO_2 e % VO_{2max} (média 4000m).

Parágrafo número 24. O tempo para completar os 4000m de ciclismo foi significativamente maior na condição DEP-PLA ($387,7 \pm 11,3s$) do que CON ($379,8 \pm 8,9s$; *effect size*= 0,65, 95% IC= 0,09 – 1,22, $P= 0,023$) e DEP-CAF ($372,6 \pm 15,7s$; *effect size*= 0,94, 95% IC= 0,10 – 1,78, $P= 0,029$, fig. 3). Não houve diferença na média de tempo para realizar os 4000m

entre as condições DEP-CAF e CON (*effect size*= 0,45, 95% IC= -0,19 – 1,09, P= 0,170, fig. 3). Da mesma forma, a PPO foi menor na condição DEP-PLA ($214,0 \pm 28,0W$) quando comparada a CON ($231 \pm 42,5W$; *effect size*= 0,77, 95% IC= 0,38 – 1,16, P< 0,001) e DEP-CAF ($241,1 \pm 39,7W$; *effect size*= 0,85, 95% IC= 0,09 – 1,61, P= 0,028, fig. 4). Similarmente ao encontrado para o tempo, a média de PPO durante os 4000m de ciclismo contra relógio não foi diferente entre as condições DEP-CAF e CON (*effect size*= 0,28, 95% IC= -0,19 – 0,76, P= 0,241, fig. 4).

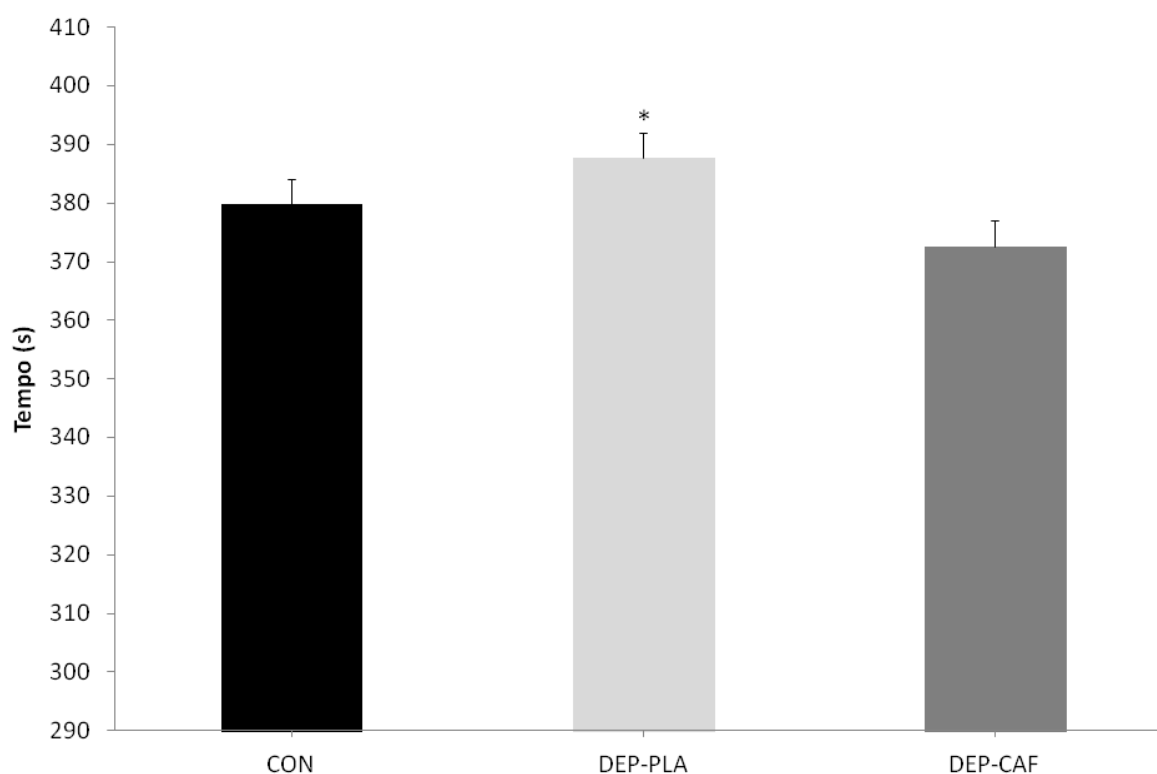


Figura 3 - Média e erro padrão da média do tempo realizado durante 4000m de ciclismo contra relógio. *Maior que CON e DEP-CAF (P<0,05).

Parágrafo número 25. Não foi encontrada diferença para a variável Paer entre as condições DEP-PLA vs CON (*effect size*= 0,099, 95% IC= 0,73 – 0,93, P= 0,815), DEP-CAF vs DEP-PLA (*effect size*= 0,3, 95% IC= -0,351 – 0,95, P= 0,366) e DEP-CAF vs CON (*effect size*= 0,456, 95% IC= -0,1 – 1,013, P= 0,108). Entretanto, a Pan foi maior na condição DEP-CAF ($67,4 \pm 14,91W$) quando comparado a CON ($55,3 \pm 14W$, *effect size*= 0,72, 95% IC= 0,089 – 1,35, P= 0,025) e a DEP-PLA ($47,3 \pm 14,6W$, *effect size*= 1,18, 95% IC= 0,56 – 1,78, P<

0,001). Da mesma forma, a Pan foi ligeiramente menor em DEP-PLA ($47,3 \pm 14,6W$) em comparação a CON ($55,3 \pm 14,0W$), mas essa diferença não atingiu significância estatística ($P = 0,061$). O tamanho desse efeito não atingiu diferença significativa, apesar dos valores terem sido *border lines* ($effect\ size = 0,48$, $95\% IC = -0,022 - 0,990$, $P = 0,061$), como pode ser evidenciado na figura 4.

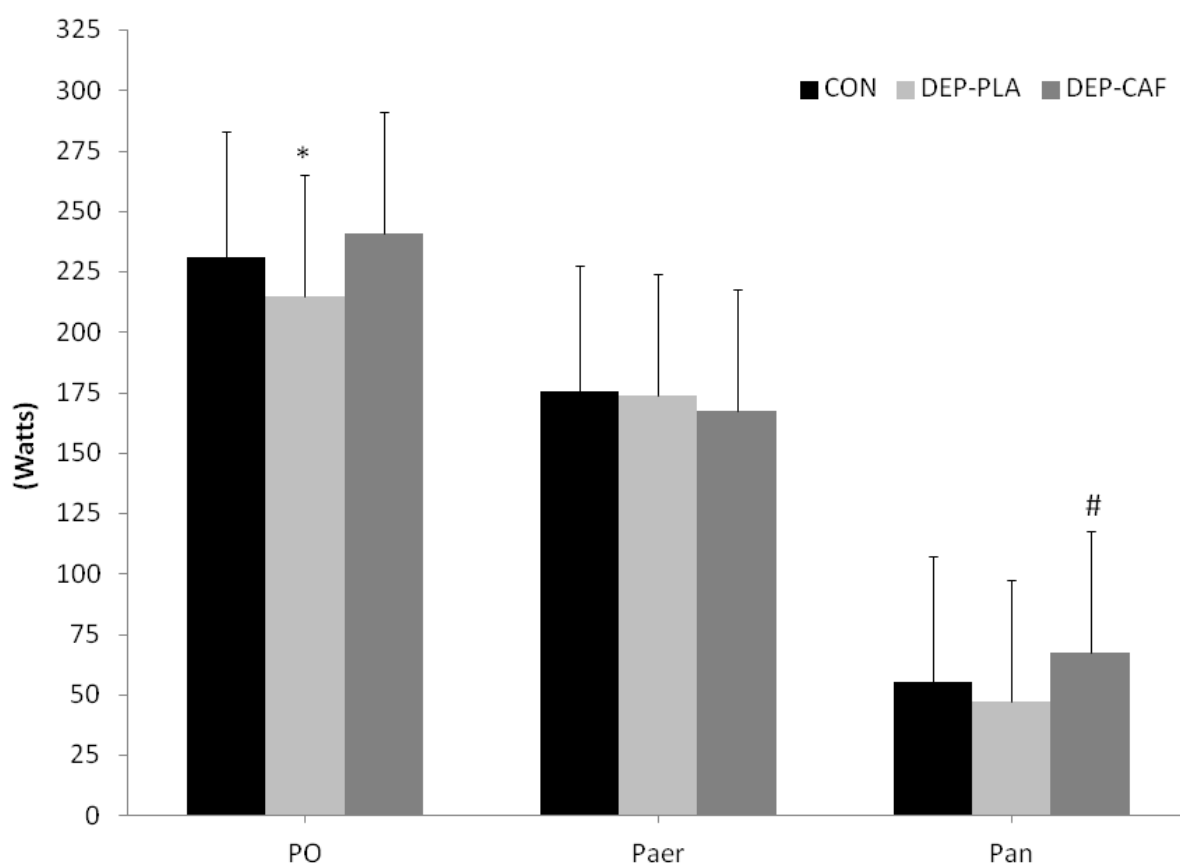


Figura 4 - Média e erro padrão da produção de potência (PPO), Potência aeróbia (Paer) e Potência anaeróbia (Pan) durante 4000m de ciclismo contra relógio. *Menor que CON e DEP-CAF ($P < 0,05$); # Maior que DEP-PLA e CON ($P < 0,05$).

Parágrafo número 26. Não foi encontrada diferença nas médias das variáveis de iEMG, PSE, VO_2 e $\%VO_{2max}$ durante os 4000m de ciclismo entre as condições ($P > 0,05$). Por outro lado a FC foi menor ($P < 0,05$) na condição DEP-PLA (167 ± 14 bpm) em relação à DEP-CAF (173 ± 14 bpm), como demonstrado na tabela 1. Não houve diferença na FC entre as condições CON quando comparadas a DEP-CAF ($P > 0,05$).

Tabela 1. Média e desvio padrão da iEMG, VO₂, %VO_{2max}, FC e PSE durante os 4000m de ciclismo contra relógio.

Variáveis	CON	DEP-PLA	DEP-CAF
iEMG (%CVM)	24,1 ± 8,2	26,4 ± 5,9	21,5 ± 7,5
VO ₂ (L.min ⁻¹)	3,9 ± 0,3	4,0 ± 0,2	4,0 ± 0,4
% VO _{2max}	92,7 ± 7,7	94,7 ± 7,7	93,4 ± 10,3
PSE	13,6 ± 0,7	14,3 ± 1,1	13,8 ± 0,4
FC (bpm)	171 ± 13	168 ± 14	173 ± 14*

iEMG: atividade eletromiográfica; VO₂: consumo de oxigênio; %VO_{2max}: porcentagem do consumo máximo de oxigênio; PSE: percepção subjetiva de esforço; FC: frequência cardíaca.

*Diferente de DEP-PLA (P<0,05).

PPO, Paer, Pan, iEMG, PSE, FC, VO₂ e %VO_{2max} (média a cada 1000m).

Parágrafo número 27. A PPO, Paer e Pan são apresentadas como médias e desvios padrão para cada segmento de 1000m na tabela 2. Foi evidenciada uma redução significativa (P<0,05) na média de PPO nas distâncias de 1000m na condição DEP-PLA comparado a DEP-CAF e CON. Similarmente, em 2000m a PPO na condição DEP-PLA foi menor do que em DEP-CAF. Foi encontrado efeito da distância (P<0,05) nas condições DEP-PLA e DEP-CAF.

Parágrafo número 28. A Paer foi menor (P<0,05) apenas nos 4000m na condição DEP-PLA, quando comparado a COM. A Paer sofreu efeito da distância (P<0,05) nas condições CON, DEP-PLA e DEP-CAF. Quando comparado a produção de Pan entre as condições, foi evidenciada uma redução significativa (P<0,05) nas distâncias de 1000, 2000 e 3000m na condição DEP-PLA quando comparado a DEP-CAF. A média de Pan foi significativamente maior nos primeiros 1000m (P<0,05) nas condições CON, DEP-PLA e DEP-CAF.

Parágrafo número 29. A FC foi significativamente menor (P<0,05) em 1000, 2000 e 3000m na condição DEP-PLA comparada a DEP-CAF. A PSE foi menor (P<0,05) em DEP-CAF quando comparado a condição CON apenas nos primeiros 1000m. Não houve diferença significativa nas variáveis VO₂ e %VO_{2max} entre as condições em nenhuma das distâncias (P>0,05). De um modo geral as variáveis FC, PSE, VO₂ e %VO_{2max} apresentaram um aumento ao longo dos 4000m de ciclismo contra relógio. A iEMG foi significativamente maior (P<0,05) em DEP-PLA quando comparada a DEP-CAF. A condição CON apresentou um aumento significativo na iEMG em 4000m vs 1000m (P<0,05).

Tabela 2. Média e desvio padrão para as variáveis de PPO, Paer, Pan, iEMG, VO₂, %VO_{2max}, FC e PSE médias em cada trecho de 1000m.

	Distância			
	1000m	2000m	3000m	4000m
PPO (W)				
CON	245,5 ± 34,2 [*]	217,9 ± 22,3	215,3 ± 27,8	245,6 ± 51,3
DEP-PLA	209,0 ± 19,0	207,5 ± 15,4	202,9 ± 16,7	240,3 ± 42,4 ^{§‡}
DEP-CAF	255,3 ± 50,5 [*]	237,3 ± 31,3 [*]	222,8 ± 25,5	248,8 ± 34,9 [‡]
Paer (W)				
CON	143,8 ± 11,3	182,2 ± 16,7	186,8 ± 19,8	190,1 ± 18,8 ^{†§*}
DEP-PLA	140,9 ± 5,0	173,4 ± 5,6	176,7 ± 6,5	179,5 ± 10,2 [†]
DEP-CAF	144,0 ± 15,3	180,5 ± 19,8	184,9 ± 21,8	185,4 ± 22,0 ^{†§}
Pan (W)				
CON	101,7 ± 40,4 ^{§‡}	35,7 ± 17,8	28,5 ± 13,2	55,4 ± 44,3
DEP-PLA	68,0 ± 15,8 ^{§‡}	34,1 ± 10,6	26,2 ± 11,6	60,9 ± 38,0
DEP-CAF	111,4 ± 39,0 ^{§‡€*}	56,8 ± 21,1 [*]	37,9 ± 7,8 [*]	63,4 ± 25,1
VO₂ (L.min⁻¹)				
CON	3,2 ± 0,3	4,1 ± 0,3	4,2 ± 0,3	4,2 ± 0,3 ^{†§}
DEP-PLA	3,4 ± 0,2	4,1 ± 0,2	4,2 ± 0,2	4,3 ± 0,2 ^{†§}
DEP-CAF	3,3 ± 0,3	4,1 ± 0,4	4,2 ± 0,5	4,2 ± 0,5 ^{†§‡}
% VO_{2max}				
CON	76,1 ± 8,8	96,3 ± 7,6	98,5 ± 8,4	100,1 ± 7,4 ^{†§}
DEP-PLA	77,4 ± 7,7	97,1 ± 10,5	99,4 ± 11,7	99,7 ± 11,6 [†]
DEP-CAF	79,7 ± 8,0	98,0 ± 8,5	99,8 ± 7,6	101 ± 7,5 ^{†§}
FC (bpm)				
CON	154 ± 20	171 ± 2	175 ± 2	180 ± 2 ^{†§‡}
DEP-PLA	149 ± 19	168 ± 2	172 ± 2	178 ± 3 ^{†§‡}
DEP-CAF	156 ± 19 [*]	174 ± 2 [*]	178 ± 1 [*]	182 ± 2 ^{†§‡}
PSE				
CON	11,0 ± 1,7 [#]	12,6 ± 0,5	14,6 ± 1,6	16,4 ± 2,4 ^{†§‡}
DEP-PLA	10,7 ± 1,7	12,7 ± 1,3	14,6 ± 1,1	17,0 ± 1,7 ^{†§‡}
DEP-CAF	10,3 ± 1,5	12,4 ± 1,3	14,9 ± 1,5	17,4 ± 2,0 ^{†§‡}
iEMG (%CVM)				
CON	22,3 ± 6,5	22,1 ± 8,2	22,4 ± 10,5	32,0 ± 10,5 [†]
DEP-PLA	26,5 ± 5,3	26,7 ± 8,0 [#]	25,5 ± 5,3	27,0 ± 8,0
DEP-CAF	19,4 ± 6,3	23,1 ± 7,2	20,9 ± 8,1	22,6 ± 12,3

PPO: produção de potência; P_{aer}: potência aeróbia; P_{an}: potência anaeróbia; iEMG: atividade eletromiográfica; VO₂: consumo de oxigênio; %VO_{2max}: porcentagem do consumo máximo de oxigênio; PSE: percepção subjetiva de esforço; FC: frequência cardíaca. *Diferente de DEP-PLA (P<0,05); #Diferente de DEP-CAF (P<0,05); †Diferente de 1000m na mesma condição (P=0,05); §Diferente de 2000m na mesma condição (P<0,05); ‡ Diferente de 3000m na mesma condição (P<0,05); €Diferente de 4000m na mesma condição (P<0,05).

Parágrafo número 30. A FC foi significativamente menor ($P < 0,05$) em 1000, 2000 e 3000m na condição DEP-PLA comparada a DEP-CAF. A PSE foi menor ($P < 0,05$) em DEP-CAF ($10,3 \pm 1,5$) quando comparado a condição CON ($11,0 \pm 1,7$) apenas nos primeiros 1000m. Não houve diferença significativa nas variáveis VO_2 e $\%VO_{2max}$ entre as condições em nenhuma das distâncias ($P > 0,05$). De um modo geral as variáveis FC, PSE, VO_2 e $\%VO_{2max}$ apresentaram um aumento ao longo dos 4000m de ciclismo contra relógio. A iEMG foi significativamente maior em DEP-PLA quando comparada a DEP-CAF ($26,7 \pm 8,0$ vs $23,1 \pm 7,2\%$, respectivamente, $P < 0,05$). A condição CON apresentou um aumento significativo na iEMG em 4000m vs 1000m ($P < 0,05$).

Concentração de lactato plasmático.

Parágrafo número 31. As concentrações de [Lac] no repouso, pré-contra relógio e pós-contra relógio não foram significativamente diferentes entre as condições ($P > 0,05$). As concentrações de [Lac] pós-contra relógio foram significativamente maiores ($P < 0,05$) nas três condições (DEP-CAF: $8,8 \pm 1,8$ mmol.L⁻¹; DEP-PLA: $7,9 \pm 1,2$ mmol.L⁻¹; CON: $9,1 \pm 2,9$ mmol.L⁻¹) quando comparado ao repouso (DEP-CAF: $1,0 \pm 0,3$ mmol.L⁻¹; DEP-PLA: $1,1 \pm 0,6$ mmol.L⁻¹; CON: $1,0 \pm 0,6$ mmol.L⁻¹) e a pré-contra relógio (DEP-CAF: $0,9 \pm 0,2$ mmol.L⁻¹; DEP-PLA: $0,7 \pm 0,2$ mmol.L⁻¹; CON: $1,0 \pm 0,6$ mmol.L⁻¹).

DISCUSSÃO

Parágrafo número 32. O objetivo do presente estudo foi examinar se a ingestão aguda de cafeína promoveria um aumento na contribuição anaeróbia e no desempenho durante uma simulação de prova de 4000m de ciclismo quando as reservas de glicogênio encontraram-se reduzidas. A nossa hipótese foi que em situação de depleção de GM, a contribuição anaeróbia e o desempenho seriam prejudicados durante a prova de 4000m. Por outro lado, essa redução na contribuição anaeróbia e do desempenho causada pela depleção de GM, seria amenizada com a ingestão de cafeína. Os achados sugerem que o desempenho foi prejudicado em DEP-PLA, quando comparado ao CON, mas a suplementação de cafeína (DEP-CAF) foi efetiva para reverter esse efeito deletério. Além disso, a suplementação de cafeína combinada a depleção de GM (DEP-CAF) também aumentou a contribuição anaeróbia em comparação a depleção de GM sem o suplemento (DEP-PLA). Houve uma tendência na redução da contribuição anaeróbia em DEP-PLA em relação a CON, mas isso não atingiu significância estatística, apesar do tamanho do efeito (*effect size*) ser considerado como moderado (*effect*

size= 0,48, 95% IC= -0,022 – 0,990, P= 0,061). Dessa forma, a nossa hipótese foi parcialmente confirmada.

Parágrafo número 33. Apesar de não ter mensurado de forma direta a quantidade de GM, nós podemos assumir que protocolo de depleção de GM foi efetivo, visto que estudos utilizando protocolo similar ao utilizado demonstraram uma redução significativa (de 50 a 70%) no GM, em comparação aos valores pré-exercício (19, 20, 26). Com a redução das reservas de GM, os sujeitos tiveram o seu desempenho e PPO prejudicados em relação a situação em que suas reservas de GM não foi manipulada, fato esperado quando realizando exercício em condição de depleção (39, 42). Em acordo com esses resultados, Langfort et al. (37) encontraram uma significativa redução na média de potência durante um teste de Wingate após 3 dias de dieta com baixo conteúdo de CHO, quando comparado a uma dieta normal. Esses achados tem sido confirmados por outros estudos (22, 23, 42), apesar de alguns resultados contrários (25, 47).

Efeitos da cafeína sobre o desempenho e PPO

Parágrafo número 34. Estudos prévios têm demonstrado um aumento no desempenho durante exercício de alta intensidade após ingestão de cafeína (5, 14, 44). Recentemente, Wiles et al. (49) utilizando uma dose de CAF igual ao do presente estudo (5 mg.kg^{-1}) constataram uma melhora de 3,1% no desempenho durante 1000m de ciclismo contra relógio comparado a condição placebo. O aumento do desempenho em exercícios contra relógio de alta intensidade após ingestão de cafeína tem sido evidenciado por outros estudos em diferentes modalidades esportivas (17). Da mesma ao que encontramos, a melhora no desempenho com a ingestão de cafeína encontrada por Wiles e colaboradores (49) foi acompanhada por um aumento de 3,6% na PPO média, enquanto que, nós evidenciamos um aumento em torno de 13%, quando a cafeína foi usada em situação de depleção de GM, em comparação a condição DEP-PLA. Dessa forma, foi demonstrado pela primeira vez que a ingestão de cafeína em sujeitos com baixa disponibilidade de GM aumenta o desempenho para níveis próximos ao encontrado quando as reservas de GM estão normais.

Parágrafo número 35. Quando a PPO foi analisado em intervalos de 1000m, nós constatamos uma redução nos primeiros 1000m na condição DEP-PLA em comparação a CON. Por outro lado, com a suplementação de cafeína, essa redução na PPO no início em DEP-PLA foi revertida. Com a ingestão de cafeína em situação de depleção de GM, os sujeitos aumentaram a PPO nos primeiros 2000m, em relação a DEP-PLA. Diferentemente ao encontrado por Hentinga et al (29), onde uma saída rápida nos primeiros 2000m de um contra relógio de ciclismo de 4000m de ciclismo resultou em redução na PPO no trecho final, uma maior PPO

na primeira metade da prova com o uso da cafeína não prejudicou a sua manutenção no restante da prova em relação a DEP-PLA, demonstrando que o uso de cafeína parece reverter os efeitos negativos da depleção de glicogênio muscular principalmente pelo aumento na potência no trecho inicial da prova, e isso não se converte em fadiga no trecho final da prova.

Efeitos da cafeína sobre a contribuição aeróbia, anaeróbia e lactato

Parágrafo número 36. Como esperado, a ingestão de cafeína não alterou a Paer durante todo o 4000m e a cada trecho de 1000m de ciclismo contra relógio, quando comparado a condição DEP-PLA. A média de Paer durante os 4000m de ciclismo contra relógio também não foi modificada com a depleção de GM. Entretanto, a Paer foi menor nos últimos 1000m em DEP-PLA, em relação à CON. Apesar da explicação para esses resultados não ser tão clara, nós sugerimos que isso possa ter ocorrido devido a uma menor disponibilidade de substrato para ser oxidado durante o exercício em condições de depleção de GM. Lima-Silva et al. (38) sugeriram que a redução no desempenho durante exercício de alta intensidade realizada em intensidades acima do segundo limiar de lactato após dois dias de dieta com baixo teor de CHO parece ser devido a uma menor contribuição da oxidação de CHO para ressíntese de ATP, levando ao aumento da contribuição da gordura como fonte energética. Entretanto, a oxidação das gorduras necessita de um processo metabólico mais lento, podendo levar a uma redução na velocidade de fornecimento de energia, explicando assim uma menor Paer nos últimos 1000m.

Parágrafo número 37. No que diz respeito a Pan, houve uma redução na média dos 4000m e nos primeiros 1000m com a depleção de GM (DEP-PLA), em comparação a DEP-CAF. Estudos em humanos (37, 43) e animais (35,36) têm constatado que a baixa disponibilidade de GM reduz a contribuição do sistema anaeróbio e que isso seria atribuído a uma limitação na taxa de glicogenólise e glicólise (37, 43). Uma explicação alternativa para uma menor contribuição anaeróbia é sugerida por Langfort e colaboradores (37). Segundo os autores, com uma redução das reservas de GM existe uma maior disponibilidade de gordura para gerar energia durante o exercício, o que exerceria um efeito inibitório sobre a atividade da fosfrutoquinase. Adicionalmente, uma maior concentração plasmática de catecolaminas em situação de baixa disponibilidade de GM (16, 27, 48) poderia promover um aumento na glicogenólise, porém esse efeito também parece ser inibido por uma maior disponibilidade de gordura.

Parágrafo número 38. Diversos estudos têm sugerido que a contribuição anaeróbia durante exercício contra relógio é fixa (2, 28, 29). Em especial, a ingestão de cafeína parece promover

um aumento na contribuição anaeróbia durante exercícios de alta intensidade (5, 14, 44), mas isso não tem sido medido durante provas de contra-relógio. Simonds et al. (44), utilizando um protocolo de exercício de carga constante até a exaustão ($120\%VO_{2max}$), demonstraram um aumento significativo de 6,5% no MAOD com a ingestão de cafeína, quando comparado a placebo. Os achados de Simonds et al. (44) são corroborados por outros estudos (5, 14). No presente estudo, a média de Pan durante os 4000m de ciclismo contra relógio foi aumentada em DEP-CAF, em comparação as condições DEP-PLA e CON, o que parece indicar que a cafeína exerce um efeito mais potente sobre a contribuição anaeróbia do que a depleção de GM. O mecanismo exercido pela ingestão de cafeína sobre a contribuição anaeróbia ainda são inconclusivos. Com base nos resultados de outros estudos (11, 15), Bridge e colaboradores (8) sugeriram que a cafeína resulta em uma maior liberação de cálcio, facilitando desta forma a transformação da enzima fosforilase *b* para sua forma mais ativa *a*, o que levaria a uma aceleração na glicogenólise. Adicionalmente, Simonds et al., (2010) propõem que a cafeína aumenta a contribuição anaeróbia por meio de sua ação antagônica nos receptores de adenosina, baseado nos resultados encontrados por Mansour (1972) (41), onde foi constatada uma inibição da adenosina sobre a atividade da enzima fosfrutoquinase no músculo esquelético de coelhos. Além desses mecanismos sugeridos acima, outro mecanismo proposto por Collomp et al. (11) estaria na ação da cafeína em aumentar a secreção de epinefrina, resultando no aumento da glicogenólise.

Parágrafo número 39. A regulação da distribuição da potência ao longo de uma prova de média distância (4000m) parece se dá através de alterações na produção de Pan (2, 29). Quando analisada a média a cada 1000m, a Pan apresentou um aumento significativo nos primeiros 3000m em DEP-CAF, em comparação a DEP-PLA. Apesar do aumento da Pan em DEP-CAF em relação à DEP-PLA no trecho 2000-3000m não ser acompanhado por um aumento significativo na PPO, a maior produção de Pan nos primeiros 2000m resultou em um aumento na PPO, corroborando com a idéia de que a PPO parece ser regulada principalmente por alterações na Pan (2, 29). O emprego de uma maior potência no início da prova de 4000m parece ser benéfico para o desempenho. Aisbett et al. (2) demonstraram que uma saída mais rápida resulta na melhora do desempenho em relação a uma saída lenta ou constante.

Recrutamento muscular

Parágrafo número 40. Foi observado um aumento significativo na iEMG no último 1000m em relação ao primeiro 1000m na condição CON. Entretanto, apesar desse aumento na iEMG, a PPO não foi acompanhada desse aumento. Nas condições DEP-CAF e DEP-PLA, o

recrutamento muscular permaneceu constante, embora tenha havido uma alteração na PPO ao longo da prova. Essas observações sugerem a existência de fadiga periférica e são contrárias aos achados de Kalmar e Cafarelli (32), que sugerem que a ingestão de cafeína exerceu um aumento no recrutamento muscular. Desta forma, os resultados encontrados no presente estudo sugerem que a ingestão de cafeína tenha efeitos periféricos

CONCLUSÃO

Parágrafo número 41. Uma aplicação prática dos nossos resultados seria o uso da cafeína durante os treinamentos, uma vez que atletas frequentemente realizam duas ou mais sessões de treinamento em períodos diferentes do dia, o que pode resultar na redução da reserva de GM e prejudicar a manutenção da intensidade do treinamento. Além disso, a cafeína pode ser utilizada durante competições como *tour de France*, onde os atletas realizam diversas provas de ciclismo em vários dias consecutivos, o que pode levar a redução dos níveis de glicogênio sem que os atletas tenham tempo suficiente para repor totalmente a reservas de GM.

Parágrafo número 42. Em conclusão, o presente estudo demonstrou que a depleção de GM promove uma redução no desempenho e que ingestão de cafeína em situação de baixa disponibilidade de GM aumenta a contribuição anaeróbia e o desempenho durante 4000m de ciclismo contra relógio, restabelecendo para níveis próximos ao encontrado quando as disponibilidades de CHO encontram-se normal.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os atletas que participaram do presente estudo e ao CNPq pela bolsa de mestrado concedida.

REFERÊNCIAS

1. Ahlborg B, Bergstrom J, Ekelund LG, Hultman E. Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. *Acta Physiol Scand.* 1967; 70: 129-42.
2. Aisbett B, Rossignol LP, McConell GK, Abbiss CR, Snow R. Effects of starting strategy on 5-min cycling time-trial performance. *J Sports Sci.* 2009; 27(11): 1201–1209.
3. Anselme F, Collomp K, Mercier B, Ahmadi S, Prefaut C. Caffeine increases maximal anaerobic power and blood lactate concentration. *Eur J Appl Physiol.* 1992; 65:188-91.
4. Atkinson G, Peacock O, Gibson AS, Tucker R. Distribution of power output during cycling: impact and mechanisms. *Sports Med.* 2007; 37: 647-67.
5. Bell DG, Jacobs IRA, Ellerington K. Effect of caffeine and ephedrine ingestion on anaerobic exercise performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2001; 33:1399-403.
6. Bergstrom J, Hermansen L, Hultman E, Saltin B. Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol Scand.* 1967; 71: 140-50.
7. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982; 14: 377-81.
8. Bridge CA, Jones MA. The effect of caffeine ingestion on 8 km run performance in a field Setting. *J Sports Sci.* 2006; 24: 433-39.
9. Chavarren J, Calbet JA. Cycling efficiency and pedaling frequency in road cyclists. *Eur J Appl Physiol.* 1999; 80:555-63.
10. Cohen, J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd edn.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
11. Collomp, K, Ahmaidi S, Audran M, Chanal JL, Prefaut C. Effects of caffeine ingestion on performance and anaerobic metabolism during the Wingate test. *Int J Sports Med.* 1991; 12:439-43.
12. Craig NP, Norton KI, Bourdon PC, Woolford SM, Stanef T, Squires B, Olds TS, Conyers RA, Walsh CB. Aerobic and anaerobic indices contributing to track endurance cycling performance. *Eur J Appl Physiol.* 1993; 67: 150-8.
13. Doherty M, Smith PM. Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: a meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports.* 2005; 15: 69-78.

14. Doherty M. The effects of caffeine on the maximal accumulated oxygen deficit and short-term running performance. *Int J Sports Nutr.* 1998; 8:95-104.
15. Fisher, EH., Heilmayer, LMG, Hascke, R H. Phosphorylase and the control of glycogen degradation. *Current Topics in Cellular Regulation.* 1971; 4: 211 – 251.
16. Galbo, H, Holst, JJ, Christensen, NJ. The effect of different diets and of insulin on the hormonal response to prolonged exercise. *Acta Physiologica Scandinavica.* 1979; 107: 19–32.
17. Ganio MS, Klau JF, Casa DJ, Armstrong LE, Maresh CM. Effect of caffeine on sport-specific endurance performance: a systematic review. *J Strength Cond Res.* 2009; 23(1):315-24.
18. Garby L, Astrup A. The relationship between the respiratory quotient and the energy equivalent of oxygen during simultaneous glucose and lipid oxidation and lipogenesis. *Acta Physiol. Scand.* 1987; 129:443-44.
19. Gollnick PD, Armstrong RB, Sembrowich WL, Shepherd RE, Saltin, B. Glycogen depletion pattern in human skeletal muscle fibers after heavy exercise. *J Appl Physiol.* 1973; 34: 615-18.
20. Gollnick PD, Piehl K, Saltin B. Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibres after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates. *J Appl Physiol.* 1974; 241: 45-57.
21. Graham TE, Spriet LL. Performance and metabolic responses to a high caffeine dose during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology.* 1991; 71: 2292–2298.
22. Greenhaff PL, Gleeson M, Maughan RJ. The effects of dietary manipulation on blood acid-base status and the performance of high intensity exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1987;56(3):331-7.
23. Greenhaff PL, Gleeson M, Whiting, PH, Maughan RJ. Dietary composition and acid-base status: limiting factors in the performance of maximal exercise in man? *Eur J Appl Physiol.* 1987; 56: 444-50.
24. GREER F, FRIARS D, GRAHAM TE. Comparison of caffeine and theophylline ingestion: exercise metabolism and endurance. *Journal of Applied Physiology,* v.89, p.1837-44, 2000.
25. Hargreaves M, Finn JP, Withers RT, Halbert JA, Scroop GC, Mackay M, Snow RJ, Carey MF. Effect of muscle glycogen availability on maximal exercise performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1997;75(2):188-92.

26. Heigenhauser GJF, Sutton, JR, Jones NL. Effect of glycogen depletion on the ventilatory response to exercise. *J Appl Physiol.* 1983; 54: 470-74.
27. Helie, R., Lavoie, JM, Cousineau D. Effects of a 24-h carbohydrate-poor diet on metabolic and hormonal responses during prolonged glucose-infused leg exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 1985; 54: 420–426.
28. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *J Electromyogr Kinesiol.* 2000; 10: 361-74.
29. Hettinga FJ, De Koning JJ, Broersen FT, Vangeffen P, Foster C. Pacing Strategy and the Occurrence of Fatigue in 4000-m Cycling Time Trials. *Med Sci Sports Exerc.* 2006; 38: 1484-91.
30. Hettinga FJ, De Koning JJ, Meijer E, Teunissen L, Foster C. Effect of pacing strategy on energy expenditure during a 1500-m cycling time trial. *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 39(12):2212-8.
31. Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr.* 1978; 40: 497-504.
32. Kalmar JM, Cafarelli E. Effects of caffeine on neuromuscular function. *J Appl Physiol.* 1999; 87:801-08.
33. Karlsson J, Saltin B. Diet, muscle glycogen, and endurance performance. *J Appl Physiol.* 1971; 31: 203-6.
34. Kuipers H, Verstappen FTJ, Keizer HA, Guerten P. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiological correlates. *Int J Sports Med.* 1985; 6: 197-201.
35. Lacombe V, Hinchcliff KW, Geor RJ, Lauderdale MA. Exercise that induces substantial muscle glycogen depletion impairs subsequent anaerobic capacity. *Equine Vet J Suppl.* 1999; 30:293-7.
36. Lacombe VA, Hinchcliff KW, Geor RJ, Baskin CR. Muscle glycogen depletion and subsequent replenishment affect anaerobic capacity of horses. *J Appl Physiol.* 2001; 91(4):1782-90.
37. Langfort J, Zarzeczny R, Pilis W, Nazar K, Kaciuba-Uscitko H. The effect of a low-carbohydrate diet on performance, hormonal and metabolic responses to a 30-s bout of supramaximal exercise. *Eur J Appl Physiol.* 1997; 76: 128-33.
38. Lima-Silva AE.; DE-Oliveira F.R.; Nakamura F.Y., M.S. Gevaerd. Effect of carbohydrate availability on time to exhaustion in exercise performed at two

- different intensities. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 2009; 42: 404-412.
39. Lima-Silva AE, Pires FO, Bertuzzi RC, Lira FS, Casarini D, Kiss MA. Low carbohydrate diet affects the oxygen uptake on-kinetics and rating of perceived exertion in high intensity exercise *Psychophysiology*. 2011; 48: 277–84
40. Magkos F, Yannakoulia M. Methodology of dietary assessment in athletes: concepts and pitfalls. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2003; 6: 539-49.
41. Mansour TE. Phosphofructokinase activity in skeletal muscle extracts following administration of epinephrine. *J Biol Chem*. 1972; 247:6059–6066.
42. Maughan RJ, Poole DC. The effects of a glycogen-loading regimen on the capacity to perform anaerobic exercise. *Eur J Appl Physiol*. 1981; 46: 211-9.
43. Miura A, Sato H, Sato H, Whipp BJ, Fukuba Y. The effect of glycogen depletion on the curvature constant parameter of the power-duration curve for cycle ergometry. *Ergonomics*. 2000; 43(1):133-41.
44. Simmonds MJ, Minahan CL, Sabapathy S. Caffeine improves supramaximal cycling but not the rate of anaerobic energy release. *Eur J Appl Physiol*. 2010; 109: 287-95.
45. Stone MR, Thomas K, Wilkinson M, St Clair Gibson, Thompson KG. Consistency of perceptual and metabolic responses to a laboratory-based simulated 4,000-m cycling time trial. *Eur J Appl Physiol*. 2011; 111: 1807-13.
46. Storlie, J. Nutrition assessment of athletes: a model for integrating nutrition and physical performance indicators. *Int J Sport Nutr*. 1991; 1: 192-209.
47. Vandenberghe K, Hespel P, Vanden Eynde B, Lysens R, Richter EA. No effect of glycogen level on glycogen metabolism during high intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 1995; 27(9):1278-83.
48. Weltan, SM, Bosch, AN, Dennis, SC, Noakes, TD. Influence of muscle glycogen content on metabolic regulation. *American Journal of Physiology (Endocrinol. Metab.)*, 1998; 274: E72-E82.
49. Wiles JD, Coleman D, Tegerdine M, et al. The effects of caffeine ingestion on performance time, speed and power during a laboratory-based 1 km cycling time-trial. *J Sports Sci* 2006; 24: 1165-71.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do artigo de revisão demonstraram que a suplementação de cafeína combinado ao carboidrato parece exercer um efeito adicional sobre o desempenho. Apesar dos estudos sugerirem que o efeito adicional exercido pela cafeína quando ingerida com carboidrato pareça estar no aumento da atividade do SGLT1 e GLUT2, mais estudos devem ser realizados para confirmar essa sugestão. No que diz respeito aos achados do artigo de resultados, nós evidenciamos que a ingestão aguda de cafeína foi capaz de reverter a diminuição no desempenho em decorrência da depleção de glicogênio muscular. Adicionalmente, o uso de cafeína em situação de depleção de glicogênio muscular também promoveu um aumento na contribuição anaeróbia em comparação a depleção de glicogênio muscular e controle. Entretanto, os mecanismos envolvidos no aumento da contribuição anaeróbia, ainda restam ser completamente elucidados.

4 REFERÊNCIAS BIBLIGRÁFICAS

ANSELMO, F.; COLLOMP, K.; MERCIER, B.; AHMAIDI, S.; PREFAUT C. Caffeine increases maximal anaerobic power and blood lactate concentration. *European Journal of Applied Physiology*, v. 65, p. 188-191, 1992.

BELL D.G.; JACOBS, I.R.A.; ELLERINGTON, K. Effect of caffeine and ephedrine ingestion on anaerobic exercise performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 33, p. 1399-1403, 2001.

CHESTER, N.; WOJEK, N. Caffeine consumption amongst British athletes following changes to the 2004 WADA prohibited list. *International Journal of Sports and Medicine*, v. 29(6), p. 524-528, 2007.

COSTILL, D.L.; DALSKY, G.P.; FINK, W.J. Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. *Medicine and Science in Sports Exercise*, v.10, p.155-158, 1978.

DESBROW, B.; LEVERITT, M. Awareness and use of caffeine by athletes competing at the 2005 Ironman Triathlon World Championships. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, v. 16(5), p. 545-558, 2006.

DOHERTY, M. The effects of caffeine on the maximal accumulated oxygen deficit and short-term running performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. v. 8, p. 95-104, 1998.

GRAHAM, T.E.; SPRIET, L.L. Performance and metabolic responses to a high caffeine dose during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*. v.71, p. 2292–2298, 1991.

GREENHAFF, P.L.; GLEESON, M.; MAUGHAN, R.J. The effects of dietary manipulation on blood acid-base status and the performance of high intensity exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, v. 56 (3), p. 331-337, 1987a.

GREENHAFF, P.L.; GLEESON, M.; WHITING, P.H.; MAUGHAN, R.J. Dietary composition and acid-base status: limiting factors in the performance of maximal exercise in man? *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, v. 56 (4), p. 444-450, 1987b.

GREENHAFF, P.L.; GLEESON, M.; MAUGHAN, R.J. Diet-induced metabolic acidosis and the performance of high intensity exercise in man. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. v. 57(5), p.583-590, 1988.

GREER, F.; FRIARS, D.; GRAHAM, T.E. Comparison of caffeine and theophylline ingestion: exercise metabolism and endurance. *Journal of Applied Physiology*, v.89, p.1837-1844, 2000.

JACKMAN, M.R.; WENDLING, P.; FRIARS, D.; GRAHAM, T.E. Metabolic, catecholamine, and endurance responses to caffeine during intense exercise. *Journal of Applied Physiology*. v. 81, p.1658–1663, 1996.

MAUGHAN, R.J, POOLE, D.C. The effects of a glycogen-loading regimen on the capacity to perform anaerobic exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, v. 46(3), p. 211-219, 1981.

SIMMONDS, M.J, MINAHAN, C.L, SABAPATHY S. Caffeine improves supramaximal cycling but not the rate of anaerobic energy release. *European Journal of Applied Physiology*, v. 109, p. 287-295, 2010.

van THUYNE, W.; DELBEKE, F.T. Distribution of caffeine levels in urine in different sports in relation to doping control before and after the removal of caffeine from the WADA doping list. *International Journal of Sports Medicine*, v. 27(9), p.745-750, 2006.

WILES J.D.; COLEMAN, D.; TEGERDINE, M.; SWAINE, I.L. The effects of caffeine ingestion on performance time, speed and power during a laboratory-based 1 km cycling time-trial. *Journal of Sports Sciences*, v. 24, p. 1165-1171, 2006.