

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE NUTRIÇÃO
MESTRADO EM NUTRIÇÃO

RALMONY DE ALCANTARA SANTOS

**EFEITO DA INGESTÃO DE CAFEÍNA SOBRE O PACING DURANTE PROVAS DE
CICLISMO DE CURTA DURAÇÃO**

MACEIÓ
2012

RALMONY DE ALCANTARA SANTOS

**EFEITO DA INGESTÃO DE CAFEÍNA SOBRE O PACING DURANTE PROVAS DE
CICLISMO DE CURTA DURAÇÃO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Nutrição da Universidade Federal de Alagoas como requisito à obtenção do título de Mestre em Nutrição.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Eduardo Lima da Silva

MACEIÓ

2012

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

S237e Santos, Ralmony de Alcantara.
Efeito da ingestão de cafeína sobre o pacing durante provas de ciclismo de curta duração / Ralmony de Alcantara Santos. – 2012.
58 f. : il.

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.

Bibliografia: f. 56-58.

1. Pacing. 2. Potência anaeróbica. 3. Cafeína. 4. Provas contra-relógio - Desempenho. 5. Eletromiografia. I. Título.

CDU: 612.393:796.012.1



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: 82 3214-1160

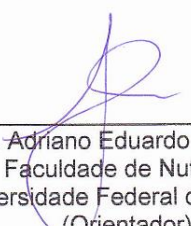
**PARECER DA BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE
DISSERTAÇÃO**

**“EFEITO DA INGESTÃO DE CAFEÍNA SOBRE O PACING
DURANTE PROVAS DE CICLISMO DE CURTA DURAÇÃO”**


por

Ralmony de Alcantara Santos


A Banca Examinadora, reunida aos 12 dias do mês de março do ano de 2012, considera o(a) candidato(a) **APROVADO(A)**.



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



Prof. Dr. Gustavo Gomes de Araújo
Centro de Educação (CEDU)
Universidade Federal de Alagoas
(Examinador)



Prof. Dr. Rômulo Cássio de Moraes Bertuzzi
Escola de Educação Física e Esporte (EEFE)
Universidade de São Paulo
(Examinador)

Dedico aos meus pais, Acenate de Alcantara Santos e Eliezer Anízio dos Santos pelo exemplo de educação, paciência, humildade, amor, apoio e união. Muito obrigado por tudo durante todos esses anos.

A minha noiva, Katerinne Bernardino dos Santos obrigado pela paciência, amizade, força e me incentivando sempre nas horas mais difíceis.

Ao meu orientador, prof. Dr. Adriano Eduardo Lima da Silva pela confiança, credibilidade, cumplicidade e pelos momentos mais difíceis tanto pessoais quanto profissionais.

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço primeiramente a Deus, por ter concedido essa benção de concluir mais uma etapa (mestrado) da minha vida e me dado forças para seguir e olhar sempre para frente.

Aos meus queridos pais, Acenate de Alcantara Santos e Eliezer Anízio dos Santos, pela companhia, dedicação, apoio, benção e, por fim o grande amor.

Ao meu orientador, prof. Dr. Adriano Eduardo Lima da Silva por me receber no Grupo de Pesquisa em Ciência do Esporte (GPCE), pelo aprendizado que adquiri ao longo de todos esses anos como seu aluno e pelo auxílio concedido nesta fase.

Ao GPCE, por me oportunizar novos conhecimentos científicos.

A minha noiva, Katerinne Bernardino dos Santos pela compreensão, força, união, amizade e companheirismo.

Aos meus amigos mestrados e graduados, Carlos Raffael, Marcos David, Patrícia Couto, Victor Gustavo, João Paulo Lopes da Silva e o Kleiner Nemézio por todas as contribuições nas coletas de dados na pós-graduação (Mestrado).

Ao acadêmico de Educação Física, João Paulo Santos Silva por ceder à bicicleta e outros acessórios técnicos referentes à bicicleta.

Aos professores Sara Learsi e Michell Salgado pelo apoio, amizade e momentos de alegria.

Ao prof. Dr. Luciano por ceder o Laboratório de farmácia para utilizar o equipamento banho maria e a cubeta.

Ao prof. Dr. Hessel Marani Lima por orientar as dietas alimentares dos voluntários da presente investigação.

Ao bolsista do Laboratório de farmácia, Josiel por ser paciente e compreensivo.

Aos professores Doutores Rômulo de Cássio Moraes Bertuzzi e Gustavo Gomes de Araújo por aceitarem compor a banca examinadora.

A prof^a. Dr^a. Terezinha da Rocha Ataíde por autorizar o Laboratório da Faculdade de Nutrição (FANUT) para utilizar o aparelho espectrofotômetro, tubos de ensaio, pipetas e ponteiras.

Ao prof. Dr. Amandio Geraldês por disponibilizar o Laboratório de composição corporal para utilizar o analisador de gases, adipômetro, aparelho de eletromiografia e balança mecânica.

A Amanda Carlos de Menezes da secretária de pós-graduação da FANUT, por estar sempre disposta a ajudar nas atividades burocráticas referentes à dissertação e documentos.

A todos os voluntários que fizeram parte da amostra da pesquisa, pois sem eles não teria sido possível o término desse estudo.

A CAPES pela bolsa de estudo, que foi fundamental para a conclusão da minha dissertação.

“A glória da última será maior do que a primeira”.

(Ageu 2.9- Bíblia Sagrada)

RESUMO GERAL

O *pacing* é definido de acordo como um plano predeterminado subconscientemente, a fim de maximizar o desempenho sem causar danos irreparáveis aos sistemas fisiológicos. Além do *pacing* , alguns atletas em busca do sucesso esportivo de alto nível, tem-se lançado mão de inúmeros recursos ergogênicos no intuito de potencializar o desempenho atlético. Nesse sentido, a utilização de suplementos nutricionais como recursos ergogênicos (por exemplo: cafeína) tem se mostrado eficiente por retardar o surgimento da fadiga e aumentar o poder contrátil do músculo esquelético e/ou cardíaco, aprimorando, portanto, a capacidade de realizar trabalho físico. Acredita-se que a cafeína possua mecanismos de ação central e periférica que podem desencadear importantes alterações metabólicas e fisiológicas. Os principais mecanismos de ação da cafeína são: no sistema nervoso central, músculo esquelético (alterações na bomba de sódio-potássio, inibição da enzima fosfodiesterase (PDE) e mobilização intracelular de cálcio) e oxidação das gorduras. Essa dissertação foi composta por dois artigos: um de revisão, abordando o uso da cafeína como um potente recurso ergogênico em provas de curta, média e longa duração no ciclismo e o outro uma pesquisa experimental, com objetivo de verificar o efeito da suplementação de cafeína sobre o *pacing* durante uma prova de ciclismo de curta duração (4000m). A amostra foi composta por oito ciclistas recreacionais (26 a 43 anos). Uma hora antes de iniciar o experimento, os ciclistas receberam uma cápsula contendo cafeína (CAF) ou placebo (PLA) de 5mg/kg de peso corporal, usando um protocolo de administração duplo-cego, contrabalançado e *cross-over* . A CAF teve efeito sobre a produção de potência média (PPM) e tempo final. Além disso, a produção de potência (PP) nos intervalos a cada 200 (1200, 1400, 2200, 2400 e 2600m) e 1000m (1000-2000 e 2000-3000m) foram maiores na condição CAF quando comparado com PLA ($p < 0,05$). Já a P_{an} nos intervalos a cada 200 (2200, 2400 e 2600m) e 1000m (2000-3000m) foi maior em CAF do que PLA. Contudo, a P_{aer} não diferiu significativamente entre os tratamentos. A eletromiografia integrada (iEMG) média do músculo vasto lateral (VL) não foi diferente entre as condições CAF e PLA. Entretanto, iEMG do VL a cada 200 (1200 e 2400m) foi maior em CAF do que PLA, exceto no 3800m e no terceiro intervalo a cada 1000m (2000-3000m), onde PLA foi maior do que CAF. Os resultados da presente investigação demonstram que a dose de 5mg/kg de peso corporal de cafeína aprimorou o desempenho dos atletas durante a prova CR.

Palavras-chave: *Pacing* . Potência anaerobia. Cafeína. Eletromiografia. Provas contra-relógio. Desempenho.

GENERAL ABSTRACT

The pacing is defined according to a predetermined plan in order to maximize performance without causing irreparable damage to physiological systems. In addition to pacing, some athletes in search of high-level sporting success, has made use of numerous ergogenic resources in order to enhance athletic performance. In this sense, the use of nutritional supplements and ergogenic resources (e.g. caffeine) has been shown effective in delaying the onset of fatigue and increase the contractile power of skeletal muscle and/or heart, improving therefore the ability to perform the physical work. It is believed that caffeine has mechanisms for central and peripheral action that may trigger important physiological and metabolic changes. The main mechanisms of action of the caffeine are the central nervous system, the skeletal muscle (changes in the sodium-potassium pump, inhibition of phosphodiesterase (PDE) and mobilization of intracellular calcium) and fat oxidation. This dissertation is composed for two papers: one of review, addressing the use of caffeine as a potent ergogenic resource during short, medium and long-term cycling trials and other an experimental research, in order to verify the effects of caffeine supplementation on pacing during a short-term cycling (4000m). The sample was composed of eight recreational cyclists (26-43 years). One hour before starting the experiment, cyclists received a capsule containing caffeine (CAF) or placebo (PLA) at 5mg/kg body weight, using a double-blind, counterbalanced and cross-over design. The CAF had an effect on mean power output (PO) and final time. Furthermore, the PO in intervals at each 200m (1200, 1400, 2200, 2400 and 2600m) and 1000m (1000-2000 and 2000-3000m) were greater in CAF when compared with PLA ($p < 0.05$). The P_{an} in intervals at each 200m (2200, 2400 and 2600m) and 1000m (2000-3000m) were also greater in CAF than in PLA. However, P_{aer} did not differ significantly between treatments. The integrated electromyography (iEMG) for vastus lateralis (VL) there was no significant difference between CAF and PLA conditions. However, the iEMG of VL at each 200m (1200 and 2400m) was greater CAF than PLA, except in 3800m and in the third interval each 1000m (2000-3000m, where PLA was greater than CAF). The results of this investigation demonstrate that 5mg/kg body weight of caffeine enhances the performance during a short-duration cycling time trial.

Key-words: Pacing. Anaerobic power. Caffeine. Electromyography. Time-trial. Performance.

LISTA DE FIGURAS

	Página
1º artigo: artigo de revisão	
Figura 1 Estrutura química da cafeína e metilxantinas relacionadas.....	21
2º artigo: artigo de resultados	
Figura 1 Desenho experimental	38
Figura 2 <i>Pacing</i> adotado pelos sujeitos durante a prova de contra relógio de 4000 m na condição cafeína (CAF) e placebo (PLA).....	43
Figura 3 Valores médios da potência anaeróbia (P_{an}) (A) e potência aeróbia (P_{aer}) (B) a cada 200m nas condições cafeína (CAF) e placebo (PLA).....	45
Figura 4 Eletromiografia integrada do músculo vasto lateral exposto em percentual da contração voluntária máxima (CVM) a cada 200m durante a prova contra relógio (CR) nas condições cafeína (CAF) e placebo (PLA) (n= 7).....	46

LISTA DE TABELAS

1º artigo: artigo de revisão

Tabela 1- Concentração de cafeína em alimentos populares, bebidas, refrigerantes e energéticos.....	22-23
Tabela 2- Efeito ergogênico da cafeína sobre o desempenho em provas contra-relógio de ciclismo.....	26

2º artigo: artigo de resultados

Tabela 1- Características morfológicas e fisiológicas dos sujeitos.....	42
Tabela 2- Valores (médio ± desvio padrão) para produção de potência (PP), potência aeróbia (P_{aer}), potência anaeróbia (P_{an}), eletromiografia integrada para o músculo vasto lateral (iEMG), frequência cardíaca (FC) e percepção subjetiva de esforço (PSE) a cada 1000m da prova contra relógio nas condições cafeína (CAF) e placebo (PLA).....	44

LISTA DE ABREVIATURAS

- AGLs** - Ácidos graxos livres
- AMPc** - Adenosina monofosfato cíclico
- ATP** - Adenosina trifosfato
- Ag/AgCl** - Prata por cloreto de prata
- bpm** - Batimentos por minuto
- COI** - Comitê Olímpico Internacional
- Ca⁺⁺** - Íon Cálcio
- CHO** - Carboidrato
- CR** - Contra-relógio
- CC** - Cafeína-cafeína
- CP** - Cafeína-placebo
- C** - Carbono
- CAF** - Cafeína
- DHPR** - Receptor de diidropiridina
- Hz** - Hertz
- IP₃** - Inositol trifosfato
- GMPc** - Guanosina monofosfato cíclico
- kJ/kg** - Quilo joules por quilo de peso corporal
- K_m** - Constante de *Michaelis-Menten*
- km** - Quilômetros
- K⁺** - Íon potássio
- L/min** - Litros por minuto
- mmol/L** - Milimoles por litro
- mL/min** - Mililitros por minuto
- mL** - Mililitros
- mg/kg** - Miligramas por quilograma
- MAOD** - Déficit Máximo Acumulado de Oxigênio
- min** - Minuto
- Na⁺** - Íon sódio
- n** - Número de sujeitos
- PDE** - Enzima fosfodiesterase
- p** - Probabilidade

Pré-CR - Antes do teste

Pós-CR - Após o teste

PP - Produção de potência

P_{met} - Potência metabólica

P_{an} - Potência anaeróbia

P_{aer} - Potência aeróbia

P_{aque} - Potência aquecimento

P_{tot} - Potência total

PHO - Fosfofrutoquinase

PPM - Produção de potência média

PP_{máx} - Produção de potência máxima

RS - Retículo sarcoplasmático

RER - Razão de trocas respiratórias

RyR - Receptor da rianodina

rpm - Rotações por minuto

SNC - Sistema Nervoso Central

SPSS - *Statistical Package Social Sciences*

SENIAN - *Surface EMG for Non-Invasive Assessment of Muscles*

s - segundos

TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

UFAL - Universidade Federal de Alagoas

USA - Estados Unidos da América

VO_{2máx} - Consumo de oxigênio máximo

VCO₂ - Volume de dióxido de carbono

VE - Ventilação

W - Watts

µg/mL - Microgramas por mililitros

µmol/L - Micromoles por litros

µM - Micromoles

µL - Microlitros

β - Beta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	14
2 COLETÂNEA DE ARTIGOS	17
2.1 Artigo de revisão: Efeito da ingestão de cafeína sobre o desempenho em provas contra-relógio no ciclismo	18
2.2 Artigo de resultados: Efeito da ingestão de cafeína sobre o <i> pacing </i> durante ciclismo de curta duração	32
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
4 REFERÊNCIAS	56

O termo *pacing* relaciona-se ao protótipo pelo qual os recursos energéticos, produção de potência mecânica ou velocidade são distribuídos ao longo do exercício (STONE et al. 2011). O *pacing* adotado durante competições contra-relógio envolvendo atletas de habilidades similares podem desempenhar um papel importante na determinação da classificação final da prova (HETTINGA et al. 2006). Assim, treinadores e pesquisadores têm relatado uma variedade de *pacing* em eventos de média e longa duração (de 2 a 60 minutos) (FOSTER et al., 2004; ABBISS; LAUESEN, 2008). Nestes eventos, os atletas escolhem naturalmente uma velocidade inicial que é substancialmente maior do que a velocidade média da corrida. Este *pacing* de início rápido é seguido por um declínio gradual da velocidade até que aproximadamente 90% da distância total tenha sido completada, quando os atletas aumentam a velocidade novamente para produzir um *sprint* final (ST CLAIR GIBSON et al., 2001; JOSEPH et al., 2008). Da mesma forma, Corbett, (2009) e De Konning et al., (1999) sugerem um *pacing* de início rápido seguido de uma transição para um constante, representando o perfil ideal para prova de ciclismo contra-relógio de 4000m (CR). Por fim, Aisbett et al. (2009) realizaram um teste CR de ciclismo com duração de ~5 minutos e compararam diferentes tipos de *pacing* (início rápido, início lento e ritmo constante durante toda a prova). Nesse estudo, foi observado que a estratégia de início rápido teve uma potência relativamente mais alta durante os primeiros 25% do teste CR e uma melhora no desempenho total, quando comparado às outras duas estratégias.

Além do *pacing* , alguns profissionais que atuam na área do esporte (atletas, médicos, treinadores, nutricionistas e cientistas) utilizam recursos ergogênicos (por exemplo: cafeína) em eventos esportivos com o objetivo de protelar a fadiga e, conseqüentemente, de potencializar o desempenho físico. A cafeína é uma droga derivada do composto químico com a fórmula $C_8H_{10}N_4O_2$ – classificada como alcalóide do grupo das xantinas e designado quimicamente com 1,3,7-trimetilxantina (FIGLIE; BORDIN; LARANJEIRA, 2004; FREDHOLM, 2005), a qual após ser degradada por desmetilação que pode ocorrer no N-1, N-3 e N-7 originando teobromina, paraxantina e teofilina, respectivamente (KHANNA et al., 1972). A cafeína é metabolizada no fígado, por desmetilação, deste modo, envolvendo a enzima citocromo P450.

No início da década de 1980, atletas fizeram uso de cafeína de forma indiscriminada, com intuito de melhorar o desempenho. Assim, esta droga foi incluída na lista de substâncias proibidas pelo Comitê Olímpico Internacional (COI) (SINCLAIR; GEIGER, 2000; SPRIET, 1995). Porém, a partir dos Jogos Olímpicos de Los Angeles de 1984, tornou-se evidente o uso de cafeína, quando alguns membros da equipe de ciclismo dos Estados Unidos revelaram publicamente terem utilizado esse alcalóide como estimulante durante os eventos (ROGERS, 1985). Assim, até o final do ano de 2003 a cafeína pertencia à lista de substâncias proibidas pela Agência Mundial Anti-Doping (WADA), na classe de estimulantes (A). Contudo, mais recentemente a WADA excluiu a cafeína desta lista. Desse modo, com a retirada da cafeína desta lista, foram realizadas várias pesquisas publicadas na última década, demonstrando que o limítrofe tolerável estipulado pelo COI (12µg/ml de cafeína na urina), não era alcançado, mesmo após a ingestão de altas doses de cafeína (~8mg/kg de peso corporal). No entanto, a ingestão de doses moderadas (~5mg/kg de peso corporal) era suficiente para melhorar o desempenho físico sem, contudo, ultrapassar o valor limítrofe para caso positivo de doping (SPRIET, 1995; SINCLAIR e GEIGER, 2000).

Os principais mecanismos de ação da cafeína são (SPRIET, 1995): 1) ação direta sobre o sistema nervoso central (atuando na percepção subjetiva de esforço e/ou a propagação de sinais neurais); 2) ação no músculo esquelético através dos três principais co-produtos: alterações na bomba de sódio-potássio, inibição da enzima fosfodiesterase (PDE) e aumento na mobilização de cálcio por meio do retículo sarcoplasmático e; 3) aumento oxidação das gorduras e redução na oxidação de carboidratos (YAMADA et al., 1989).

A partir das evidências descritas anteriormente, a presente dissertação é apresentada em forma de dois artigos: O primeiro reporta-se a revisão de literatura, abordando o uso da cafeína como um potente recurso ergogênico em provas de curta, média e longa duração no ciclismo, com o intuito de melhorar o desempenho do atleta e, com isso, prorrogando o surgimento da fadiga. O segundo é derivado de uma pesquisa experimental, com objetivo de verificar o efeito da suplementação de cafeína sobre o *pacing* durante provas de ciclismo de curta duração (4000m): Um estudo duplo cego, ccontrabalançado e *cross-over*.

Artigo de revisão

SANTOS, RA; LIMA-SILVA, AE. EFEITO DA INGESTÃO DE CAFEÍNA SOBRE O DESEMPENHO EM PROVAS CONTRA-RELÓGIO NO CICLISMO. *Revista de intenção: REVISTA DA EDUCAÇÃO FÍSICA/UEM.*

RESUMO

O objetivo da presente revisão foi analisar o efeito da ingestão aguda de cafeína nas provas de contra-relógio (CR) em ciclismo. Os resultados obtidos nos estudos revisados mostraram que a cafeína tem melhorado o desempenho de atletas em provas CR. Isso pode ter ocorrido devido à cafeína exercer alguns efeitos no organismo humano, como: 1) ação direta no sistema nervoso central (SNC), afetando a percepção subjetiva de esforço (PSE) e/ou a propagação dos sinais neurais entre o córtex motor e a junção neuromuscular; 2) resultado direto sobre o músculo esquelético por meio de três principais co-produtos extracelulares e intracelulares (alterações na bomba de sódio e potássio, inibição da enzima fosfodiesterase (PDE) e mobilização de cálcio no retículo sarcoplasmático) e, por fim; 3) o aumento da oxidação das gorduras, poupando os estoques de glicogênio. Portanto, a suplementação de cafeína parece ser benéfica para potencializar o desempenho em provas CR no ciclismo.

Palavras-chave: Cafeína. Provas contra-relógio. Desempenho.

ABSTRACT

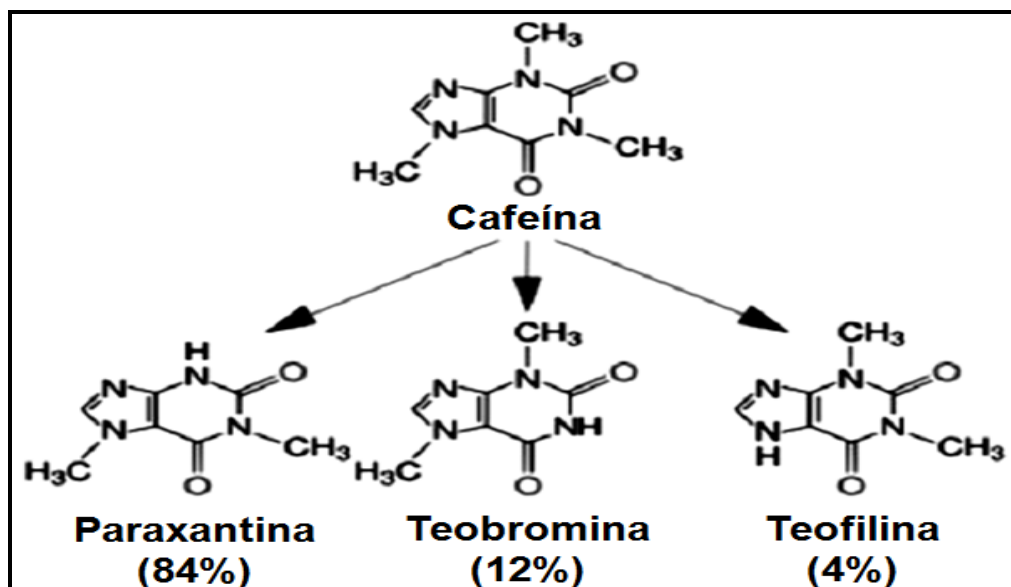
The purpose of this review was to analyze the effect of acute ingestion of caffeine in events cycling time trial (TT). The results obtained in this study showed that caffeine has improved the performance of athletes in test TT. This may be due to caffeine exert some effects on human body such as: 1) action direct on central nervous system (CNS), affecting the rating of perceived exertion (RPE) and/or propagation of neural signals between the motor cortex and the neuromuscular junction; 2) direct result on the skeletal muscle by means of three main extracellular and intracellular by-products (the pump changes sodium and potassium, inhibition of the phosphodiesterase (PDE) enzyme and calcium mobilization in the sarcoplasmic reticulum) and, finally; 3) the increased fat oxidation, glycogen sparing stores. Therefore, supplementation of caffeine seems to be beneficial to enhance in test cycling TT performance.

Key-words: Caffeine. Time-Trial. Performance.

INTRODUÇÃO

A cafeína é um alcalóide, identificado por uma fórmula estrutural: 1, 3, 7-trimetilxantina ($C_8H_{10}N_4O_2$) possuindo uma massa molecular de 194, sendo derivado da xantina e quimicamente relacionada a outras xantinas, como a teofilina (1, 3-dimetilxantina), teobromina (3, 7- dimetilxantina) e a paraxantina (1,7- dimetilxantina) (Figura 1). A paraxantina é a que há uma maior representação metabólica em humanos, ocupando 84% em relação às demais, seguido da teofilina e teobromina (ALTERMANN et al., 2008). Elas se diferenciam pela potência de suas ações farmacológicas sobre o SNC (GEORGE, 2000).

Figura 1 - Estrutura química da cafeína e as metilxantinas relacionadas



Fonte: SINCLAIR; GEIGER, 2000.

Alguns achados sugerem que a cafeína é uma substância capaz de excitar e restaurar as funções cerebrais e bulbares sem, contudo, ser considerada uma droga terapêutica, o que a torna comumente utilizada e livremente comercializada, além de apresentar uma baixa capacidade de indução à dependência (GEORGE, 2000; SINCLAIR; GEIGER, 2000). Esse alcalóide pode ser encontrado em alguns produtos consumidos no cotidiano, tais como o chocolate, o café, o guaraná, o mate e refrigerantes que contenham cola (ALTIMARI et al., 2001; GRAHAM, 2001; SPRIET; GIBALA, 2004). A tabela 1 apresenta a quantidade de cafeína presente em alguns

alimentos populares consumidos diariamente, além de bebidas, refrigerantes e energéticos (SLAVIN; JOENSEN, 1995).

Tabela 1 - Concentração de cafeína em alimentos populares, bebidas, refrigerantes e energéticos.

CAFÉINA EM ALIMENTOS E BEBIDAS	
	Doses
Café (xícara de 150ml)	mg
De máquina	110-150
De coador	64-124
Instantâneo	40-108
Descafeinado	2-5
Instantâneo descafeinado	2
Chá (granel ou saquinhos)	mg
Infusão de um minuto	9-33
Infusão de três minutos	20-46
Infusão de cinco minutos	20-50
Produtos com chá	mg
Chá instantâneo (xícara de 150ml)	12-28
Chá gelado (xícara de 350ml)	22-36
Chocolate	mg
Feito a partir de mistura	6
Chocolate ao leite (28g)	6
Chocolate de confeitiro (28g)	35
Refrigerantes	mg/350ml
Coca-cola	46
Diet Coke	46
Pepsi Cola	38,4
Diet Pepsi	36
Pepsi Light	36
Melo Yello	36
Energéticos	mg/250ml
Flash Power	80
Flying Horse	80

Dynamite	80
Red Bull	80
On Line	80
Blue Energy Xtreme	80

Fonte: SLAVIN; JOENSEN, 1995.

De acordo com achados de Sinclair e Geiger (2000) e van Nieuwenhoven et al. (2000), a cafeína é absorvida rapidamente no trato digestório após administração oral. No entanto, a mesma parece não afetar as funções gastrointestinais quando ingerida de forma conjugada a diferentes soluções líquidas, como o carboidrato e a água. A cafeína pode alcançar seu pico de concentração máxima no sangue entre 15 e 120 minutos após a sua ingestão (SINCLAIR; GEIGER, 2000). A administração desta substância pode ser feita de diversas formas, dentre elas: a oral, intraperitoneal, intramuscular e por supositórios (WANG; LAU, 1998; SINCLAIR; GEIGER, 2000). Contudo, sua ação pode atingir todos os tecidos, pois seu transporte é realizado através da corrente sanguínea. A sua meia vida é de 4 - 6 horas. Logo após esse período, ela é degradada e excretada pela urina na forma de co-produtos (CLARKSON, 1993; SPRIET, 1995).

No início da década de 80, a utilização indiscriminada de cafeína por parte de atletas com o intuito de melhorar o desempenho físico, fez com que esta substância fosse incluída na lista de substâncias proibidas pelo Comitê Olímpico Internacional (COI) (SPRIET, 1995; SINCLAIR; GEIGER, 2000). Contudo, no final do ano de 2003, a cafeína foi retirada da lista de substâncias proibidas devido a uma série de estudos publicados na última década, demonstrando que o limite tolerável estipulado pelo COI (12µg/ml de cafeína na urina), não era atingido mesmo após a ingestão de altas doses de cafeína (~8mg/kg de peso corporal). Além disso, a ingestão de doses menores (~5mg/kg de peso corporal) era suficiente para melhorar o desempenho físico sem, contudo, ultrapassar o valor limítrofe para caso positivo de doping (SPRIET, 1995; SINCLAIR; GEIGER, 2000).

Assim, a cafeína tem sido utilizada nos últimos anos em diferentes esportes, incluindo o ciclismo e a corrida. O ciclismo é o foco da presente revisão. Em específico, o trabalho foi focado no efeito da suplementação de cafeína sobre o desempenho em provas contra-relógio (CR) de ciclismo, que é a modalidade mais comum do ciclismo. Contudo, antes de adentrar no efeito da cafeína sobre o

desempenho propriamente dito, uma breve descrição dos possíveis mecanismos de ação da cafeína será apresentada.

Mecanismos de ação

Para a compreensão dos prováveis efeitos ergogênicos da cafeína durante o exercício físico é necessário um conhecimento dos mecanismos de ação. Segundo Spriet (1995), existem pelo menos três teorias que explicam os efeitos ergogênicos da cafeína. A primeira teoria exerce uma função sobre o sistema nervoso central (SNC), afetando a percepção subjetiva de esforço e/ou a propagação dos sinais neurais entre o córtex motor e a junção neuromuscular. Sendo assim, o efeito da cafeína tende a aumentar a capacidade de alerta e a redução da fadiga, com concomitante melhora no desempenho de atividades que requeiram maior vigilância (CASTELLANOS; RAPOPORT, 2002; SMITH, 2002; LORIST, 2003). Ainda referente ao sistema nervoso, a cafeína estimula o sistema nervoso simpático, ativando as ações das catecolaminas (adrenalina e noradrenalina).

Já a segunda teoria envolve um efeito direto sobre o músculo esquelético através de três co-produtos (extracelulares e intracelulares), incluindo: 1) mobilização dos íons sódio e potássio, os quais a cafeína exerce um efeito sobre a atividade da bomba de $\text{Na}^+\text{-K}^+$, mantendo as concentrações de K^+ altas no meio intracelular e baixa no meio extracelular, o que contribui para atenuar a fadiga, visto que, baixas concentrações de K^+ no plasma auxiliam a manter a excitabilidade das membranas celulares nos músculos contráteis (Alves e Braga, 2000); 2) pela inibição da enzima fosfodiesterase (PDE), enzima essa que desempenha um papel importante na rápida terminação dos efeitos mediados pela adenosina monofosfato cíclico (AMPc) e guanosina monofosfato cíclico (GMPc), através da hidrólise de ambos. A PDE apresenta-se sob duas formas diferentes, sendo elas: A) a de alto K_m , com maior afinidade pelo GMPc, tendo como principal característica sua regulação pelo cálcio e calmodulina e; B) a de baixo K_m , com maior afinidade ao AMPc, sendo sua atividade regulada principalmente por hormônios envolvidos na regulação rápida do metabolismo energético (SUTHERLAND, 1972).

Beavo et al. (1970) e Fredholm (1985) tem demonstrado que a cafeína pode inibir a enzima PDE em diferentes tecidos, como por exemplo, o muscular e o adiposo, o que resulta em níveis elevados intracelulares de AMPc, o qual exerce

controle importante sobre as quinases que estimulam a glicogenólise e a lipólise, respectivamente. Em estudos realizados por Tarnopolsky (1994) *in vitro*, foi verificado que inibição da enzima PDE pela cafeína, ocorre somente em grandes concentrações (aproximadamente 1 mmol/l), que são altamente tóxicas ao organismo e; 3) A cafeína também parece afetar a transmissão do sinal que induz a liberação de Ca^{++} pela membrana do retículo sarcoplasmático, que pode ser tanto elétrica, quanto química (SILVEIRA, 1998). A elétrica possui dois modelos propostos, sendo o primeiro referente à despolarização elétrica da membrana do túbulo transverso, que pode ativar o receptor de diidropiridina (DHPR) localizado na membrana do túbulo-T, o qual é sensível a essa despolarização. Uma vez ativado, esse receptor sofre uma alteração conformacional ativando também o segundo receptor na membrana do retículo sarcoplasmático (RS), o receptor da rianodina (RyR), responsável pela liberação de Ca^{++} (RUEGG, 1992). O outro modelo mostra que existem estruturas denominadas “Feet”, que fazem a ligação entre o túbulo-T e o RS, formando uma tríade. Quando a membrana do túbulo-T sofre uma despolarização, ocorre um aumento de cargas negativas na membrana externa do túbulo, atraindo cargas positivas das estruturas “Feet”. Dessa forma, essas estruturas sofrem uma atração, proporcionando a saída de cálcio do RS (RUEGG, 1992). Na ação química, a cafeína pode estar agindo diretamente na membrana do RS, aumentando a permeabilidade ao Ca^{++} (DELBONO; CHU, 1995). O mecanismo de ação da cafeína na mobilização intracelular do cálcio foi extensamente investigado em fibras musculares isoladas e em fragmentos do RS. Os resultados adquiridos indicam que a cafeína facilita o processo de liberação de cálcio do RS. No músculo íntegro, este efeito resulta no aumento de cálcio citosólico e conseqüente aumento da contratilidade muscular (LACAZ-VIEIRA, 1981). De acordo Tarnopolsky (1994), a cafeína possivelmente atua diretamente no RyR (canal de liberação de cálcio), aumentando a liberação de Ca^{++} do RS em células musculares.

A terceira teoria diz respeito ao aumento da oxidação das gorduras e a preservação na oxidação de carboidratos (CHO). Assim, a cafeína fornece um aumento na mobilização dos ácidos graxos livres (AGLs) dos tecidos e/ou estoques intramusculares. Em tese, esse efeito seria de maneira indireta por aumento na produção de catecolaminas na circulação, particularmente a adrenalina ou, diretamente, antagonizando os receptores de adenosina que normalmente inibem a

mobilização dos AGLs, aumentando a oxidação da gordura muscular e reduzindo a oxidação de CHO (ALTIMARI et al., 2000).

Cafeína e provas contra-relógio

Pesquisas têm demonstrado que o auxílio ergogênico da ingestão de cafeína pode atenuar a fadiga e, conseqüentemente, melhorar o desempenho durante provas contra-relógio (Tabela 2).

Tabela 2 - Efeito ergogênico da cafeína sobre o desempenho em provas contra-relógio de ciclismo.

Referência	Tipo de exercício	N	População	Dose de cafeína	Efeito ergogênico
WALKER et al. (2008)	CR 30min	9 M	Bem treinados	6mg/kg	Sim (4%)
IVY et al. (2009)	CR (3,690s)	6 M 6 F	Bem treinados	500ml	Sim (4,7%)
COX et al. (2002)	CR (7kJ/kg: ~28min)	12 M	Bem treinados	6mg/kg	Sim (3,4%)
WILES et al. (2006)	CR 1km (~60s)	8 M	Bem treinados	5mg/kg	Sim (3,1%)
DEAN et al. (2009)	CR 40 km (~3,576s)	8 M	Bem treinados	3mg/kg	Sim (1,4%)
CONWAY et al. (2003)	CR 45min	9 M	Bem treinados	3 e 6mg/kg	Não
DESBROW et al. (2009)	CR (7kJ/kg: ~31/~30min*)	9 M	Bem treinados	1,5 e 3mg/kg	Não

M: Masculino; F: Feminino. *Tempo correspondente à dosagem, respectivamente, 1,5 e 3mg/kg.

Fonte: Autor, 2012.

De acordo com a tabela apresentada acima, a maioria dos estudos tem mostrado que a ingestão de cafeína apresenta um efeito ergogênico durante provas CR de ciclismo. Cox et al. (2002) verificaram que a ingestão de dose moderada de cafeína (6mg/kg) melhorou o desempenho em 3,4%, na prova de ciclismo CR com uma carga total de trabalho de 7kJ/kg (~28 min). O autor justifica essa melhora a partir da maior mobilização de ácidos graxos e, conseqüentemente, maior oxidação de gorduras, fazendo com que os estoques de glicogênio fossem poupados. Da

mesma forma, Ivy et al. (2009) verificaram que em ciclistas bem treinados, o consumo de bebida energética cafeinada (500ml) 40 min antes de iniciar um CR de 1 hora, melhora o desempenho. Fisiologicamente, os autores sugerem, assim como Cox et al. (2002), que a cafeína aumenta a mobilização de gorduras e, conseqüentemente, poupa o glicogênio muscular.

No estudo de Walker et al. (2008), foi relatado que o tempo da prova CR de 30 min foi 4% menor no tratamento com cafeína de 6mg/kg de peso corporal, do que em placebo ($p=0,043$). Da mesma forma, a produção de potência (PP) média durante CR tende a ser maior na condição cafeína, do que em PLA (respectivamente, 282 ± 39 vs 271 ± 42 W, $p=0,09$), porém não diferiu significativamente. Equivalentemente, Wiles et al. (2005), verificaram que os ciclistas na prova CR de 1 km (~60s) apresentaram uma melhora no rendimento após a ingestão de cafeína antes da prova. A ingestão de cafeína reduziu o tempo em relação às outras duas condições, isto é, placebo e controle (respectivamente, $71,1 \pm 2,0$ vs $73,4 \pm 2,3$ vs. $73,3 \pm 2,7$ s; $p<0,02$). Uma vez que a prova é relativamente mais curta que as demais reportadas em outros estudos, Bruce et al. (2000) sugere que essa melhora deve-se aos efeitos que a cafeína exerce sobre o SNC ou pelo maior recrutamento das fibras musculares causado por alguma alteração na função neurotransmissora (KALMAR; CAFARELLI, 1999)

Dean et al. (2009) investigaram ciclistas que realizaram três tratamentos diferentes (placebo, cafeína e extrato de chá-verde) uma hora antes de um teste CR de 40 km. Os autores encontraram maiores valores na PP média e menor tempo de prova na condição cafeína, do que em placebo ou extrato de chá-verde. Além disso, outros efeitos foram observados durante o CR após a ingestão de cafeína, como o aumento na frequência cardíaca e na glicose, mas, nenhuma mudança na quantidade carboidrato ou oxidação de gordura. Sendo assim, os resultados apresentados revelam que o extrato de chá-verde não oferece benefício aos ciclistas, porém, o uso de cafeína obteve melhora no desempenho físico durante a prova.

Em contra partida, outros estudos não obtiveram uma melhora no desempenho sobre os efeitos ergogênico durante a prova CR. Conway et al. (2003) comparam os efeitos de uma dose única (6mg/kg de peso corporal) ou dividida (2 x 3mg/kg de peso corporal) da cafeína sobre o desempenho de *endurance*, concentração de cafeína urinária pós-exercício e concentrações plasmáticas de

paraxantina em nove ciclistas e triatletas masculinos. Ao observar o tempo final no teste CR, houve uma tendência dos valores médios dos ensaios com dose dividida de cafeína (3mg/kg) - cafeína (3mg/kg) (CC) e dose única de cafeína (6mg/kg)-placebo (CP) (respectivamente, ~23,4 e 24,2 min) serem mais rápidos do que com placebo (PP) (28,3 min), entretanto, esse efeito não foi significativo, mas, o tamanho do efeito médio de ambos os tratamentos foi moderado, porém não significativo (ES=0,56; p=0,08). A concentração de cafeína urinária pós-exercício foi significativamente maior no CC quando comparado com CP. A paraxantina aumentou continuamente durante todo o exercício de tal modo que nenhum pico foi obtido nas condições CC e CP. Da mesma maneira, Desbrow et al. (2009) investigaram os efeitos de uma dose baixa (1,5mg/kg de peso corporal) a moderada (3mg/kg de peso corporal) de cafeína sobre a oxidação de CHO exógeno durante uma prova de ciclismo (*endurance*). As provas consistiam de 120 min de estado-estável a 70% do VO_{2pico} e, logo em seguida, os sujeitos realizaram um CR com potência de 7kJ/kg. O tempo final do teste CR na baixa dose de cafeína [1,5mg/kg: 30:42 ± 3:41 min:s; ES=-0,09 (p=0,53)] e na moderada [3mg/kg: 29:51 ± 3:38 min:s; ES=0,17 (p=0,29)] não alcançaram melhoras no desempenho de *endurance*, quando comparado ao grupo placebo (30:25 ± 3:10 min:s).

Por fim, um breve comentário sobre os dois estudos supracitados a respeito da inexistência do potencial ergogênico da cafeína. Nos achados de Conway et al. (2003), os autores comentam que o tamanho da amostra (n = 8) e a exclusão dos dados de um sujeito, por causa dos possíveis efeitos adversos da cafeína, reduziu o poder estatístico ($\beta-1=0,442$). Assim, a ausência de um efeito significativo da cafeína no desempenho na prova CR foi provavelmente devido a um erro do tipo II. Enquanto, Desbrow et al. (2009) relatam as possíveis explicações da ausência de qualquer benefício ergogênico que pode incidir sobre a magnitude da sensibilidade da execução de medida, isto é, estando abaixo da mudança de desempenho: uma atenuação do potencial ergogênico da cafeína quando a disponibilidade de CHO exógeno é alta; as possíveis diferenças na exposição a cafeína como um resultado da variabilidade individual na proporção do aparecimento da cafeína e, finalmente, um exercício prévio de carga constante.

Considerações finais

Em suma, na maioria dos artigos apresentados neste estudo, a cafeína mostrou efeito ergogênico sobre as provas CR melhorando o desempenho físico. O efeito ergogênico da cafeína tem sido demonstrado após a ingestão aguda de doses de baixa a moderada, apesar do foco da presente revisão ter sido apenas analisar o rendimento de atletas em provas de ciclismo de CR, independente da dosagem. Os resultados adquiridos nesta investigação poderão auxiliar os profissionais da área da saúde, como por exemplo, os nutricionistas que atuam na prescrição de uma suplementação adequada para atletas de elite que buscam uma melhora no desempenho físico.

REFERÊNCIAS

- ALTERMANN, A. M. et al. A influência da cafeína como recurso ergogênico no exercício físico: sua ação e efeitos colaterais. **Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**. v. 2, no. 10, p. 225-239, 2008.
- ALTIMARI, L. R. et al. Efeitos ergogênicos da cafeína sobre o desempenho físico. **Paulista Journal Physical Education**. v. 14, no. 2, p. 141-158, 2000.
- ALTIMARI, L. R. et al. Cafeína: ergogênico nutricional no esporte. **Brazilian Journal of Science and Movement**. v. 9, no. 3, p. 57-64, 2001.
- ALVES, M. P.; BRAGA, L. C. A cafeína como recurso ergogênico nos exercícios de endurance. **Revista Brasileira da Ciência e Movimento**. v. 8, no. 3, p. 33-37, 2000.
- BEAVO, J. A. et al. Effects of xanthine derivatives on lipolysis and adenosine 3', 5'-monophosphate phosphodiesterase activity. **Molecular Pharmacology**. v. 6, no. 6, p. 597-603, 1970.
- BRUCE, C. R. et al. Enhancement of 2000-m rowing performance after caffeine ingestion. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 32, no. 11, 1958-1963, 2000.
- CLARKSON, P. M. Nutritional ergogenic aids: caffeine. **International Journal of Sports Nutrition**. v. 3, no. 1, p. 103-111, 1993.
- CASTELLANOS, F. X.; RAPOPORT, J. L. Effects of caffeine on development and behavior in infancy and childhood: a review of the published literature. **Food and Chemical Toxicology**. v. 40, no. 9, p.1235-1242, 2002.

COX, G. R. et al. Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. **Journal of Applied Physiology**. v. 93, no. 3, p. 990-999, 2002.

CONWAY, K. J.; ORR, R.; STANNARD, S. R. Effect of a divided caffeine dose on endurance cycling performance, postexercise urinary caffeine concentration, and plasma paraxanthine. **Journal of Applied Physiology**. v. 94, no. 8, p. 1557-1562, 2003.

DESBROW, B. et al. Caffeine, cycling performance, and exogenous CHO oxidation: a dose-response study. **Medicine and Science in Sport and Exercise**. v. 41, no. 9, p. 1744-1751, 2009.

DELBONO, O.; CHU, A. Ca^{2+} release channels in rat denervated skeletal muscles. **Experimental Physiology**. v. 80, no. 4, p. 561-574, 1995.

DEAN, S.; BRAAKHUIS, A.; PATON, C. The effects of ECCG on fat oxidation and endurance performance in male cyclists. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**. v. 19, no. 6, p. 624-644, 2009.

FREDHOLM, B. B. On mechanism of action of theophylline and caffeine. **Acta Medica Scandinavica**. v. 217, no. 2, p. 149-153, 1985.

GEORGE, A. J. Central nervous system stimulants. Baillieres best practice & research. **Clinical Endocrinology & Metabolism**. v. 14, no. 1, p. 79-88, 2000.

GRAHAM, T. E. Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance. **Sports Medicine**. v. 31, no. 11, p. 785-807, 2001.

IVY, J. L. et al. Improved cycling time-trial performance after ingestion of a caffeine energy drink. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**. v. 19, no. 1, p. 61-78, 2009.

KALMAR, J. M.; CAFARELLI, E. Effects of caffeine on neuromuscular function. **Journal of Applied Physiology**. v. 87, no. 2, p. 801-808, 1999.

LACAZ-VIEIRA, F.; MALNIC, G. **Biofísica**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1981.

LORIST, M. M.; TOPS, M. Caffeine, fatigue, and cognition. **Brain and Cognition**. v. 53, no. 1, p. 82-94, 2003.

RUEGG, J. C. **Calcium in muscle activation**. Berlin, Alemanha: Springer Verlag, 1996.

SILVEIRA, L. R. **Alterações metabólicas introduzidas pela cafeína durante o exercício intermitente**. 1998. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas na área de Fisiológica e Biofísica)-Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-São Paulo, 1998.

SUTHERLAND, E. W. Studies on the mechanism of hormone action. **Science**. v. 177, no. 47, p. 401-408, 1972.

SINCLAIR, C. J. D.; GEIGER, J. D. Caffeine use in Sport: a pharmacological review. **Journal Sports Medicine and Physical Fitness**. v. 40, no. 1, p. 71-79, 2000.

SPRIET, L. L.; GIBALA, M. J. Nutritional strategies to influence adaptations to training. **Sports Science**. v. 22, no. 1, p. 127-147, 2004.

SLAVIN, N.; JOENSEN, H. K. Caffeine and Sport performance. **Physical Sports Medicine**. v. 13, p. 191-193, 1995.

SPRIET, L. L. Caffeine and performance. **International Journal of Sports Nutrition**. v. 5, p. 84-99, 1995.

SMITH, A. Effects of caffeine on human behavior. **Food and chemical Toxicology**. v. 49, no. 9, p. 1243-1255, 2002.

TARNOPOLSKY, M. A. Caffeine and endurance performance. **Sports Medicine**. v. 18, no. 2, p. 109-125, 1994.

VAN NIEUWENHOVEN, M. A.; BRUMMER, P. J. M.; BROUNS, F. Gastrointestinal function during exercise: comparison of water, sport drink, and sports drink with caffeine. **Journal of Applied Physiology**. v. 89, no. 3, p. 1079-1085, 2000.

WANG, Y.; LAU, C. E. Caffeine has similar pharmacokinetics and behavioral effects via the i.p. and p.o. routes of administration. **Pharmacology, Biochemistry & Behavior**. v. 60, no. 1, p. 271-278, 1998.

WALKER, G. J. et al. The effect of caffeine ingestion on human neutrophil oxidative burst responses following time-trial cycling. **Journal of Sports Sciences**. v. 26, no. 6, p. 611-619, 2008.

WILES, J. D. et al. 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, no. 11, p. 1165-1171, 2005.

Artigo de resultados

SANTOS, RA; LIMA-SILVA, AE. EFEITO DA INGESTÃO DE CAFEÍNA SOBRE O PACING DURANTE PROVAS DE CICLISMO DE CURTA DURAÇÃO. *Revista de intenção: MEDICINE AND SCIENCE IN SPORT AND EXERCISE.*

RESUMO

Objetivo: verificar o efeito da ingestão de cafeína sobre o *pacing* durante uma simulação de prova de ciclismo contra-relógio de 4000 metros. **Métodos:** oito ciclistas masculinos de nível recreacional foram voluntários para participar do presente estudo e compareceram quatro vezes ao laboratório. Na primeira visita realizaram uma avaliação antropométrica e um teste incremental máximo. Na segunda visita os sujeitos realizaram um teste de familiarização com o protocolo experimental. O protocolo experimental foi constituído de um teste de ciclismo contra-relógio de 4000m (CR), sendo os sujeitos instruídos a finalizar o teste no menor tempo possível. Uma vez familiarizado com o protocolo, cada sujeito realizaram dois testes experimentais, sendo um realizado uma hora após a ingestão de cápsulas contendo cafeína (CAF) (5 mg/kg da massa corporal), e outro após a ingestão de cápsulas de placebo (PLA). Esses testes foram aplicados de modo duplo-cego, contrabalançado e *cross-over*. **Resultados:** Quando comparado a PLA, a ingestão de CAF aumentou a produção de potência (PP) média [$232,8 \pm 21,4$ vs $219,1 \pm 18,6$ W; ES = 0,60 (95% CI = 0,044 e 1,159), $p = 0,034$] e a potência anaeróbia (P_{an}) no intervalo 2000-3000 m ($39,36 \pm 18,8$ vs $27,6 \pm 17,7$ W/ $p < 0,05$). A condição PLA foi maior em relação à CAF para tempo final e atividade eletromiográfica (iEMG) no intervalo 2000-3000 m [PLA: 419 ± 13 vs CAF: 409 ± 12 s; ES = 0,71 (95% CI = 0,085 e 1,133), $p = 0,026$] e ($32,3 \pm 14,3\%$ vs $29,0 \pm 11,9\%$ da CVM, $p < 0,05$). Contudo, as condições CAF e PLA não diferiram significativamente na concentração de lactato sanguíneo [La] em repouso, Pré-CR e Pós-CR, na frequência cardíaca (FC) e na percepção subjetiva de esforço (PSE) ($p > 0,05$). **Conclusão:** Sendo assim, sugere-se que a cafeína influencia na P_{an} , fazendo com que os sujeitos mantivessem uma maior PP na prova CR e, conseqüentemente, diminuíssem o tempo de prova.

Palavras-chave: *Pacing*; Potência Anaeróbia; Eletromiografia; Cafeína; Desempenho.

ABSTRACT

Purpose: verify the effects of caffeine on the pacing during a 4000-m cycling time-trial. **Methods:** Eight level recreational male cyclists were volunteers to participate in this study and attended to the laboratory four times. On the first visit, they performed an anthropometric assessment and a maximal incremental test. On the second visit, the subjects performed a familiarization test with the experimental protocol. The experimental protocol test consisted of a 4000-m cycling time trial (TT), being the subjects instructed to complete the trial in the shortest possible time. Each subject carried out two experimental tests, one after ingesting capsules containing caffeine (CAF) (5 mg/kg of body weight) and another after ingesting capsules of placebo (PLA). The tests were applied in a double-blind, counterbalanced and cross-over order. **Results:** When compared to PLA, the ingestion of CAF increased power output (PO) mean [232.8 ± 21.4 vs 219.1 ± 18.6 W; ES = 0.60 (95% CI = 0.044 e 1.159), $p = 0.034$] and anaerobic power (P_{an}) in range 2000-3000 m (39.7 ± 18.8 vs 27.6 ± 17.7 W/ $p < 0,05$). The condition PLA was higher in relation to CAF for final time and integrated electromyography (iEMG) over the interval [PLA: 419 ± 13 vs CAF: 409 ± 12 s; ES = 0.71 (95% CI = 0.085 and 1.133), $p = 0.026$] e ($32.3 \pm 14.3\%$ vs $29.0 \pm 11.9\%$ of MVC, $p < 0.05$). However, CAF and PLA conditions did not differ significantly in blood lactate concentration (BLC) at rest, Pre and Post-CR rate, heart rate (HR) and ratings of perceived exertion rating (RPE). **Conclusion:** Thus, it is suggested that the caffeine influences the P_{an} , so that subjects maintained a higher PP in the CR test, and therefore diminish the test time.

Key-words: Pacing; Anaerobic Power; electromyography; Caffeine; Performance.

INTRODUÇÃO

O *pacing* pode ser definido como a variação na potência que ocorre naturalmente ao longo de uma determinada prova, com o objetivo de concluir a tarefa em um menor tempo possível (16, 17, 18). Em provas de ciclismo, existem diferentes tipos de *pacing* (1). Aisbett et al. (3) realizaram um teste CR de ciclismo com duração de ~5 minutos e compararam diferentes tipos de *pacing* (início rápido, início lento e ritmo constante durante toda a prova). Nesse estudo, foi observado que a estratégia de início rápido teve uma potência relativamente mais alta durante os primeiros 25% do teste CR e uma melhora no desempenho total, quando comparado às outras duas formas de *pacing* .

Tendo em vista que em provas curtas de ciclismo existe a necessidade do fornecimento de energia pelas vias aeróbia e anaeróbia, o modo como a potência é distribuída ao longo dessas provas depende da taxa de utilização momentânea de cada um desses sistemas (16). Hettinga et al. (20) verificaram que a potência aeróbia (P_{aer}) aumenta nos últimos 2000 m de uma prova de 4000 m, independente da estratégia adotada pelo sujeito (início rápido, início lento e constante durante toda a prova). Por outro lado, a potência anaeróbia (P_{an}) foi dependente do tipo de *pacing* utilizado, onde nos primeiros 2000 m, o fornecimento anaeróbio foi maior no *pacing* de início rápido, mas reduz significativamente nos últimos 2000 m, enquanto foi menor nos primeiros 2000 m no *pacing* de início lento, mas aumenta significativamente nos últimos 2000 m. Mesmo com essas diferenças, a quantidade total de trabalho anaeróbio gerado durante a prova foi o mesmo para ambos os tipos de *pacing* . Esses resultados sugerem que a quantidade total de energia anaeróbia gerada durante uma prova de curta duração é limitada e invariável, sendo apenas a distribuição da mesma que pode ser modificada de acordo com o tipo de *pacing* adotado (20). Como alguns estudos evidenciaram um pequeno, mas significativo benefício da saída mais rápida (3), e uma saída mais rápida implica estar associada com uma maior contribuição anaeróbia (20), parece razoável imaginar que, algum recurso ergogênico que pudesse aumentar a P_{an} , talvez alterasse o *pacing* a favor de uma saída mais rápida e aumentasse o desempenho do atleta durante uma prova de 4000 m de ciclismo.

Alguns estudos tem seguido a utilização de substâncias como à cafeína antes da realização de exercícios anaeróbios de alta intensidade e curta duração, com o

intuito de protelar a fadiga e aprimorar o desempenho (10, 30). Essa substância parece favorecer a glicólise anaeróbica aumentando a velocidade de ressíntese de adenosina trifosfato (ATP), facilitando o aumento da atividade da enzima fosfofrutoquinase (PHO) e o aumento de efluxo de hidrogênio (H^+) da célula muscular, permitindo fornecimento de energia mais rápido para contração muscular (8, 27). Como consequência, a cafeína parece aumentar o fornecimento de energia por via anaeróbia em uma dada tarefa. Além disso, a cafeína tem ação direta sobre o sistema nervoso central (14), o qual poderia aumentar o recrutamento do número de unidades motoras através da propagação de sinais neuronais entre o córtex motor e a junção neuromuscular, conforme demonstrado pelo aumento da atividade eletromiográfica (38). Contudo, não é conhecido se esse efeito da cafeína sobre o recrutamento muscular e o metabolismo anaeróbio poderia alterar o *spacing* em uma prova curta de ciclismo.

Assim, o objetivo do presente estudo foi verificar os efeitos da ingestão de cafeína sobre o *spacing* durante provas de ciclismo de curta duração. A hipótese estabelecida foi a de que a cafeína poderia aumentar a contribuição energética anaeróbia, modificando a distribuição de potência ao longo da prova CR, mais especificamente a favor de uma saída mais rápida.

MÉTODOS

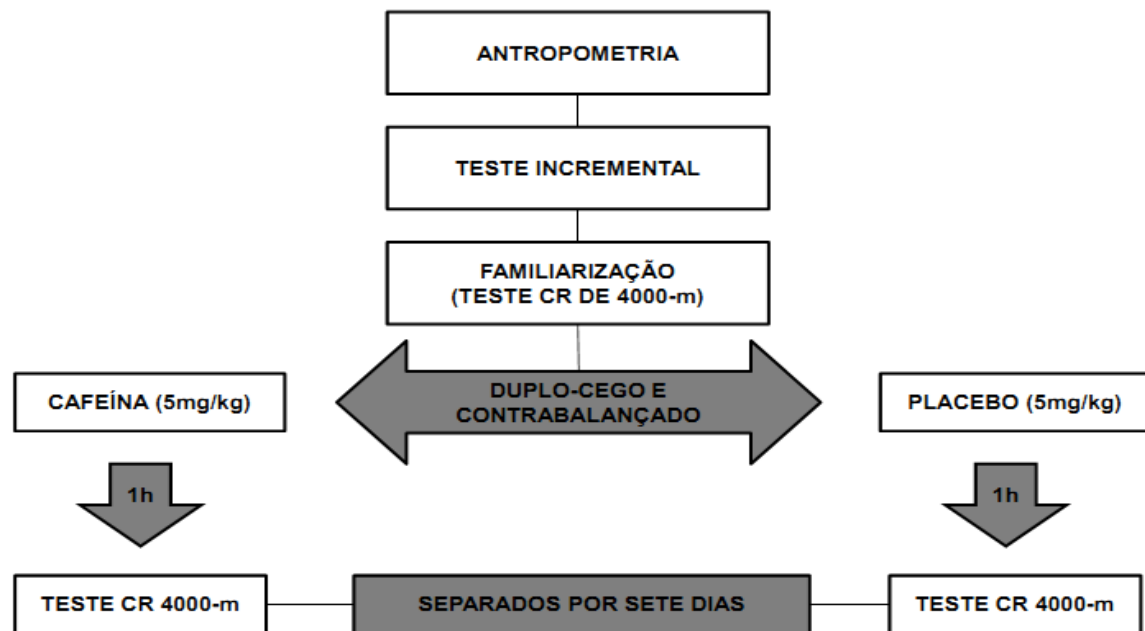
Sujeitos

Oito ciclistas masculinos de nível recreacional foram voluntários para participar do estudo. As características morfofuncionais dos sujeitos estão descritas na tabela 3. Os sujeitos foram informados antes do início dos testes de todos os procedimentos e dos possíveis riscos e benefícios da pesquisa, antes de assinar o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE). O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Alagoas (CEP/UFAL) (Processo nº 013043/2010-86), de acordo com as normas da Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde sobre pesquisa envolvendo seres humanos. Os sujeitos responderam um questionário de prontidão para atividade física (PAR-Q) e participaram de um exame cardiológico de repouso (Eletrocardiograma) para ser liberado para a realização do estudo.

Desenho experimental

Cada indivíduo visitou o laboratório em quatro ocasiões até a conclusão do estudo. Na primeira visita, os sujeitos informaram sua ingestão de cafeína média habitual e foram submetidos à avaliação antropométrica para determinação da massa corporal, estatura e percentual de gordura, neste último caso utilizaram-se as dobras cutâneas do peitoral, abdômen e coxa (23). Em seguida realizaram um teste incremental para confirmar a capacidade do exercício máximo dos participantes. Na segunda visita, os sujeitos realizaram uma sessão de familiarização usando o protocolo experimental (32). Uma vez familiarizado com o protocolo, cada sujeito realizou duas sessões experimentais, uma envolvendo o tratamento com cafeína e outra placebo. Uma hora antes de iniciar o experimento, os sujeitos receberam uma cápsula contendo cafeína (CAF) ou placebo (PLA) de 5 mg/kg de peso corporal, usando um protocolo de administração duplo-cego, contrabalançado e *cross-over*. Os dois tratamentos experimentais foram separados por sete dias (fig.1) e foram conduzidos no mesmo período do dia em um ambiente estável no laboratório ($23,0 \pm 0,34^{\circ}\text{C}$ e $44,1 \pm 1,3\%$). Cada experimento consistiu em um teste CR de ciclismo de 4000 m. Ao longo do teste, as medidas de percepção subjetiva de esforço (PSE), consumo de oxigênio (VO_2), frequência cardíaca (FC), concentração de lactato sanguíneo [La^-], atividade muscular eletromiográfica (EMG) e produção de potência (PP) foram mensuradas como variáveis dependentes. Os sujeitos do estudo foram orientados para que não realizassem atividades físicas vigorosas, não ingerissem substâncias cafeinadas (café, chocolate, mate, pó-de-guaraná, coca-cola e guaraná) ou alcoólicas nas 24 horas precedentes aos testes.

Figura 1 - Desenho experimental.



Fonte: Autor, 2012.

Teste incremental

Cada sujeito realizou um teste incremental máximo em um ciclo simulador *Tacx Flow T1680* (*Tacx, Wassenaar, Holanda*) para determinar o $VO_{2máx}$ e a produção de potência máxima ($PP_{máx}$). Os dados foram armazenados no computador através do *Tacx Trainer software 3.0* (*Wassemar, Holanda*). Cada teste teve início a 100 W (para aquecimento) e posteriormente foram acrescentados 30 W a cada três minutos, até chegar à exaustão voluntária. Durante todo teste, os sujeitos mantiveram uma rotação de pedal entre 80 e 90 rpm. O teste foi interrompido quando os sujeitos não conseguiram manter duas a três tentativas na rotação dentro desse intervalo. Durante todo o teste, medidas respiração a respiração de VO_2 , VCO_2 e VE foram obtidas através de um analisador automático de trocas gasosas (*Quark b², Cosmed, Itália*). Os valores de VO_2 e VCO_2 foram convertidos a médias a cada trinta segundos e o $VO_{2máx}$ foi considerado o maior valor obtido no último estágio do teste. O teste foi considerado máximo quando pelo menos dois dos seguintes critérios fossem atingidos: 1) aumento inferior a $150 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ no VO_2 após o incremento da carga no último estágio do teste; 2) razão de trocas respiratórias (RER) $\geq 1,00$ no último estágio do teste; 3) FC \geq a 90% da

máxima predita pela idade ($FC_{\text{máx.}}=220\text{-idade}$) no último estágio do teste (22). A PSE foi registrada a cada 3 min.

Familiarização

Após o período de 48 horas, os sujeitos realizaram um teste de familiarização para adaptação ao procedimento do CR. Antes de cada teste, os sujeitos realizaram um aquecimento em 100 W durante 5 min a 90 rpm. Os sujeitos foram salientados antes de iniciarem os testes, deveriam manter uma relação de marcha, uma vez iniciado, eles poderiam ficar livres para manipular a relação de marcha, a cadência e a velocidade. Além disso, os sujeitos também foram instruídos para finalizar o teste no menor tempo possível. A distância foi mencionada ao sujeito como *feedback* a cada 200 m.

Teste experimental

Na manhã do teste experimental, os sujeitos chegaram ao laboratório às 08 h, após ter consumido café da manhã entre 07 h e 07:15 h. O café da manhã foi padronizado e fornecido 2 g/kg de peso corporal de carboidrato (CHO) sem cafeína. Ao chegar ao laboratório, os sujeitos ingeriram uma cápsula contendo cafeína ou placebo, associado com 150 mL de água. Os sujeitos repousaram durante uma hora antes de sentar no ciclo ergômetro após ter ingerido a cápsula. Antes do aquecimento, cada sujeito realizou três contrações voluntárias máximas isométricas (CVM) (três extensões da articulação do joelho) com 5 s de duração e 1 min de repouso entre as sessões. Todas as provas iniciaram com um aquecimento a 100 W durante 5 min, mantendo uma rotação de 90 rpm. Durante esses 5 min de aquecimento a eficiência mecânica foi estimada (13, 14). Depois do aquecimento, os sujeitos tiveram 5 min de repouso antes do teste CR. Após essa recuperação, os sujeitos iniciaram um CR e foram instruídos para finalizar no menor tempo possível. Vale ressaltar que, antes de iniciar o CR os sujeitos foram informados para manter uma relação de marcha, uma vez iniciado, eles poderiam manipular durante a prova.

Durante o aquecimento e o teste, a troca de gases respiratórios foi mensurada respiração a respiração para determinar o VO_2 , o VCO_2 e a VE. O analisador de gases foi calibrado antes de cada teste usando uma seringa de três

litros, ar ambiente e uma mistura de gás padronizado. A FC foi mensurada no mesmo intervalo da respiração através de um cardiófrequencímetro integrado ao analisador de gases. A produção de potência (PP) foi medida a cada segundo. A PSE foi registrada a cada 1000 m usando a escala de Borg de 15 pontos, variando de “6” (nenhum esforço máximo) a “20” (esforço máximo) (6). Foi coletado 25 µl de sangue arterializado do lóbulo da orelha durante o repouso, imediatamente antes de iniciar o teste e no término do teste. As amostras com 25 µl de sangue arterializado foram transferidas para microtubos de 1,5 ml contendo 25 µl de fluoreto de sódio a 1% e imediatamente centrifugadas a 3.000 rpm, a 4°C, durante dez minutos, para separação do plasma. Em seguida, foram mensuradas as concentrações plasmáticas de lactato através de reações colorimétricas usando kits comerciais (biotécnica) medidas em espectrofotômetro *Quimis*® (Modelo Q798U2V5, Diadema, São Paulo, Brasil).

Durante a CVM, o aquecimento e o teste, a EMG do músculo vasto lateral da coxa direita (VL) foi mensurada a cada 200 m (Eletromiógrafo modelo 410c, EMG *System* Brasil, São Paulo, Brasil).

Medida da contração voluntária máxima

O exercício de contração voluntária máxima isométrica (CVM) foi realizado antes de cada teste CR. Anteriormente a CVM, os sujeitos participaram de um aquecimento padronizado com quatro contrações isométricas dos músculos do quadríceps em uma intensidade correspondente a 50%, 60%, 70% e 80% com duração de 5 s e intervalo de 30 s entre as sessões, de acordo com a contração máxima subjetiva de cada sujeito (2). Posteriormente foram realizadas três CVM com duração de 5 s intercaladas por 1 min de intervalo. Os indivíduos durante as contrações foram encorajados de forma verbal para alcançar a força máxima. A CVM foi verificada como maior pico de força entre as três CVM. A força dos músculos do quadríceps dos dois membros inferiores com o joelho em um ângulo de 60° (a extensão total sendo considerada 0° e o quadril a 90°) e com o quadril em 90° foi registrada através de uma célula de carga (EMG *System* Brasil, São José dos Campos, Brasil).

Normatização e análise eletromiográfica

No músculo analisado foi inicialmente realizada uma tricotomia seguida por uma assepsia com álcool para reduzir a impedância da pele. Para coleta dos sinais eletromiográficos, foi utilizado um eletrodo de superfície bipolar de Ag/AgCl (Hal, São Paulo, Brasil) sendo posicionado sobre o músculo VL. O eletrodo de referência foi posicionado em um local neutro (estrutura óssea: tíbia). Foi utilizada fita adesiva (Micropore™ 3M, Campinas, SP, Brasil) para a fixação dos eletrodos sobre a pele. A locação e localização dos eletrodos foram de acordo com as recomendações do SENIAM. A frequência de amostragem para aquisição das medidas eletromiográficas foi de 2000 Hz. Para remover artefatos de movimento e barulho de interferência externa, os sinais EMG brutos foram filtrados com um filtro de passa banda *Butterworth* de segunda ordem (20- 500 Hz). Durante o teste CR a EMG integrada (iEMG) foi calculada a cada 200 m de distância. A atividade iEMG coincidente com o pico de força durante o intervalo de 5 s do melhor esforço da CVM foi usado para normalizar os valores de EMG registrado durante CR.

Quantificação da potência aeróbia e anaeróbia

Primeiramente, a potência metabólica (P_{met}) durante o aquecimento foi calculada pela seguinte equação (19):

$$P_{met} (W) = VO_2 (L \cdot min^{-1}) \times ((4940 RER + 16,040)/60) \quad (1)$$

Onde: P_{met} é igual à potência metabólica, VO_2 corresponde ao consumo de oxigênio e RER a razão de trocas respiratórias.

A eficiência mecânica grossa foi determinada por meio da divisão da potência do aquecimento (P_{aque}) (isto é, 100 W) pela P_{met} . Durante o teste CR, a P_{met} foi calculada a cada 200 m, assumindo que a RER é equivalente a 1,00 (14). A produção de potência aeróbia (P_{aer}) durante o CR foi calculado pela multiplicação da P_{met} pela eficiência mecânica grossa. A produção de potência anaeróbia (P_{an}) durante CR foi obtida através da subtração da P_{tot} da P_{aer} .

Análise estatística

A distribuição dos dados foi analisada utilizando o teste de *Shapiro-Wilk*. Os valores de PSE, FC, $[La^-]$, atividade EMG e PP foram comparados utilizando ANOVA de medidas repetidas de dois fatores, tendo como fatores a condição (CAF vs PLA) e a distância (cada 200 e 1000 m). O teste *t student* pareado foi utilizado para comparar o tempo de realização do CR nas condições CAF e PLA. O tamanho do efeito (ES) e o intervalo de confiança de 95 % (IC 95 %) foram calculados para o tempo de prova e a PP média da prova. Para calcular o ES foi utilizada a seguinte fórmula:

$$M_{CAF} - M_{PLA} / SD_{Pooled} \quad (1)$$

Onde M_{CAF} corresponde à média da situação CAF, M_{PLA} a média da situação PLA e SD_{Pooled} o desvio padrão ponderado entre as duas condições, conforme sugerido por Conger et al. (11). A correção de *Hedges g* foi usada para evitar viés decorrente no número reduzido de sujeitos (9). As análises foram realizadas usando o pacote estatístico SPSS (versão 13.0, Chicago, USA), sendo adotado um nível de significância inferior a 5% ($p < 0,05$).

RESULTADOS

Características dos sujeitos. Na tabela 2 estão descritas as principais características dos participantes.

Tabela 1 - Características morfológicas e fisiológicas dos sujeitos.

	MÉDIA	DP
Idade (anos)	32,6	5,4
Massa corporal (kg)	76,7	10,4
Estatura (cm)	172,9	4,7
Percentual de gordura (%)	10,6	4,2
$W_{máx}$ (W)	232	13
$VO_{2máx}$ (L.min ⁻¹)	4,38	0,42
$VO_{2máx}$ (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	57,5	5,8
$FC_{máx}$ (bpm)	190	4

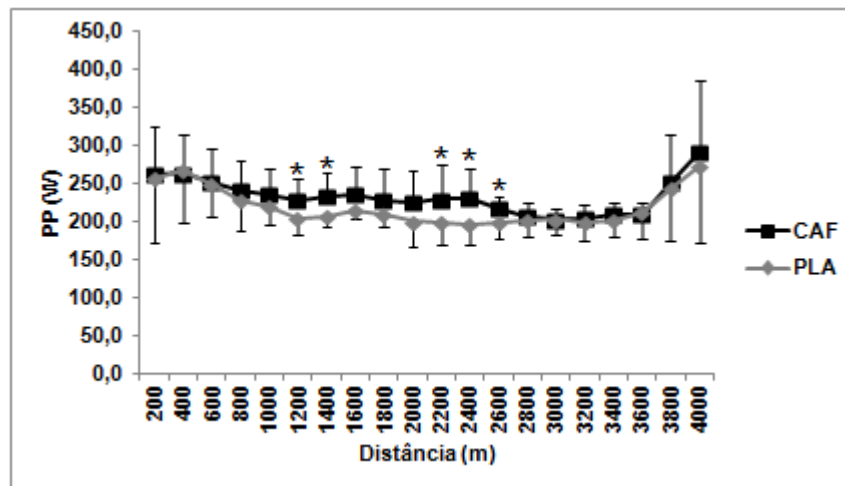
$VO_{2máx}$: consumo máximo de oxigênio; $W_{máx}$: Carga máxima obtida no teste progressivo máximo; $FC_{máx}$: frequência cardíaca máxima; DP: desvio padrão.

Fonte: Autor, 2012.

Produção de potência (PP) média e tempo. A PP média durante a prova CR foi significativamente maior na condição CAF do que em PLA [respectivamente, $232,8 \pm 21,4$ vs $219,1 \pm 18,6$ W; $p < 0,05$; ES = 0,60 (95% CI = 0,044 e 1,159), $p = 0,034$]. Da mesma forma, o tempo final que os sujeitos levaram para percorrer os 4000 m diferiu significativamente entre as condições [CAF: 409 ± 12 vs PLA: 419 ± 13 s; $p < 0,05$; ES = 0,71 (95% CI = 0,085 e 1,133), $p = 0,026$]. Além disso, a PP nos intervalos 1000-2000 e 2000-3000 m foram significativamente maiores na condição CAF quando comparado com PLA ($p < 0,05$) (tabela 2).

Ao analisar a figura 2 com dados a cada 200 m, percebe-se que a PP nos intervalos 1200, 1400, 2200, 2400 e 2600 m na situação CAF foi significativamente maior do que em PLA ($p < 0,05$). Os sujeitos adotaram uma saída rápida nas duas condições ($p < 0,05$), porém no meio da prova eles mantiveram a potência mais alta na condição CAF do que PLA. Ao final da prova, um *sprint* foi realizado em ambas as condições.

FIGURA 2 – *Pacing* adotado pelos sujeitos durante a prova de contra relógio de 4000 m na condição cafeína (CAF) e placebo (PLA). Os dados são expressos como média \pm DP. *Efeito significativo da situação CAF sobre os intervalos 1200, 1400, 2200, 2400 e 2600 m quando comparado com PLA.



Fonte: Autor, 2012.

TABELA 2 – Valores (médio ± desvio padrão) para produção de potência (PP), potência aeróbia (P_{aer}), potência anaeróbia (P_{an}), eletromiografia integrada para o músculo vasto lateral (iEMG), frequência cardíaca (FC) e percepção subjetiva de esforço (PSE) a cada 1000m da prova contra relógio nas condições cafeína (CAF) e placebo (PLA).

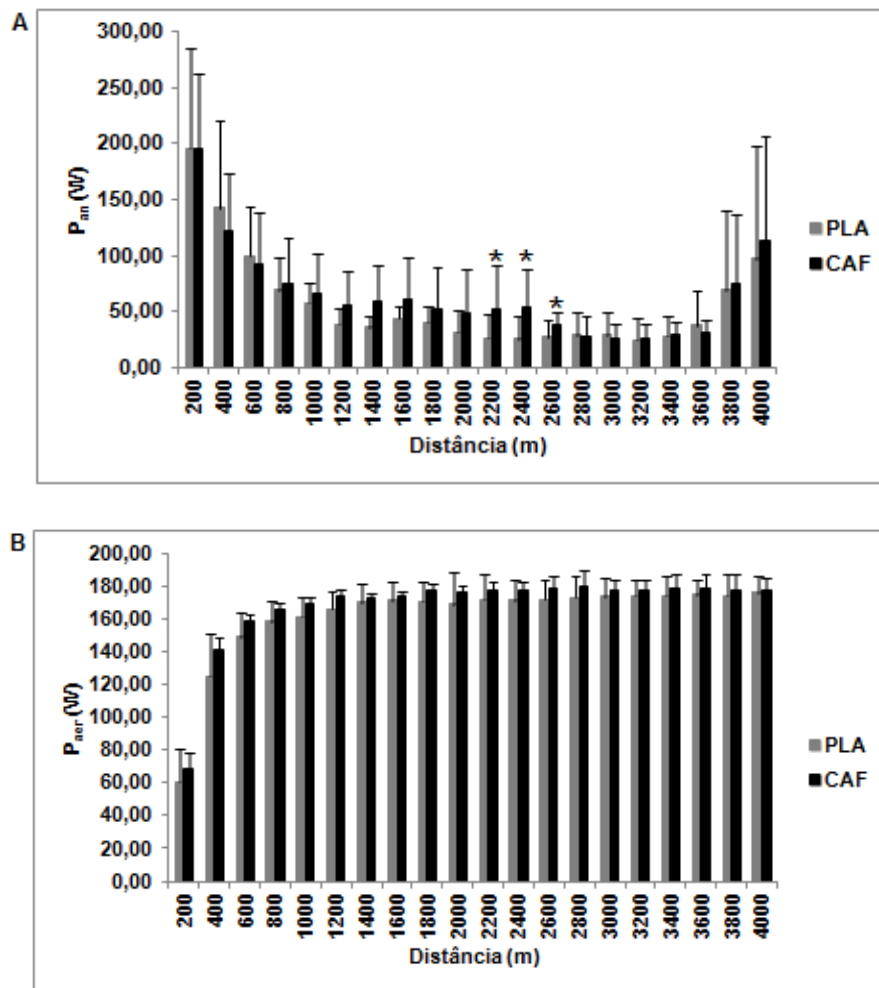
	CAF				PLA			
	0-1000m	1000-2000m	2000-3000m	3000-4000m	0-1000m	1000-2000m	2000-3000m	3000-4000m
	MÉDIA ± DP	MÉDIA ± DP	MÉDIA ± DP	MÉDIA ± DP	MÉDIA ± DP	MÉDIA ± DP	MÉDIA ± DP	MÉDIA ± DP
PP (W)	250,6 ± 43,2	231,0 ± 27,0*	218,9 ± 26,2*	227,8 ± 28,7	243,7 ± 39,2	209,1 ± 16	199,9 ± 23,0	221,8 ± 38,8
P_{aer} (W)	140,6 ± 45,7	174,0 ± 2,8	178,2 ± 6,4	177,9 ± 8,3	130,8 ± 14,5	169,4 ± 11,9	172,3 ± 12,4	174,6 ± 10,6
P_{an} (W)	109,9 ± 45,7	55,3 ± 30,3	39,4 ± 18,7*	54,9 ± 30,9	112,9 ± 42,4	37,7 ± 10,8	27,6 ± 17,7	51,0 ± 42,4
iEMG (VL) (%CVM)	27,6 ± 10,2	32,1 ± 10,4	29,0 ± 11,9	29,4 ± 11,0	31,6 ± 12,9	32,6 ± 11,3	32,3 ± 14,2 [#]	40,8 ± 20,7
FC (bpm)	147 ± 9	172 ± 11	174 ± 10	176 ± 10	151 ± 14	174 ± 9	176 ± 10	179 ± 9
PSE	11 ± 2	13 ± 1	15 ± 2	16 ± 2	11 ± 2	13 ± 1	14 ± 2	16 ± 2

*Valor médio na condição CAF nos intervalos de 1000-2000 e 2000-3000 m são significativamente maiores do que PLA ($p < 0,05$). [#]Significativamente maior no intervalo 2000-3000 m na situação PLA quando comparado com CAF ($p < 0,05$). Bpm: batimentos por minuto. CVM: contração voluntária máxima.

Fonte: Autor, 2012.

Potência aeróbia e anaeróbia. Na prova CR, a P_{an} média apresentou uma maior contribuição na condição CAF ($64,9 \pm 20,1$ W) do que PLA ($57,3 \pm 17,5$ W) ($p > 0,05$). Ao observar os valores médios dos intervalos a cada 1000 m, a P_{an} foi significativamente maior na condição CAF no terceiro intervalo (2000-3000 m) do que em PLA ($p < 0,05$) (tabela 2). Da mesma maneira, os valores nos intervalos a cada 200 m, foram encontrados uma maior P_{an} nos trechos de 2200, 2400 e 2600 m na condição CAF (respectivamente, $51,3 \pm 40,2$; $54,1 \pm 33,8$ e $38,6 \pm 11,5$ W) quando comparado com PLA (respectivamente, $26,6 \pm 20,6$; $25,7 \pm 20,4$ e $27,3 \pm 15,9$ W) (fig. 3A). Por outro lado, na P_{aer} não foi encontrado significante diferença entre as condições CAF e PLA ($p > 0,05$) em nenhum dos intervalos (fig. 3B).

FIGURA 3 - Valores médios da potência anaeróbia (P_{an}) (A) e aeróbia (P_{aer}) (B) a cada 200 m nas condições cafeína (CAF) e placebo (PLA). *Significativamente diferente nos intervalos 2200, 2400 e 2600 m na P_{an} (A) na condição CAF quando comparado com PLA. (Média \pm DP).

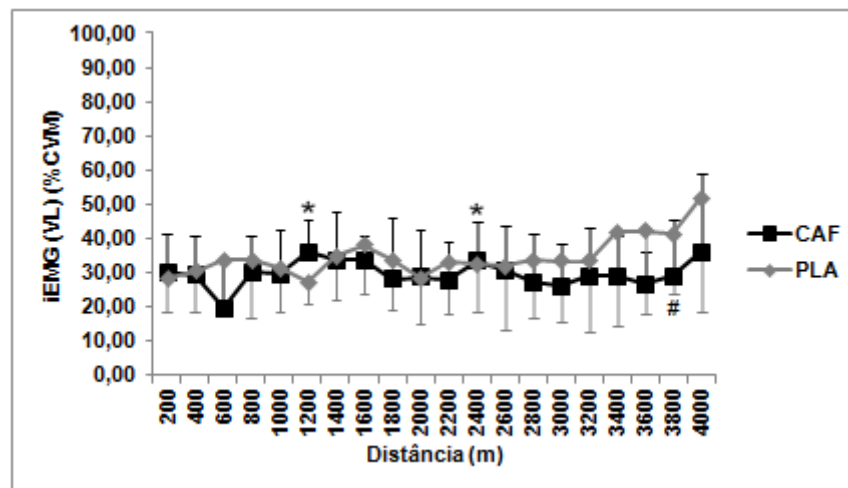


Fonte: Autor, 2012.

Eletromiografia integrada (iEMG). Não houve diferença significativa entre as condições CAF e PLA para a iEMG média do músculo vasto lateral durante a prova ($29,4 \pm 10,0\%$ vs $34,6 \pm 14,9\%$ da CVM, respectivamente, $p > 0,05$). Contudo, ao analisar os intervalos a cada 1000 m, houve um efeito significativo no terceiro intervalo (2000-3000 m), sendo a condição PLA ($32,3 \pm 14,3\%$ da CVM) maior do que na condição CAF ($29,0 \pm 11,9\%$ da CVM, $p < 0,05$) (tabela 2).

A observar a figura 4, a iEMG nos intervalos 1200 e 2400 m foi maior na situação CAF ($36 \pm 9,3\%$ e $33,5 \pm 11,7\%$ da CVM) do que em PLA (respectivamente, $27,3 \pm 6,2$ e $32,7 \pm 13,9\%$ da CVM, $p < 0,05$). Em contra partida, a situação PLA ($41,3 \pm 17,3\%$ da CVM) apresentou uma iEMG no intervalo 3800 m significativamente maior do que em CAF ($28,9 \pm 16,3\%$ da CVM, $p < 0,05$). Vale salientar, que um sujeito foi excluído de todas as análises de dados de EMG, devido à falha técnica no registro do sinal ($n= 7$).

FIGURA 4 – Eletromiografia integrada do músculo vasto lateral expresso em percentual da contração voluntária máxima (CVM) a cada 200m durante a prova contra relógio (CR) nas condições cafeína (CAF) e placebo (PLA). (Média \pm DP) *Significativamente diferente nos intervalos 1200 e 2400m na condição CAF quando comparado com PLA. #Significativamente diferente no intervalo 3800m na condição PLA quando comparado com CAF ($n=7$).



Fonte: Autor, 2012.

Frequência cardíaca (FC). A FC aumentou nos três primeiros intervalos (200, 400 e 600 m) em ambas as condições e logo em seguida manteve-se constante ao longo da prova, contudo, sem efeito significativo da condição em nenhuma das parciais (p

> 0,05). Os valores médios a cada 1000 m (tabela 2) e da prova toda também não foram diferentes entre as condições ($p > 0,05$).

Percepção subjetiva de esforço (PSE). A PSE aumentou progressivamente com o passar da distância para as situações CAF e PLA (tabela 2), porém sem efeito da condição ($p > 0,05$). Vale salientar, que o quinto sujeito foi excluído das análises de dados da PSE, devido uma dificuldade de compreender escala ($n = 7$).

Concentração de lactato sanguíneo $[La^-]$. A $[La^-]$ não foi significativamente diferente entre as condições CAF (Repouso= $1,52 \pm 0,71$; Pré-CR= $1,48 \pm 0,70$ e Pós-CR= $9,68 \pm 1,61$ mmol.L⁻¹) e PLA (Repouso= $1,29 \pm 0,74$; Pré-CR= $1,26 \pm 0,61$; Pós-CR= $9,97 \pm 2,57$ mmol.L⁻¹; $p > 0,05$).

DISCUSSÃO

Os principais achados do presente estudo foram: 1) um maior valor da PP média da prova CR na condição CAF do que em PLA; 2) o tempo final da prova CR foi maior na condição PLA do que em CAF; 3) a condição CAF demonstrou uma maior produção de potência no trecho médio da prova, quando comparado com PLA; 4) na condição CAF, a P_{an} foi maior nos intervalos 2200, 2400 e 2600 m (a cada 200 m), o que gerou maiores valores no trecho 2000-3000 m, quando comparado a PLA; 5) Não houve diferença significativa entre as condições CAF e PLA para a iEMG média do VL durante a prova. Entretanto, a iEMG do VL foi maior no intervalo 2000-3000 m na situação PLA, do que em CAF. Além desse intervalo, a iEMG também demonstrou maiores valores no intervalos 1200 e 2400 m na condição CAF, enquanto, menores no trecho de 3800 m, quando comparado a PLA e; 6) a FC, PSE e $[La]$ não foram significativamente diferente entre as condições.

A melhora na PP média após a ingestão de cafeína (5 mg/kg de peso corporal) em nosso estudo suportam os achados de Wiles et al (35), que encontraram uma melhora na PP média em ciclistas bem treinados durante o desempenho na prova CR de 1 km. Da mesma forma, o tempo final dos nossos ciclistas para percorrer a distância de 4000 m, foi menor após o consumo de cafeína, assim como no estudo de Wiles et al (35). Esses resultados corroboram também com outro estudo que verificou uma redução no tempo final para completar uma

prova CR de ~30 min (~70% da produção de potência máxima), depois da ingestão de cafeína (37). Os efeitos ergogênicos da cafeína podem ser explicados ou por um efeito estimulante sobre o SNC ou diretamente no músculo esquelético (25, 39). De acordo com a análise iEMG média no VL, não houve diferença significativa entre as condições CAF e PLA durante a prova ($p > 0,05$). Assim, é razoável imaginar que a ação da cafeína talvez tenha sido relacionada aos mecanismos periféricos, isto é, diretamente nos músculos esqueléticos. Os efeitos periféricos da cafeína são: 1) aumento da atividade da bomba de Na^+ e K^+ , regulando as concentrações de $[\text{K}^+]$ no meio extracelular, isto é, mantendo as concentrações baixas no meio extracelular, que retarda a fadiga (26); 2) a inibição da PDE, as quais são responsáveis pela degradação da adenosina monofosfato cíclico (AMPc), estimulando a lipólise e; 3) a mobilização de cálcio no retículo sarcoplasmático (RS), diminuindo o limiar de excitabilidade e prolongando a duração do período ativo da contração muscular. Entretanto, muitos desses efeitos periféricos da cafeína foram verificados em experimentos *in vitro*, limitando sua extrapolação para estudos *in vivo* (9, 12).

Ao analisar a PP na condição CAF a cada intervalo de 200 m, foi significativamente maior nos trechos 1200, 1400, 2200, 2400 e 2600, assim como, a cada 1000 m nos intervalos 1000-2000 e 2000-3000 m, quando comparado com PLA. Os sujeitos adotaram o *pacing* com uma saída mais rápida no início da prova nas duas situações, contudo na metade da prova eles mantiveram a potência mais alta no tratamento CAF do que PLA. Em contra partida, a iEMG do músculo VL analisada a cada 200 m nos trechos 1200 e 2400 m na condição CAF foi maior do que em PLA. Então, se observarmos as figuras 2 e 4 indicam similaridades entre os comportamentos da PP e dos sinais de iEMG nos trechos de 1200 e 2400 m. Além disso, a P_{an} total também apresentou similaridade com a PP e iEMG do músculo VL no intervalo 2400 m. Entretanto, a P_{an} foi maior na condição CAF no intervalo de 2000-3000 m, quando comparado com PLA, em contra partida, o sinal de iEMG foi maior na condição PLA. Esse comportamento sugere algum componente central no aumento da contribuição anaeróbia. De fato, a cafeína aumenta a propagação de sinais neurais entre o córtex cerebral e a junção neuromuscular (15). Para Kalmar e Cafarelli (25), a ação de CAF no SNC tem sido elucidada pelo efeito antagônico desta sobre os receptores de adenosina, melhorando assim a transmissão dopaminérgica pré e pós-sináptica e, conseqüentemente, aumentando a taxa de sinapse entre os motoneurônios. Sugere-se que uma maior taxa de sinapse entre os

motoneurônios com a ação da CAF, reflete em maior velocidade da condução do impulso nervoso para as fibras musculares e menor duração dos potenciais de ação das unidades motoras (4).

Como pode ser visto na figura 3A, a P_{an} não foi influenciada pela CAF no início e, sim no meio da prova CR, sugerindo que a ingestão de CAF aumenta o fornecimento de energia por via anaeróbia produzida durante uma prova de curta duração, mas apenas na sua metade e não no início (5). Simmonds et al. (33) relataram que, a cafeína é capaz de aumentar o total de energia fornecida pela via anaeróbia (capacidade do sistema), mas não altera a velocidade no fornecimento dessa energia (potência do sistema) durante o exercício supra $VO_{2máx}$ de carga constante. Por outro lado, os achados do presente estudo de que a P_{an} foi aumentada no meio da prova sugere que, em provas de contra-relógio, a velocidade de ressíntese de ATP por via anaeróbia (potência do sistema) pode ser aumentada em um dado momento. Entretanto, como diferentes formas de exercício foram utilizados entre o presente estudo e de Simmonds et al. (33), essa comparação deve ser feita com cautela.

Em relação à FC foi observado na presente investigação um aumento nos três primeiros intervalos (200, 400 e 600 m) nas duas situações e logo em seguida manteve-se constante ao longo da prova, contudo, sem efeito significativo da condição em nenhuma das parciais, assim como, nos valores médios a cada 1000 m e da prova toda. Isso corrobora outros achados de Doherty et. al. (13), os quais não encontraram mudanças significativas na FC de pico durante ciclismo de alta intensidade, após a ingestão de 5 mg/kg de cafeína em ciclistas bem treinados.

No presente estudo à PSE, não apresentou diferenças significativas entre as condições, assim como no estudo de Bridge e Jones (8), onde não foi verificado mudanças significativas na PSE na corrida de 8 km, após a ingestão de 3 mg/kg de cafeína em corredores treinados. Embora não ter havido diferenças significativas na presente investigação, foi observado que a PSE aumentou de modo linear ao longo do evento em ambas as situações. Esse comportamento pode ser explicado pela teoria da tele-antecipação de Ulmer (34), que sugere que o cérebro subconscientemente calcula previamente a duração máxima de exercício que pode seguramente ser sustentado, sem causar depleção de energia absoluta de todo o corpo (28).

Apesar da PP média durante a prova CR foi maior na situação CAF do que em PLA, a $[La^-]$ não foi diferente entre as condições no momento pós-CR, indicando que a $[La^-]$ parece não ter sido o fator determinante da fadiga muscular.

CONCLUSÃO

Em conclusão, os resultados do presente estudo demonstram que a ingestão de 5 mg/kg peso corporal de cafeína aumenta a contribuição energética anaeróbia e a PP média, que por sua vez, diminuíram o tempo final da prova de ciclismo contra-relógio de 4000 m. Sendo assim, a cafeína influenciou a PP no meio da prova CR, provavelmente por um maior recrutamento muscular e, assim, aumentando a P_{an} nesse trecho.

REFERÊNCIAS

1. Abbiss CR, Laursen PB. Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. *Sports Med.* 2008; 38: 239-52.
2. Albertus-Kajee Y, Tucker R, Derman W, Lambert M. Alternative methods of normalizing EMG during cycling. *J Electromyogr Kinesiol.* 2010; 20: 1036-43
3. Aisbett B, Le Rossignol P, McConell GK, Abbiss CR, Snow R. Effects of starting strategy on 5-min cycling time-trial performance. *J Sports Sci.* 2009; 27:1201-9.
4. Altimari LR, Efeito da ingestão de cafeína sobre deficit máximo acumulado de oxigênio, sinal eletromiográfico dos músculos superficiais do quadríceps e desempenho físico de ciclista. 07/2008. 98 pg. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de educação Física.
5. Bell DG, Jacobs I, Ellrington K. Effect of caffeine and ephedrine ingestion on anaerobic exercise performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2001; 33: 1399-1403.
6. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982; 14: 377-81.
7. Bond V, Gresham K, Mcrae J, Tearney RJ. Caffeine ingestion and isokinetic strength. *Br J Sports Med.* 1986; 20: 135-7.
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. Braga LC, Alves MP. A cafeína como recurso ergogênico nos exercícios de endurance. *Rev Bras Ciên e Mov.* 2000; 8: 33-7.
10. Burke LM. Caffeine and sports performance. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008; 33: 1319-34.
11. Conger SA, Warren GL, Hardy MA, Millard-Stafford ML. Does Caffeine Added to Carbohydrate Provide Additional Ergogenic Benefit for Endurance? *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2011; 21: 71-84.
12. Mello D, Kunzler DK, Farah M. A cafeína e seu efeito ergogênico. *Rev Bras Nutr Esport.* 2007; 1: 30-7.
13. Doherty M, Smith PM, Hughes MG, Davison RCR. Caffeine lowers perceptual response and increases power output during high-intensity cycling. *J Sports Sci.* 2004; 22: 637-43.
14. Doherty M, Smith PM. Effect of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: a meta-analysis. *Scand J Sci Med Sport.* 2005; 15: 69-78.
15. Davis JM, Zhao Z, Stock, HS, Mehl, KA, Buggy, J, Hand, GA. Central nervous system effect of caffeine and adenosine on fatigue. *Am J Physiol Integr Comp Physiol.* 2003; 284: 399-404.
16. de Koning JJ, Bobbert MF, Foster C. Determination of optimal pacing strategy in track cycling with an energy flow model. *J Sci Med Sport.* 1999; 2: 266-77.
17. Foster C, Snijder AC, Thompson NN, Green MA, Foley M, Schrage M. Effect of pacing strategy on cycle time performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1993; 25: 383-88.
18. Foster C, Schrage M, Snijder AC, Thompson NN. Pacing strategy and athletic performance. *Sports Med.* 1994; 17; 77-85.
19. Garby L, Astrup A. The relationship between the respiratory quotient and the energy equivalent of oxygen during simultaneous glucose and lipid oxidation and lipogenesis. *Act Physiol Scand.* 1987; 129; 443-4.
20. Hettinga FJ, de Koning JJ, Broerson FT, Geffen PV, Foster C. Pacing strategy and the occurrence of fatigue in 4000-m cycling time trial. *Med Sci Sports Exerc.* 2006; 38: 1484-91.
21. Hettinga FJ, de Koning JJ, Meijer E, Teunissen L, Foster C. Biodynamics.: Effect of pacing strategy on energy expenditure during a 1500-m cycling time trial. *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 39: 2212-8.
22. Howly ET, Bassett JR DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc.* Madson, 1995; 27: 1292-1301.

23. Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr.* 1978; 40: 497-504.
24. Joseph T, Johnson B, Battista RA, Wright G, Dodge C, Porcari JP, De Koning JJ, Foster C; Perception of fatigue during simulated competition. *Med Sci Sports Exerc.* 2008; 40: 381-6.
25. Kalmar JM, Cafarelli E. Effects of caffeine on neuromuscular function. *J Appl Physiol.* 1999; 87: 801-8.
26. Lindinger MI, Graham TE, Spriet L. Caffeine attenuates the exercise-induced increase in plasma $[K^+]$ in humans. *J Appl Physiol.* 1993; 74: 1149-55.
27. Nevil ME, Boobis LH, Brooks S, Williams C. Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J Appl Physiol.* 1989; 67: 2376-82.
28. Noakes TD, Snow RJ, Febbraio MA. Linear relationship between the perception of effort and the duration of constant load exercise that remains. *J Appl Physiol.* 2004; 96: 1571–73.
29. Noakes TD, Lambert M, Human R. Which lap is the slowest? An analysis of 32 world record performances. *Br J Sports Med.* 2008; 43: 760-4.
30. Paluska SA. Caffeine and Exercise. *Curr Sports Med Rep.* 2003; 2: 213-19.
31. Páscoa MRS, Alvim, CR, Rodrigues LOC. Efeitos da cafeína sobre a força muscular. *Min J Phys Educ.* 1994; 2: 56.
32. Stone MR, Thomas K, Wilkinson M, St Clair Gibson A, 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.
33. Simmonds MJ, Minaham CL, Sabapathy S. Caffeine improves supramaximal cycling but not the rate of anaerobic energy release. *Eur J Appl Physiol.* 2010; 109: 287-95.
34. Ulmer HV. Concept of an extracellular regulation of muscular metabolic rate during heavy exercise in humans by psychophysiological feedback. *Experientia.* 1996; 52: 416-20.
35. Wiles JD, Coleman, D., Tegerdine, M., Swaine, IL. The effects of caffeine ingestion on performance time, speed and power during a laboratory-based 1 km cycling time-trial. *J Sports Sci.* 2005; 24: 1165-71.
36. Wilmore, JH, Costill, DL. Fisiologia do esporte e do exercício; Barueri – SP; Manole, 2001; 2ªedição.

37. Walker GJ, Dziubak A, Houghton L, Prendergast C, Lim L, Bishop NC. The effect of caffeine ingestion on human neutrophil oxidative burst responses following time-trial cycling. *J Sports Sci.* 2009; 26: 611-19.
38. Williams JH, Barnes WS, Gadberry WL. Influence of caffeine on force and EMG in rested and fatigued muscle. *Am J Phy Med.* 1987; 66: 169-83.
39. Wilson DF. The effects of caffeine on neuromuscular transmission in the rat. *J Appl Physiol.* 1975; 25: 695-704.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos nos dois estudos (artigo de revisão e de resultados), é possível concluir:

1) Doses moderadas de CAF podem melhorar o desempenho de atletas em provas CR;

2) A ingestão de CAF (5 mg/kg peso corporal) aumenta o desempenho do ciclista na prova contra-relógio de 4000m, por aumentar a PP (nos trechos 1200, 1400, 2200, 2400 e 2600m), P_{an} (2200, 2400 e 2600m) e iEMG (1200 e 2400m) na parte média da prova.

AISBETT, B.; LE ROSSIGNOL, P.; MCCONELL, G. K.; ABBISS, C. R.; SNOW, R. Effects of starting strategy on 5-min cycling time-trial performance. **Journal of Sports Science**. v. 27, n. 27, p.1201-1029, 2009.

ABBISS, C. R.; LAURSEN, P. B. Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. **Sport Medicine**, v. 38, n. 3, p. 239-252, 2008.

CORBERT, J.; BARWOOD M. J., PARKHOUSE, K. Effect of task familiarization on distribution of energy during a 2000m cycling time trial. **Brazilian Journal Sports Medicine**. v. 43, n. 10, p. 770-774, 2009

DE KONNING, J. J.; BOBBERT, M. F.; FOSTER, C. Determination of optimal pacing strategy in track cycling with an energy flow model. **Journal Science Sports Medicine**. v. 2, n. 3, p. 266-277, 1999.

FIGLI, N.; BORDIN, S.; LARANJEIRA, R. **Aconselhamento em dependência química**. 1º ed. São Paulo: Roca, 2004. p. 146-149.

FOSTER, C.; HOYOS, J.; EARNEST, C.; LUCIA, A. Regulation of energy expenditure during prolonged athletic competition. **Medicine & Science in Sports & Exercise**; 2004;

FREDHOLM, B.; BATTIG, K.; HOLMÉN, J.; NEHLIG, A.; ZVARTAU, E. Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use. **Pharmacological Reviews**. v. 51, n. 1, 2005.

HETTINGA, F. J.; DE KONING, J. J.; BROERSON, F. T.; GEFFEN, P. V; FOSTER, C. Pacing strategy and the occurrence of fatigue in 4000-m cycling time trial. **Medicine & Science in Sports & Exercise**. v. 38, n. 8, p. 1484-1491, 2006.

JOSEPH, T.; JOHNSON, B.; BATTISTA, R. A.; WRIGHT, G.; DODGE, C.; PORCARI, J.P.; DE KONING, J. J.; FOSTER, C. Perception of fatigue during simulated competition. **Medicine Science Sports Exercise**. v. 40, n. 2, p. 381-386, 2008.

KHANNA, K. L.; RAO, G. S.; CORNISH, H. H. Metabolism of caffeine-3H in the rat. **Toxicology and Applied Pharmacology**. v. 23, n. 4, p. 720-730, 1972.

ROGERS, C. C. Caffeine. **Sports Medicine**. v. 13, p. 38-40, 1985.

ST CLAIR GIBSON, A.; SCHOBORT EJ; NOAKES TD. Reduced neuromuscular activity and force generation during prolonged cycling. **American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**. v. 281, n. 1, p. 187-196, 2001.

STONE, M. R.; THOMAS K.; WILKINSON M.; ST CLAIR GIBSON A.; THOMPSON, K. G. Consistency of perceptual and metabolic responses to a laboratory-based simulated 4,000-m cycling time trial. **European Journal Applied Physiology**. v. 111, n. 8, p.1807-1813, 2011.

SINCLAIR, C. J. D.; GEIGER, J. D. Caffeine use in Sport: a pharmacological review. **Journal Sports Medicine and Physical Fitness**. v. 40, n. 1, p. 71-79, 2000.

SPRIET, L. L. Caffeine and performance. **International Journal of Sports Nutrition**. v. 5, p. 84-99, 1995.

YAMADA, Y.; NAKAZATO, Y.; OHGA, A. The mode of action of caffeine on catecholamine release from perfused adrenal glands of cat. **British Journal of Pharmacology**. v. 98, n. 2, p. 351-356, 1989.