

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO

LEANDRO JOSÉ CAMATI FELIPPE

Efeito da ingestão aguda de cafeína sobre o trabalho total realizado acima da
potência crítica e o desenvolvimento da fadiga central e periférica em prova de
ciclismo contrarrelógio de 4 km

RECIFE
2018

LEANDRO JOSÉ CAMATI FELIPPE

Efeito da ingestão aguda de cafeína sobre o trabalho total realizado acima da potência crítica e o desenvolvimento da fadiga central e periférica em prova de ciclismo contrarrelógio de 4 km

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para o título de Doutor em Nutrição, na área de concentração Bases experimentais da Nutrição.

Orientador: Prof^o. Dr^o. Adriano Eduardo Lima da Silva

Co-orientador: Prof^o. Dr^o. Marcos David da Silva Cavalcante

RECIFE

2018

Catálogo na fonte:
Bibliotecário: Aécio Oberdam, CRB4 - 1895

F313e Felipe, Leandro José Camati.
Efeito da ingestão aguda de cafeína sobre o trabalho total realizado acima da potência crítica e o desenvolvimento da fadiga central e periférica em prova de ciclismo contrarrelógio de 4 km / Leandro José Camati Felipe . – Recife: o autor, 2018.
83 f.; il.; 30 cm.

Orientador: Adriano Eduardo Lima da Silva.
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências da Saúde. Programa de pós-graduação em nutrição.
Inclui referências e apêndices.

1. Desempenho atlético. 2. Músculo esquelético. 3. Fadiga muscular 4. Suplementação nutricional. 5. Sistema nervoso central. I. Silva, Adriano Eduardo Lima da (orientador). II. Título.

641.1 CDD (23.ed.)

UFPE (CCS 2018 - 025)

LEANDRO JOSÉ CAMATI FELIPPE

Efeito da ingestão aguda de cafeína sobre o trabalho total realizado acima da potência crítica e o desenvolvimento da fadiga central e periférica em prova de ciclismo contrarrelógio de 4 km

Tese aprovada em: 22 de janeiro de 2018

Banca examinadora:

Profº Dr. Marcos David da Silva Cavalcante
Universidade Federal de Pernambuco (PNPD – CAPES)

Profª Drª. Elizabeth do Nascimento
Universidade Federal de Pernambuco

Profº Dr. Eduardo Zapaterra Campos
Universidade Federal de Pernambuco

Profº Dr. Carlos Rafaell Correia de Oliveira
Centro Universitário CESMAC

Profª Drª. Thays de Ataíde e Silva
Universidade Federal de Alagoas

RECIFE

2018

RESUMO

A relação entre o trabalho total realizado acima da potência crítica (PC) e fadiga periférica durante um exercício com distribuição de potência livre ainda é desconhecida. No presente estudo foi investigada a influência da cafeína no trabalho total realizado acima da PC em um teste de ciclismo contrarrelógio de 4 km, e a possível consequência sobre a fadiga central e periférica. Onze ciclistas recreacionais realizaram três testes com carga constante para determinar a PC, e dois testes de ciclismo contrarrelógio de 4 km 75 minutos após a ingestão oral de 5 mg·kg⁻¹ de cafeína ou celulose (placebo). As avaliações dos parâmetros neuromusculares foram realizadas antes, ~50 minutos após a suplementação e um minuto após o teste contrarrelógio. A ingestão do suplemento pré-exercício não resultou em melhora nos parâmetros neuromusculares. Comparado com o placebo, a ingestão de cafeína aumentou a potência média (~4%, P = 0,01), e o recrutamento neuromuscular (~17%, P = 0,01), resultando em menor tempo para terminar os 4 km da prova (~2%, P = 0,03). O trabalho total realizado acima da PC foi significativamente maior com a ingestão da cafeína (16,7 ± 2,1 kJ) do que com placebo (14,7 ± 2,1 kJ, P = 0,01). Após o 4-km TT a fadiga periférica global e de baixa frequência (diferença do pré e pós-exercício na força gerada aos estímulos de 1 e 10 Hz) foi mais pronunciada com a ingestão de cafeína (121 ± 13 e 137 ± 14 vs 146 ± 13 e 156 ± 11 N; P < 0,05). Não houve efeito da cafeína sobre a fadiga periférica. Em conclusão, a cafeína aumentou o recrutamento muscular, permitindo um maior trabalho total acima da PC e um maior grau de fadiga periférica do músculo locomotor após o exercício.

Palavras-chave: Desempenho atlético. músculo esquelético. fadiga muscular. suplementação nutricional. sistema nervoso central.

ABSTRACT

The link between total work performed above critical power (CP) and peripheral muscle fatigue during self-paced exercise is unknown. We investigated the influence of caffeine on the total work output above CP during a 4-km cycling time trial (TT), and the subsequent consequence on the development of central and peripheral fatigue. Nine cyclists performed three constant-load exercise trials to determine CP and two 4-km TT ~75 min after oral caffeine (5 mg·kg⁻¹) or cellulose (placebo) ingestion. Neuromuscular functions were assessed before and 50 min after supplementation, and 1 min after 4-km TT. Oral supplementation alone had no effect on neuromuscular function ($P > 0.05$). Compared to placebo, caffeine increased mean power output (~4%, $P = 0.01$) and muscle recruitment (as inferred by EMG) (~17%, $P = 0.01$), and reduced the time to complete the 4-km TT (~2%, $P = 0.03$). Work performed above CP during the caffeine trial (16.7 ± 2.1 kJ) was significantly higher than during the placebo (14.7 ± 2.1 kJ, $P = 0.02$). End-exercise decline in quadriceps twitch force (pre- to post-exercise decrease in twitch force at 1 and 10 Hz) was more pronounced after caffeine compared to placebo (121 ± 13 and 137 ± 14 vs 146 ± 13 and 156 ± 11 N; $P < 0.05$). There was no effect of caffeine on central fatigue. In conclusion, caffeine increases muscle recruitment which enables greater work output above CP and higher end-exercise peripheral locomotor muscle fatigue.

Key-words: Athletic performance. skeletal muscle. muscle fatigue. supplementary feeding. central nervous system.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Relação hiperbólica potência-tempo.....	15
Figura 2	Modelos matemáticos para determinação da PC e W'	19
Figura 3	Estrutura química da cafeína.....	26
Figura 4	Protocolo de identificação do platô na Q_{twpot} e Onda- M_{ampl}	34
Figura 5	Protocolo experimental.....	36
Figura 6	PO e RMS_{TT} no teste contrarrelógio de 4 km.....	41
Figura 7	Distribuição e trabalho total acima da PC.....	42
Figura 8	Mudanças percentuais dos parâmetros neuromusculares.....	45
Figura 9	Respostas sistêmica ao ciclismo contrarrelógio de 4 km.....	47

LISTA DE TABELA

Tabela 1	Comparação entre as equações de determinação de PC e W'	39
Tabela 2	Valores absolutos dos parâmetros neuromusculares.....	44
Tabela 3	Valores absolutos de pH sanguíneo e lactato e amônia plasmático.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

W' – Trabalho total realizado acima da potência crítica

SNC – Sistema nervoso central

PSE – Percepção subjetiva do esforço

AMPc - 3'5'-adenosina-monofosfato-cíclico

GF – Glicogênio fosforilase

Na⁺/K⁺-ATPase – Bomba de sódio e potássio

K⁺ - Potássio

Ca⁺² – Cálcio

VO_{2máx} – Consumo máximo de O₂

PO – Potência máxima

LV₁ – Primeiro limiar ventilatório

LV₂ – Segundo limiar ventilatório

PC – Potência crítica

CVM – Contração voluntária máxima

CAF – Cafeína

PLA - Placebo

VCO₂ – Volume de dióxido de carbono

RER - Razão de trocas respiratórias

VE/VCO₂ – Razão entre volume ventilatório e volume de dióxido de carbono

FC – Frequência cardíaca

Q_{tw} - potencial de contração do quadríceps

EMG – Sinal eletromiográfico

RMS – root mean square

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO DA LITERATURA	14
3. PERGUNTA CONDUTORA	29
4. OBJETIVOS.....	29
4.1 Geral	29
4.2 Específicos	29
5. HIPÓTESES.....	30
6. MATERIAIS E MÉTODOS	30
6.1 Participantes.....	30
6.2 Desenho experimental	30
6.3 Composição corporal e teste incremental	31
6.4 Familiarização e determinação da PC	32
6.5 Protocolo experimental.....	34
6.6 Avaliação dos parâmetros neuromusculares	35
6.7 Captação da atividade eletromiográfica.....	36
6.8 Análises.....	37
6.8.1 Cálculo da PC e W'	37
6.8.2 Análise sanguínea	38
6.9 Análise estatística	38
7. RESULTADOS.....	38
7.1 Estimativas de PC e W'	39
7.2 Desempenho no ciclismo contrarrelógio de 4 km.....	39
7.3 Produção produzida e recrutamento muscular	39
7.4 Trabalho realizado acima da PC	42
7.5 Parâmetros neuromusculares.....	43
7.6 Relação entre trabalho total realizado acima da PC e fadiga periférica	45
7.7 Resposta sistêmica ao exercício e parâmetros sanguíneos	46
8. DISCUSSÃO	47
9. LIMITAÇÕES	51
10. APLICAÇÃO PRÁTICA	51
11. CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS.....	53

APÊNDICE A – Detalhes da recuperação da W' durante o contrarrelogio de 4- km.	68
APÊNDICE B - Carta de anuência	69
APÊNDICE C - Termo de consentimento livre e esclarecido.....	70
APÊNDICE D – Lista de alimentos e bebidas que contêm cafeína	75
ANEXO A – Questionário para excluir indivíduos com riscos cardiovasculares.	76
ANEXO B - Escala de Percepção subjetiva de esforço (PSE)	78
ANEXO C - Parecer consubstanciado do comitê de ética	79
ANEXO D – Comprovante de submissão do artigo.....	82
ANEXO E – Autorização de reprodução de material	83

1. INTRODUÇÃO

A relação entre potência produzida (PO) e tolerância ao exercício de alta intensidade é caracterizada por uma função hiperbólica (MORTON, 2006). A assíntota da hipérbole potência-tempo é denominada potência crítica (PC), e representa a máximo equilíbrio metabólico no qual o exercício pode ser sustentado por longo tempo, devido a estabilização do consumo de O_2 (VO_2) e do equilíbrio na produção e remoção de metabólitos (MORITANI et al., 1981; VANHATALO et al., 2016). A hipérbole dessa curva constante representa a finita capacidade total de trabalho que pode ser realizado acima da PC, denominada de W' (MORITANI et al., 1981; JONES et al., 2003). Estudos têm observado que a exaustão em exercícios com cargas constantes realizados acima da PC coincide com a completa utilização da W' (CHIDNOK, DIMENNA, et al., 2013). Os determinantes fisiológicos da W' ainda não são totalmente compreendidos, porém o conceito tradicional considera a W' como sendo a soma das reservas anaeróbias, ou seja, fosfagênios (ATP/CP), glicogênio muscular, e as reservas de O_2 intramusculares (GAESSER e WILSON, 1988). No entanto, evidências atuais sugerem que a W' representa mais do que um simples marcador de reserva anaeróbia (JONES et al., 2008; CHIDNOK, FULFORD, et al., 2013; VANHATALO et al., 2016; BLACK et al., 2017). Tem sido reportado que a completa utilização da W' durante a realização de exercício no domínio severo, coincide com perturbações metabólicas intramusculares relacionadas com a fadiga periférica, como a queda nas concentrações de fosfocreatina (PCr) e acúmulos de íons H^+ , fosfato inorgânico (Pi) e adenosina difosfato (ADP) (VANHATALO et al., 2010; CHIDNOK, FULFORD, et al., 2013; BLACK et al., 2017). Esses resultados sugerem que existe uma possível relação entre o trabalho realizado acima da PC e a taxa de desenvolvimento da fadiga periférica, em exercícios com carga constante realizado acima da PC (BROXTERMAN et al., 2016; BLACK et al., 2017).

O mecanismo que dá suporte a possível associação entre a quantidade de trabalho realizado acima da PC e a fadiga periférica, é a diminuição na eficiência muscular, uma vez que para manter a intensidade de exercício começa a haver um aumento progressivo no recrutamento das fibras do tipo II, que apresentam uma menor capacidade de resistência a fadiga do que as fibras do tipo I (WILKES et al., 1983). Esse recrutamento adicional causa um progressivo acúmulo de metabólitos no músculo [íons H^+ , Pi, ADP, adenosina monofosfato (AMP) e inosina monofosfato

(IMP)) e no sangue (H^+ , lactato e potássio (K^+)), fatores esses relacionados a fadiga periférica (WILKES et al., 1983; BLAIN et al., 2016). Além disso, o aumento desses metabólitos no meio intersticial estimula os nervos aferentes III e IV, que são intimamente relacionadas com as regiões sensoriais do sistema nervoso central (SNC), causando diminuição na ativação neuromuscular e aumento da sensação de dor (AMANN et al., 2009; AMANN et al., 2010; CHIDNOK, FULFORD, et al., 2013; BLAIN et al., 2016). Esse mecanismo aferente possivelmente limitaria o nível de perturbação metabólica intramuscular, estabelecendo um “limite crítico de fadiga” para uma determinada tarefa (AMANN et al., 2009; 2010). Parece plausível supor que o mesmo mecanismo que limita o desenvolvimento da fadiga periférica também possa limitar o trabalho total acima da PC (VANHATALO et al., 2016; BLACK et al., 2017). As evidências experimentais que apoiam essa suposição indicam que apesar das diferentes intensidades de exercício e grau de ativação neuromuscular dentro do domínio severo, a fadiga periférica alcança valores semelhantes após a exaustão (BLACK et al., 2017), e níveis similares de vários marcadores metabólicos relacionados com a fadiga periférica (PCr, H^+ , Pi e ADP) (CHIDNOK, FULFORD, et al., 2013; VANHATALO et al., 2016; BLACK et al., 2017), consumo máximo de O_2 (VO_{2max}) (GOLDFINCH et al., 1988; DOUROUDOS et al., 2006), e trabalho total realizado acima da PC (JONES et al., 2008; VANHATALO et al., 2016; BLACK et al., 2017). Essas descobertas fornecem evidências de que o exercício no domínio severo é interrompido quando os processos metabólicos, respiratórios e de fadiga periférica alcançam, coletivamente, valores limitantes para aquela tarefa, o que coincide com o uso total de W' (AMANN et al., 2009; AMANN et al., 2010; BLACK et al., 2017).

Embora a associação entre o trabalho total realizado acima da PC e a fadiga periférica tenha sido investigada em exercícios com carga constante (BROXTERMAN et al., 2016), ainda não se sabe de que forma isso se dá em exercício onde o participante fica livre para distribuir a PO durante a prova. No ciclismo contrarrelógio de 4 km, por exemplo, a maior parte da prova é realizada acima da PC, obrigando o participante a distribuir a PO de forma a obter o melhor desempenho e evitar a fadiga prematura. Atualmente apenas um estudo investigou o uso do trabalho total realizado acima da PC no ciclismo contrarrelógio de alta intensidade, porém sem a avaliação da fadiga neuromuscular (CHIDNOK, DIMENNA, et al., 2013). Nesse estudo foi observado que o trabalho total realizado acima da PC no ciclismo contrarrelógio de 3 minutos não foi diferente do exercício com carga constante desenvolvido para levar a

exaustão em 3 minutos (CHIDNOK, DIMENNA, et al., 2013). Isso indica que o trabalho total acima da PC parece ser estritamente regulado durante o exercício realizado acima da PC. No entanto, a duração desse teste (3 minutos) tem quase a metade da duração de um teste de ciclismo contrarrelógio de 4 km realizados por ciclistas recreacionais (~6 minutos) (SANTOS et al., 2013). Pode-se esperar que a regulação da distribuição da PO e da utilização do trabalho total realizado acima da PC durante um exercício mais longo seja mais complexa do que o observado em exercício com a metade da duração, devido ao formato da curva de distribuição de PO em “U”, com uma alta PO no início, seguido por declínio gradual no meio do exercício, e um *sprint* final (FOSTER et al., 1993).

Apesar dos estudos citados acima apontarem para um uso restrito da W' , foi observado que a suplementação com $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ de peso corporal de cafeína aumenta a quantidade de trabalho acima da PC em um teste de máximo de 3 minutos (CHENG et al., 2016). Atualmente sabe-se que a cafeína pode ter um efeito importante no SNC (FREDHOLM et al., 1999; DOHERTY e SMITH, 2005), tendo como principal efeito o antagonismo dos receptores de adenosina (FREDHOLM et al., 1999). A adenosina é um neurotransmissor responsável pela sensação de sono e cansaço, e a sua menor ação após o consumo da cafeína leva a uma maior excitação, diminuição da sonolência e da percepção subjetiva de esforço (PSE) para uma determinada carga de trabalho (FREDHOLM et al., 1999; DOHERTY e SMITH, 2005). Além disso, também foi proposto que a cafeína pode diminuir os sinais sensoriais musculares que chegam ao cérebro, diminuindo o limiar de ativação dos neurônios motores e aumentando a PO (DOHERTY et al., 2004). Dessa forma, um maior recrutamento de fibras musculares permitiria uma maior PO, e maior realização de trabalho acima da PC.

Da mesma forma, a diminuição da fadiga periférica após o consumo de cafeína também tem sido relatada em alguns estudos (LINDINGER et al., 1993; SIMMONDS et al., 2010). A cafeína parece melhorar modulação iônica (K^+ e Ca^{2+}) e a atividade das enzimas responsáveis pela glicogenólise/glicólise, permitindo, desta mesma forma, a realização de uma maior quantidade de trabalho muscular, aumentando a intensidade durante o exercício (BEAVO et al., 1970; SIMMONDS et al., 2010). Essa diminuição pode permitir que um indivíduo se exercite em uma maior intensidade, diminuindo o tempo para percorrer uma distância pré-estabelecida. Contudo, isso provavelmente levaria a um maior desgaste muscular devido a maior quantidade de

trabalho realizado, com conseqüente acúmulo de metabólitos, o que implicaria em um maior desenvolvimento da fadiga periférica e/ou central ao final do teste. Entretanto, nenhum estudo até o momento verificou se o fato de realizar uma maior quantidade de trabalho acima da PC durante uma prova de 4 km implica em maior grau de fadiga periférica e/ou central após a prova.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Potência crítica e capacidade de trabalho acima da potência crítica

A relação entre a intensidade e tempo de exercício desperta grande interesse de fisiologista e treinadores, uma vez que ela determina a máxima intensidade que um indivíduo consegue se manter durante uma prova sem a ocorrência de fadiga precoce (MONOD e SCHERRER, 1965; CHIDNOK, FULFORD, et al., 2013). O cientista britânico A. V. Hill (1925) foi o primeiro a observar que a relação entre a velocidade-tempo seguia um modelo matemático hiperbólico. Nesse estudo foram plotados em um gráfico os recordes mundiais de natação, corrida e canoagem de atletas do sexo masculino e feminino, realizadas em várias distâncias de prova (HILL, 1925). Foi observado que quanto maior a velocidade, menor era o tempo em exercício, porém a medida em que a velocidade das provas era diminuída, a tolerância foi aumentando, até um ponto em que a curva velocidade-tempo apresentava um valor constante.

A relação hiperbólica velocidade-tempo ou potência tempo não foi observada apenas em exercícios envolvendo grande massa muscular, mas também em exercícios com menor massa muscular, como, por exemplo, flexão de dedos (BROXTERMAN et al., 2016) e extensão unilateral do quadríceps (CHIDNOK, FULFORD, et al., 2013). A consistência dessas observações indica que a relação potência-tempo e sua bioenergética subjacente, é característica da biologia integrativa do desempenho humano (POOLE et al., 2016).

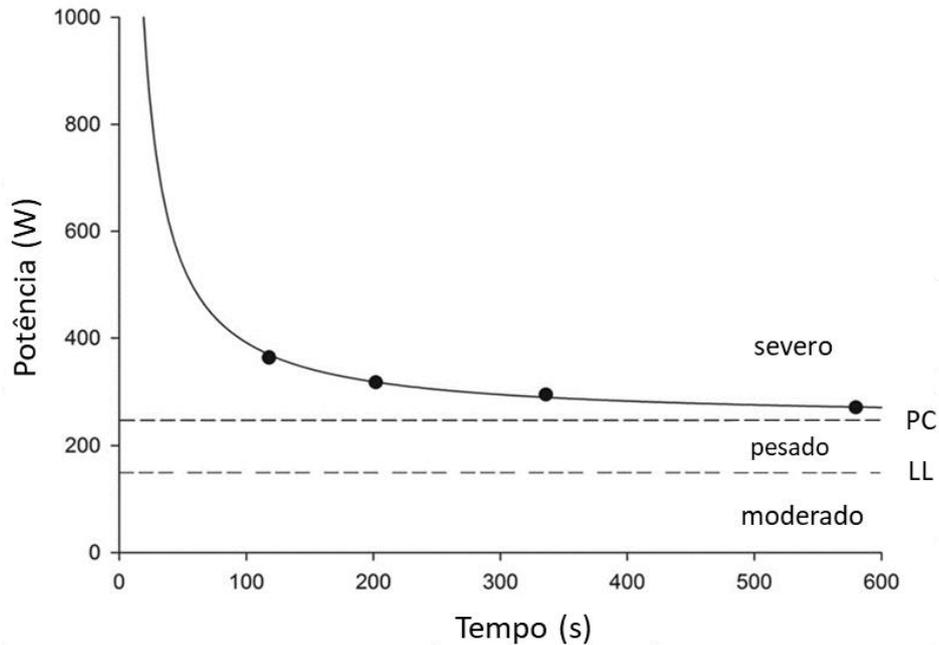


Figura 1 – Relação hiperbólica potência-tempo. LL, limiar de lactato. Fonte: Adaptado de Burnley et al. (2016).

A partir da curva potência-tempo é possível identificar a PC (figura 1). Conceitualmente, a PC é definida como a máxima intensidade que pode ser sustentada “indefinidamente” ou por um longo período de tempo, sem a ocorrência de fadiga (JONES et al., 2010). Pelo fato de nenhum exercício poder ser mantido por um tempo indefinido, o conceito atual considera a PC como sendo uma potência de trabalho na qual o indivíduo se mantém em torno de 30 a 40 minutos (JONES et al., 2010). Além disso, a PC é hoje um conceito fundamental em fisiologia do exercício por duas razões principais. A primeira razão é que o conceito da PC permite explorar e compreender a bioenergética do músculo esquelético, e as respostas metabólicas e cardiorrespiratórias ao exercício (JONES et al., 2008; VANHATALO et al., 2016). Segundo, por se tratar de uma importante ferramenta de monitoramento do condicionamento físico de atletas e praticantes de exercício físico, serve como ferramenta para a prescrição de treinamento, uma vez que a PC tem sido relacionada a alguns índices de aptidão aeróbia, tais como o segundo limiar de lactato ($r=0,91$) e o $VO_{2máx}$ ($r=0,87$) (MORITANI et al., 1981). Fisiologicamente, a PC representa um importante marcador de transição metabólica durante o exercício, delimitando o ponto de transição entre os domínios de intensidade pesado e severo (VANHATALO et al., 2016). No domínio pesado, isto é, em intensidade entre o primeiro limiar ventilatório

(ou de lactato) e a PC, o VO_2 se mantém estável, ao passo que acima desta intensidade o VO_2 aumenta gradualmente até atingir o seu máximo (POOLE et al., 1988; JONES et al., 2010).

A estabilidade do lactato sanguíneo em intensidade de exercício realizado na PC é um importante aspecto observado em alguns estudos (CHIDNOK, FULFORD, et al., 2013; VANHATALO et al., 2016; BLACK et al., 2017). Em teste realizado em cicloergômetro em intensidade referente à PC, a concentração de lactato ([La]) se manteve estável (~5,6 mmol/L) durante todo o protocolo (~24 minutos) (POOLE et al., 1988). Quando essa intensidade foi aumentada em 15 watts acima da PC, a [La] aumentou gradualmente, chegando a atingir 13 mmol/L ao final do exercício (POOLE et al., 1988). Além do lactato, as concentrações de fosfocreatina (PCr), potássio (K^+), ADP e pH também parecem apresentar seu máximo estado estável em intensidade de exercício referente a PC (JONES et al., 2008; CHIDNOK, FULFORD, et al., 2013; VANHATALO et al., 2016). Quanto ao acúmulo de metabolitos, é interessante observar que quando o exercício foi realizado até a exaustão em três diferentes intensidades de exercício acima da PC, ou seja, todas no domínio severo, não houve diferença nas concentrações finais de PCr e pH (BLACK et al., 2017). Todavia é importante destacar que, alguns estudos têm observado que a PC pode superestimar o segundo limiar de lactato e a maior intensidade onde há a estabilidade das variáveis fisiológicas (BRICKLEY et al., 2002; DEKERLE et al., 2003; BERGSTROM et al., 2013). Brickley et al. (2002), por exemplo, observaram que durante um exercício realizado em cicloergômetro para membros inferiores em intensidade relativa a PC, a frequência cardíaca (FC), concentração de lactato sanguíneo e VO_2 foi aumentado ao longo do exercício até o ponto de exaustão. Portanto, de acordo com os estudos supracitados, a PC deve ser considerado como o limite inferior do domínio severo.

Outro parâmetro que pode ser derivado da curva potência-tempo é a W' . A W' representa a quantidade de trabalho que pode realizada acima da PC (MONOD e SCHERRER, 1965). O conceito tradicional de W' referia-se ao total de utilização das reservas anaeróbias, ou seja, fosfocreatina (PCr), glicogênio muscular e a pequena reserva de O_2 intracelular (MONOD e SCHERRER, 1965; MORITANI et al., 1981). Porém, mais recentemente, foi observado que a W' representa mais do que a reserva anaeróbia disponível (JONES et al., 2008; BLACK et al., 2017). Em um estudo recente, foi observado que em três intensidades diferentes de exercícios acima da PC até a exaustão, não houve diferença no trabalho total realizado e que as reservas de PCr e

glicogênio muscular, apesar de diminuídas, não foram totalmente depletadas, o que indica que outro fator, e não a depleção das reservas anaeróbias limita a W' (BLACK et al., 2017). Desta forma, a W' parece representar a máxima tolerância ao exercício realizado na intensidade severa, possivelmente limitada pela fadiga periférica. Nesse sentido, tem sido reportado que a total utilização da W' está associada a valores críticos de metabólitos responsáveis pela fadiga periférica, como íons de hidrogênio (H^+), fosfato inorgânico (Pi), e adenosina difosfato (ADP) (VANHATALO et al., 2010; VANHATALO et al., 2016). Desta forma, é possível que a utilização da W' esteja relacionada com o grau de fadiga periférica durante o exercício.

A utilização da W' durante o exercício com carga constante tem sido extensamente pesquisada, porém, em tarefas com intensidade “livre”, onde é permitido a distribuição de PO, característica essa semelhante a uma condição de competição da grande maioria dos esportes, as informações ainda são escassas. Nesse tipo de exercício a potência é distribuída com intuito de obter o melhor desempenho e evitar a fadiga prematura (HETTINGA et al., 2006). Em um dos poucos estudos que analisaram essa distribuição, os atletas realizaram três provas de 4 km em dias diferentes, adotando estratégias diferentes nos 2 km iniciais (HETTINGA et al., 2006). Interessante observar que quando a PO foi alta (105% da potência média), os atletas tiveram que diminuir a intensidade na segunda metade para conseguir terminar os 4 km, e o oposto ocorreu quando a PO nos primeiros 2 km foi mais baixa (95% da potência média) (HETTINGA et al., 2006). Um outro interessante estudo comparou a W' obtida em quatro testes realizados acima da PC, porém, com diferentes estratégias de distribuição da PO (CHIDNOK, DIMENNA, et al., 2013). Nesse estudo os participantes realizaram em dias diferentes, um teste incremental até a exaustão, um teste máximo de três minutos, um teste contrarrelógio de 3 minutos, e um teste de carga constante. Foi observado que apesar das diferentes estratégias adotadas, a W' não foi significativamente diferente entre as condições (CHIDNOK, DIMENNA, et al., 2013). Esses dados sugerem que existe um complexo mecanismo de regulação do trabalho que pode ser realizado em exercício no domínio severo.

4.2 Determinação da PC e W'

Tradicionalmente, para determinar a PC e W' são utilizadas de 2 a 5 testes com cargas constantes estimadas com base no primeiro limiar ventilatório (LV_1) e VO_{2max}

obtidas em um teste incremental até a exaustão (VANHATALO et al., 2007; JONES et al., 2010; BERGSTROM et al., 2012). Geralmente são calculados os deltas 60, 70, 80% da diferença entre o LV_1 e VO_{2max} , e intensidades de 100 e 115% do VO_{2max} . É esperado que essas cargas levem a exaustão entre dois e 15 minutos (VANHATALO et al., 2008; ARCOVERDE et al., 2017; SILVEIRA et al., 2017).

A relação potência-tempo pode ser determinada por vários modelos matemáticos (PERONNET e THIBAUT, 1987; GAESSER e WILSON, 1988; BERGSTROM et al., 2014). Tipicamente são usados cinco modelos matemáticos para determinação da PC e W' utilizando testes de carga constante até a exaustão, sendo dois lineares, dois não lineares e um exponencial (Figura 2) (GAESSER et al., 1995).

- 1) *Dois parâmetros não-linear potência (PO) vs. tempo (t):* $t = W'/(PO - PC)$
- 2) *Três parâmetros não-linear potência (PO):* $t = (W'/(PO - PC)) - (W'/PO_{max} - PC)$
- 3) *Linear trabalho (W') vs. tempo (t):* $W = PC \cdot t + W'$
- 4) *Linear P vs. 1/tempo:* $PO = (1/t) \cdot W' + PC$
- 5) *Exponencial:* $PO = PC + (PO_{max} - PC) \times \exp(-t/\tau)$

onde P é a potência, t é o tempo e $-t/\tau$ é a constante de tempo.

Apesar dos modelos de regressões lineares, não lineares e exponencial se destinarem a determinação dos mesmos parâmetros, isso é PC e W' (com exceção do modelo exponencial que não estima W'), os resultados parecem diferir entre os modelos (GAESSER et al., 1995; BERGSTROM et al., 2014). O primeiro estudo a comparar os cinco modelos de regressões constatou que o modelo não linear de três parâmetros apresenta menores valores de PC e maiores valores de W' quando comparado aos modelos lineares (GAESSER et al., 1995). O modelo exponencial apresentou maior PC comparado aos outros modelos. Apesar de todos os modelos apresentarem um bom ajuste, a regressão linear $1/t$ apresentou menor R^2 comparado aos outros modelos (GAESSER et al., 1995). Outro aspecto importante é que os ajustes não lineares, em especial o de três parâmetros, apresentaram valores de PC mais próximo do LV_2 . Uma vez que o LV_2 também representa o máximo estável metabólico durante o exercício, pode-se especular que os métodos não lineares são mais assertivos na determinação da PC (GAESSER et al., 1995). Adicionalmente,

também foi observado em um estudo mais recente que a PC nos métodos não lineares foi ligeiramente inferior e a W' maior comparados aos dois métodos lineares, que por sua vez não apresentaram diferenças significativas entre si (BERGSTROM et al., 2014). Por sua vez, o modelo exponencial apresentou maior PC comparado aos modelos lineares e não lineares (BERGSTROM et al., 2014). Os autores sugerem que pelo fato da relação potência-tempo (ou trabalho-tempo) não ser linear, e sim hiperbólica, quando um ajuste linear é realizado pode ocorrer perda na qualidade do ajuste (GAESSER et al., 1995; BERGSTROM et al., 2014).

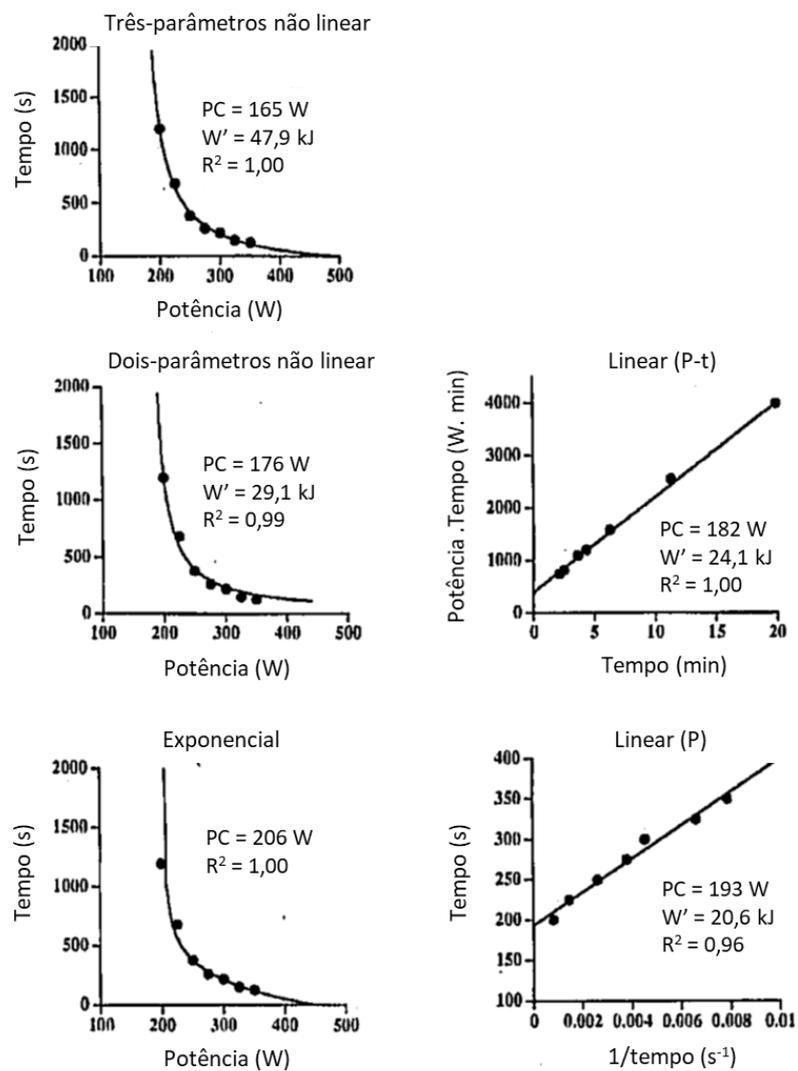


Figura 2 – Modelos matemáticos para determinação da PC e W' . Fonte: Adaptado de Gaesser et al. (1995).

No entanto, outros métodos foram desenvolvidos para calcular a PC e W' com base em apenas um único teste (VANHATALO et al., 2007; 2008; CONSTANTINI et

al., 2014), o que pode ter uma relevância prática importante. Um desses métodos, que vem mostrando resultados consistentes na determinação da PC e W' , consiste na realização do máximo de potência em um período de 3 minutos (VANHATALO et al., 2007; 2008; CHIDNOK, DIMENNA, et al., 2013). Nesse teste o avaliado é orientado a produzir o máximo de potência durante o teste, e a PC é considerada como sendo a PO média dos últimos 30 segundos do teste, enquanto a W' é assumida como todo o trabalho realizado acima dessa potência (VANHATALO et al., 2008). Em um dos estudos que compararam a eficácia do teste máximo de 3 minutos na determinação do PC e da W' foi observado que a PC pelo método tradicional foi de 287 ± 56 W contra 287 ± 55 W observado no teste de máximo de 3 minutos, enquanto que a W' foi de $15,0 \pm 4,7$ kJ contra $16,0 \pm 3,6$ kJ, respectivamente (VANHATALO et al., 2007). Esses resultados chamam a atenção para similaridade dos valores de PC e W' entre os dois métodos. Interessante observar também que o teste máximo de 3 minutos tem a mesma sensibilidade em identificar mudanças na PC após um período de treinamento (VANHATALO et al., 2008).

Por outro lado, um estudo recente observou que o teste máximo de 3 minutos pode superestimar a PC e W' em ciclistas de elite (BARTRAM et al., 2017). Outra questão a ser observada é que para realização do teste de 3 minutos é necessário a utilização de um ergômetro que ajuste a carga linearmente (fator linear = potência/cadência²) para manter a resistência do pedal em intensidades entre o LV_1 e o VO_{2max} , o que pode de alguma forma limitar a sua utilização prática (VANHATALO et al., 2007; 2008). Apesar dessa restrição, um estudo recente buscou validar um protocolo de teste máximo de 3 minutos para um ciclo-simulador (CLARK et al., 2016). Foi observado uma PC e W' de 215 ± 40 W e $11,2 \pm 4,0$ kJ, respectivamente, similar ao observado pelo método tradicional calculado pelas equações lineares $W-t$ (PC: 212 ± 36 W; W' : $12,1 \pm 6,5$ kJ), e $1/t$ (PC: 213 ± 36 W; W' : $11,7 \pm 6,3$ kJ) (CLARK et al., 2016). Infelizmente, esse estudo não informou a pressão do rolo do ciclo-simulador sobre o pneu da bicicleta, sendo essa informação importante por se tratar da resistência contra a qual o avaliado pedala.

4.3 Fadiga neuromuscular e sua relação com a W'

A fadiga muscular durante o exercício é caracterizada pela temporária redução na capacidade de um músculo ou grupo muscular em gerar força e potência (HUREAU

et al., 2016). Essa redução pode ter origem no sistema nervoso central, com a redução no recrutamento dos neurônios motores (fadiga central), ou no próprio mecanismo contrátil da fibra muscular (fadiga periférica) (HUREAU et al., 2016). Apesar dessa diferenciação, a fadiga decorrente do exercício físico deve ser vista como um fenômeno integrativo, uma vez que a integração entre fadiga central e periférica pode ocorrer em decorrência de fatores humorais e não humorais (TAYLOR et al., 2016). Por sua vez, os fatores não humorais podem ter como origem as informações eferentes advindas do próprio córtex motor para as áreas sensoriais do SNC ou das informações aferentes advinda das regiões periféricas (TAYLOR et al., 2016).

A teoria da fadiga central está diretamente relacionada com a queda na eficiência do envio de sinais elétricos aos músculos (MAGKOS e KAVOURAS, 2005). As causas dessa limitação no recrutamento motor ainda não são totalmente conhecidas, porém evidências sugerem que a limitação pode ser espinal (medula espinal) ou supra espinal (regiões do córtex associadas ao córtex motor) (MAGKOS e KAVOURAS, 2005). Em relação à fadiga central espinal, estudos têm observado que durante exercício submáximo de dorso flexão (MACEFIELD et al., 1991; WALTON et al., 2002) a excitabilidade da medula pode diminuir significativamente, além de aumentar significativamente o período de silêncio, ou seja, o tempo entre o estímulo e a chegada do sinal elétrico ao músculo (MACEFIELD et al., 1991). Os neurotransmissores como serotonina (5-HT), dopamina (DA) e noradrenalina (NA), que exercem papel importante nas sinapses entre os neurônios, sofrem mudanças induzidas pelo exercício e estão relacionadas com a fadiga central (MAGKOS e KAVOURAS, 2005). A mudança de concentração desses neurotransmissores, principalmente de 5-HT e DA, aumenta a letargia, sonolência e cansaço, reduzindo dessa forma a predisposição e tolerância ao exercício (NEWSHOLME e BLOMSTRAND, 2006). Além disso, as informações eferentes advindas do córtex motor para as áreas sensoriais do cérebro, conhecida como disparo corolário, pode ser um importante contribuinte para a fadiga central (HULLEMANN e METZ, 1982; BRICKLEY et al., 2002). O aumento desses sinais eferentes que chegam as regiões sensoriais do cérebro pode aumentar significativamente a percepção subjetiva de esforço (PSE), limitando a tolerância ao exercício (BELL et al., 2001).

Além disso, a ativação dos nervos aferentes III e IV durante a atividade física de alta intensidade também tem sido amplamente relacionada com a fadiga neuromuscular (AMANN et al., 2010; BLAIN et al., 2016). Os nervos mielinizados do

tipo III são mecanicamente sensíveis e respondem a contração e estiramento muscular (MENSE e STAHNKE, 1983; LIGHT et al., 2008). Já os nervos IV, não mielinizados, são sensíveis a mudança de metabólitos e a contração e estiramento muscular (KNIFFKI et al., 1978; LIGHT et al., 2008). Em atividades musculares de alta intensidade, a quebra da homeostase intramuscular promove grande ativação dos nervos III e IV, fazendo com que o SNC reduza o recrutamento neuromuscular (MENSE e STAHNKE, 1983; LIGHT et al., 2008). A importância dos nervos aferentes III e IV na regulação da fadiga neuromuscular vem sendo recentemente observada em uma série de estudos (AMANN et al., 2009; AMANN et al., 2010; BLAIN et al., 2016). Amann et al. (2010), por exemplo, observaram que o bloqueio farmacológico dos nervos III e IV via infusão de fentanil na região lombar resultou em menor frequência cardíaca, e ventilação durante exercício de alta intensidade. Em outro estudo do mesmo grupo, foi observado que o bloqueio dos nervos III e IV antes de uma prova de ciclismo contrarrelógio de 5 km permitiu que os participantes desenvolvessem uma PO significativamente maior na primeira metade da prova. Porém, devido ao alto acúmulo de metabólitos e consequente fadiga periférica, a produção de PO na segunda metade da prova foi diminuída para que os 5 km de ciclismo pudessem ser completados (AMANN et al., 2009). Esses resultados sugerem que a via aferente dos nervos III e IV, em resposta as alterações metabólicas relacionadas ao exercício, podem limitar o desempenho humano, a fim de prevenir uma fadiga periférica exacerbada (AMANN e DEMPSEY, 2008; AMANN et al., 2009; BLAIN et al., 2016). Além disso, em atividades na qual o participante fica livre para distribuir a potência durante uma prova, essa informação via nervos aferentes pode estar envolvidos no controle da intensidade durante o exercício (AMANN e DEMPSEY, 2008; AMANN et al., 2009).

No entanto, nenhuma dessas teorias parece explicar completamente a ocorrência da fadiga durante um exercício de alta intensidade. Nesse sentido, Hureau et al. (2016) buscaram estabelecer uma teoria mais global do processo de fadiga durante o exercício. Nessa teoria, os sinais aferentes das regiões periféricas, como os músculos esqueléticos em atividade, e os músculos respiratórios, conjuntamente com o disparo corolário, seriam integrados no SNC, atingindo um limite de tolerância sensorial (HUREAU et al., 2016). Alguns estudos que compararam a fadiga muscular ao final do exercício observaram que independente da origem do sinal sensorial (central ou periférica), a redução na intensidade de exercício ou a exaustão ocorrem

quando atingido um limite de tolerância sensorial (AMANN e DEMPSEY, 2008; AMANN et al., 2009; ROSSMAN et al., 2014; BLAIN et al., 2016). Rossman et al. (2014), por exemplo, observaram que em contrações dinâmicas realizadas com uma ou ambas as pernas a uma intensidade de 85% da força máxima, a fadiga periférica foi significativamente maior quando o exercício foi realizada com uma perna. O maior disparo corolário que possivelmente ocorreu quando o exercício foi realizado com ambas as pernas pode ter levado os indivíduos a atingirem o limite de tolerância sensorial mais rapidamente, reduzindo o grau de fadiga periférica (KUIPERS et al., 1985).

A instalação da fadiga central ou periférica é dependente da intensidade e da duração do exercício (THOMAS et al., 2015). Ao comparar a fadiga central e periférica após provas de ciclismo contrarrelógio de 4, 20 e 40 km, foi observado uma maior fadiga periférica na prova de 4 km, em comparação as outras duas (THOMAS et al., 2015). Já nas provas mais longa (20 e 40 km) a fadiga central foi significativamente mais acentuada quando comparada aos 4 km (THOMAS et al., 2015). A maior fadiga periférica na prova de 4 km possivelmente está relacionada à maior taxa de produção e acúmulo de metabólitos, comumente observadas em atividades acima da PC.

A principal característica fisiológica dos exercícios realizados acima da PC é a inexistência de um estado estável no VO_2 e concentração de metabólitos intramuscular (VANHATALO et al., 2016), e por essa razão os exercícios realizados nessa intensidade tendem a durar menos de 40 minutos (JONES et al., 2010; BURNLEY e JONES, 2016). Em exercícios realizados acima da PC o componente lento do VO_2 aumenta gradativamente até atingir o VO_{2max} , mesmo em intensidade de exercícios abaixo do VO_{2max} . Esse aumento no componente lento indica uma diminuição na eficiência das fibras musculares do tipo I, e o aumento progressivo das fibras do tipo II (WILKES et al., 1983). Por sua vez, a grande exigência das fibras do tipo II, e a conseqüente utilização da W' , estão associadas à diminuição acentuada de PCr, e pH, e aumento Pi, lactato e ADP, fatores esses associados a fadiga periférica (CHIDNOK, FULFORD, et al., 2013; VANHATALO et al., 2016; BLACK et al., 2017). Nesse sentido, estudos recentes encontraram uma estabilidade no pH, lactato, PCr e K^+ na intensidade abaixo da PC, enquanto que nas intensidades supra PC o pH e PCr caíram, e as concentrações de K^+ aumentaram progressivamente até a exaustão (VANHATALO et al., 2016). Em outro estudo, foi observado que ao realizarem três diferentes intensidades de exercício em cicloergômetro para membros inferiores,

realizados acima da PC até a exaustão, os participantes terminaram com os mesmos níveis de distúrbios metabólicos intramusculares (queda de ATP, PCr e pH), e sanguíneos (aumento de K^+ e lactato) (BLACK et al., 2017) e valores consistentes de fadiga periférica quando a tarefa é realizada até a exaustão (CHIDNOK, FULFORD, et al., 2013; VANHATALO et al., 2016). Esses estudos sugerem que a tolerância ao exercício realizado acima da PC é limitada pelo atingimento de valores críticos de metabólitos acumulados no músculo.

As causas da fadiga periférica são diversas e complexas, e ainda não totalmente conhecidas. Porém um dos principais fatores que podem reduzir a capacidade de contração muscular, limitando a quantidade de trabalho acima da PC é o acúmulo de íons H^+ no meio intracelular (KENT-BRAUN, 1999; HOLLIDGE-HORVAT et al., 2000). A alta taxa de glicólise em exercício nessa intensidade leva a um aumento da concentração de íons H^+ na célula (excedendo 300 a 400 mmol/L), reduzindo o pH do meio intramuscular de 7,0 (estado de repouso) para até 6,4 durante atividades intensas (HERMANSEN & OSNES, 1972), o que ocasionaria a diminuição acentuada da atividade das enzimas envolvidas no processo contrátil da musculatura esquelética e na produção de ATP (LINNAMO et al., 2000). Essa queda no pH intramuscular interfere em diversos mecanismos intramusculares, como por exemplo a diminuição do retorno do cálcio (Ca^{2+}) para dentro do retículo sarcoplasmático, e consequentemente a velocidade do ciclo contração-relaxamento da fibra muscular (MARTIN et al., 2008).

A relação entre a W' e a fadiga periférica tem sido investigada principalmente em protocolo de exercício com carga constante. Broxterman et al. (2015), por exemplo, observaram que uma maior concentração de metabólitos ocasionado por oclusão do fluxo sanguíneo durante o exercício de preensão manual realizado até a exaustão, reduziu a reconstituição da W' e da fadiga periférica. Esses resultados sugerem que a W' pode ser limitada pela magnitude da fadiga periférica desenvolvida durante o exercício. No entanto, os exercícios de carga constante, como o realizado no estudo acima, se diferenciam da grande maioria das atividades esportivas, onde atleta fica livre para variar a produção de potência durante a prova. Essa distribuição visa obter o melhor desempenho e evitar a fadiga prematura (HETTINGA et al., 2006). Sendo assim, a utilização da W' em exercício de alta intensidade se torna mais complexa do que em exercício de carga constante.

4.5 Cafeína e desempenho

A cafeína (1,3,7-trimetilxantina) é uma das substâncias psicoativas mais consumidas no mundo, e está presente em vários alimentos e bebidas, como chás, café, chocolate e várias bebidas energéticas (GRAHAM, 1978; FREDHOLM et al., 1999). Pertencente à classe das xantinas, ela é composta pela teofilina (1, 3-dimetilxantina), teobromina (3, 7-dimetilxantina) e a paraxantina (1, 7-dimetilxantina) (Figure 3). A magnitude do efeito da cafeína está relacionada ao seu nível plasmático após o consumo, que são determinados pela sua absorção, metabolismo e excreção (SINCLAIR e GEIGER, 2000). Quase 100% da cafeína consumida pela via oral é absorvida rapidamente, e em aproximadamente 5 minutos começa a aparecer no sangue (GEORGE, 2000). A dose de cafeína tipicamente consumida antes do exercício varia entre 4-6 mg·kg⁻¹ de peso corporal, que resulta em picos plasmático ~40 µg·mL⁻¹ de cafeína, em um período de 40-60 minutos após o consumo, com um período de meia vida de 3-10 horas após o consumo (TARNOPOLSKY, 1994). Apesar de doses menores também ter se mostrado eficiente em alguns estudos (WILES et al., 1992; KOVACS et al., 1998; SPRIET, 2014), a magnitude do efeito parece ser menor do que em doses de 4-6 mg·kg⁻¹ de peso corporal (GRAHAM e SPRIET, 1995). Além disso, doses acima dessas parece não oferecer nenhum efeito ergogênico adicional, podendo, em alguns casos, resultar em efeitos adversos, como tremores, nervosismos e enxaqueca (GRAHAM e SPRIET, 1995).

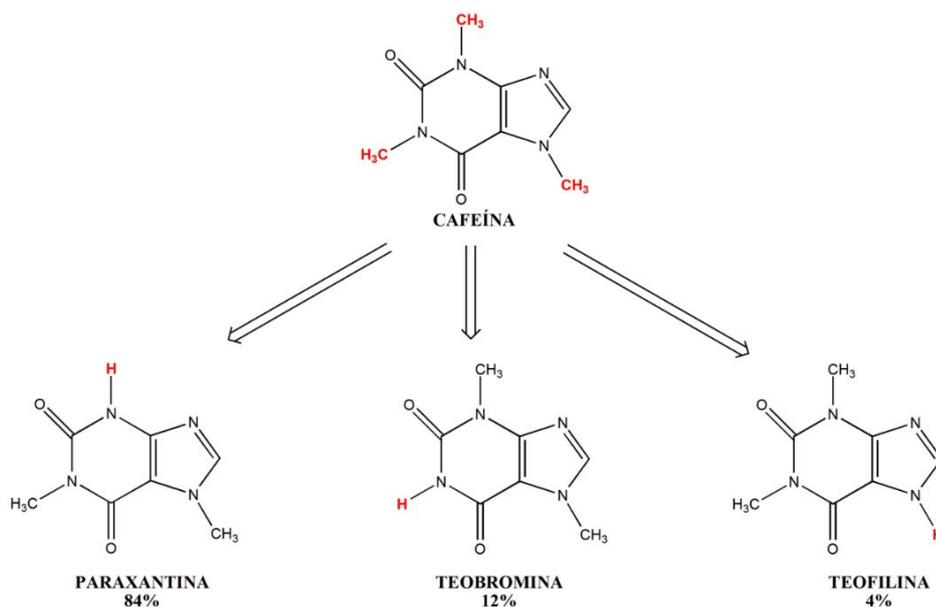


Figura 3 – Estrutura química da cafeína. Fonte: Sinclair e Geiger (2000)

O primeiro registro da utilização da cafeína como recurso ergogênico foi na primeira metade do século XX, mais especificamente na corrida de seis dias, em 1879, mesmo sem ter ainda evidências científicas da sua efetividade (HULLEMANN e METZ, 1982). No entanto, foi após a sua retirada no ano de 2004 da lista de substâncias proibidas da World Anti-Doping Agency (WADA) que o consumo da cafeína por atletas aumentou consideravelmente (DESBROW e LEVERITT, 2006). Aproximadamente 90% dos atletas britânicos do *ironman* admitiram consumir cafeína antes e durante a competição (DESBROW e LEVERITT, 2006).

O efeito ergogênico da cafeína tem sido atribuído a inúmeros mecanismos centrais e periféricos (FREDHOLM et al., 1999; SIMMONDS et al., 2010). A diminuição da PSE para a mesma carga absoluta de exercício é provavelmente o principal efeito central da cafeína (DOHERTY et al., 2004; LOPES-SILVA et al., 2014). Doherty et al. (2004), observaram que após o consumo de cafeína os participantes relataram uma menor PSE em comparação com o placebo, em exercício em cicloergômetro para membros inferiores realizado na intensidade do VO_{2max} . Similarmente, foi observado que judocas suplementados com cafeína apresentaram menores valores de PSE para a mesma quantidade esforço realizado (LOPES-SILVA et al., 2014). Em concordância com esses resultados, em um estudo de meta-análise realizado por Doherty e Smith (2005), foi constatado, após a análise de 21 estudos, que a cafeína diminuiu em aproximadamente 5,6% a PSE durante o exercício. Esse efeito sobre a PSE parece ocorrer devido ao antagonismo a adenosina exercida pela cafeína, diminuindo a captação desse neurotransmissor responsável pela sonolência, cansaço e dor, aumentando dessa forma a predisposição ao exercício e diminuindo a PSE para a mesma carga de trabalho absoluta (FREDHOLM et al., 1999).

Além disso, a cafeína pode facilitar o envio dos sinais neurais para os músculos e atenuar os sinais sensoriais que levam as informações sensoriais do músculo ao SNC (KALMAR e CAFARELLI, 2004). Utilizando o método de estimulação magnética transcraniana, Kalmar e Cafarelli (2004) observaram que a suplementação com cafeína resultou em maior facilitação neuromuscular pré exercício em exercício de flexão dos dedos da mão, o que indica uma maior capacidade de contração muscular. Além disso, pós exercício, a facilitação neuromuscular com o consumo da cafeína foi 15% maior do que na condição placebo (KALMAR e CAFARELLI, 2004).

Embora esse estudo tenha realizado um protocolo envolvendo um grupo muscular pequeno, ele fornece um importante indicativo de um efeito central da cafeína, além da diminuição da PSE.

Outro aspecto central importante observado em um estudo recente, é que a ingestão de cafeína aumentou velocidade de reação no segundo bloco de um teste desenvolvido especificamente para atletas de taekwondo (SANTOS et al., 2014). Isso ocorre porque a ação da cafeína sobre os receptores de adenosina tem um importante efeito excitatório no SNC, aumento o estado vigiância e atenção (FREDHOLM et al., 1999), além de facilitar o envio de sinais neurais citados acima. O aumento na liberação de adrenalina pela glândula adrenal com o consumo de cafeína tem um papel muito importante no estado de prontidão e atenção pré ou mesmo durante o exercício (ASTORINO et al., 2012; TEMESI et al., 2017).

Além dos efeitos centrais da cafeína, alguns estudos têm encontrado importantes efeitos periféricos que podem facilitar o mecanismo contrátil da fibra muscular (TARNOPOLSKY e CUPIDO, 2000; SIMMONDS et al., 2010; TALLIS et al., 2013). Em um desses foi observado um aumento da permeabilidade do retículo plasmático ao cálcio, aumentando a disponibilidade do cálcio livre para a contração muscular (FRYER e NEERING, 1989). O acúmulo do cálcio no sarcoplasma causado por contrações repetidas, e agravado em contrações de alta intensidade, diminui a quantidade da sua forma livre, já que o cálcio tem uma alta capacidade de ligar-se ao Pi, formando fosfato de cálcio (CaHPO_4) (FULCERI et al., 1993; DUTKA et al., 2005). Nesse sentido, foi observada que após protocolos de contrações isométricas máximas do quadríceps (TARNOPOLSKY e CUPIDO, 2000) e do sóleo (TALLIS et al., 2013), realizadas até a exaustão, a fadiga de baixa frequência explorada pela estimulação elétrica do nervo femoral foi menor com o consumo de cafeína quando comparada a condição placebo. Esses resultados indicam uma melhor mobilização do cálcio com o consumo da cafeína, inclusive após a exaustão. Além disso, foi observado que após um exercício em cicloergômetro a 125% do $\text{VO}_{2\text{pico}}$ realizado até a exaustão, a concentração de K^+ plasmático foi significativamente menor com o consumo da cafeína (SIMMONDS et al., 2010). Ou seja, a cafeína pode aumentar a excitabilidade da membrana da fibra muscular, devido ao maior retorno do K^+ para o interior da célula (SIMMONDS et al., 2010).

O aumento da utilização do glicogênio muscular durante a realização de exercício de alta intensidade pode ser outro importante efeito da cafeína (ANSELME

et al., 1992; BELL et al., 2001; SIMMONDS et al., 2010). Esse efeito também é mediado pelo antagonismo dos receptores de adenosina, aumentando a quantidade de AMP cíclico dentro da célula, que por sua vez ira estimular a enzima glicogênio fosforilase (BUTCHER e SUTHERLAND, 1962; MAGKOS e KAVOURAS, 2005). Um aumento de 5-20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ de cafeína no sangue já parece suficiente para causar um significativo antagonismo dos receptores de adenosina (FREDHOLM et al., 1999) e a diminuição na atividade da fosfodiesterase em ratos, aumentando a oferta de ATP (MANSOUR, 1972). Da mesma forma, Bridge et al. (2006) observaram que o aumento da liberação de cálcio com o consumo da cafeína, pode converter a enzima fosforilase *b*, na sua forma mais ativa *a*, facilitando a fosforilação da glicogênio fosforilase, e consequentemente a utilização do glicogênio muscular durante o exercício. No entanto, até o presente momento, esse mecanismo só foi observado *in vitro*, com dosagem de cafeína que poderia ser tóxica para seres humanos (ROSSER et al., 2009). O aumento na atividade da fosfofrutoquinase é outro importante aspecto que pode explicar a maior atividade glicólítica nos estudos supracitados (SIMMONDS et al., 2010). O aumento na atividade da fosfofrutoquinase facilitaria a velocidade de catalização da via de degradação da glicose, o que implicaria no aumento da produção de ATP pela via glicólítica (SIMMONDS et al., 2010).

O efeito ergogênico da suplementação de cafeína em exercícios de alta intensidade vem sendo observado em vários estudos (GLAISTER et al., 2008; SIMMONDS et al., 2010; SANTOS et al., 2013; SILVA-CAVALCANTE et al., 2013). Glaister et al. (2012) por exemplo, observaram que a suplementação com 5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cafeína consumida uma hora antes da realização de 12 sprints de 30 metros de corrida, com 35 segundos de intervalo, resultou em aumento de 1,4% no desempenho. Similarmente, o consumo da cafeína (5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) diminuiu em ~2% o tempo para completar uma prova de ciclismo contrarrelógio de 4 km (SANTOS et al., 2013). É importante observar que nesse estudo a diferença na produção de potência entre as condições cafeína e placebo ocorreram no meio do exercício (1200 a 2600 metros), comportamento que foi semelhante ao do aumento da contribuição anaeróbia (SANTOS et al., 2013). Esses resultados indicam que a cafeína pode aumentar o desempenho nesse tipo de exercício, aumentando a contribuição anaeróbia no meio do teste (SANTOS et al., 2013). Similarmente, em outro estudo realizado pelo mesmo grupo, foi constatado que mesmo com as reversas de glicogênio depletadas, o consumo da cafeína aumentou o desempenho no teste de ciclismo contrarrelógio de

4 km, seguido do aumento da contribuição anaeróbia (SILVA-CAVALCANTE et al., 2013).

Buscando investigar esse possível efeito do consumo da cafeína sobre o desempenho em exercícios com predominância anaeróbia, Cheng et al. (2016) realizaram um teste máximo de 3 min all-out para avaliar a PC e a W' após a suplementação de cafeína. Os autores observaram que o consumo da cafeína não alterou a PC, mas a W' foi significativamente aumentada (CHENG et al., 2016). Esses dados indicam que em condições placebo ou não suplementados, a utilização da W' talvez não atinja o seu máximo.

3. PERGUNTA CONDUTORA

A cafeína aumenta a quantidade de trabalho acima da PC durante um teste de ciclismo contrarrelógio de 4-km? Qual o efeito de um possível aumento no trabalho realizado acima da PC com cafeína sobre a fadiga central e periférica?

4. OBJETIVOS

4.1 Geral

Verificar o efeito da ingestão de cafeína sobre o trabalho acima da PC em teste de ciclismo contrarrelógio de 4 km, e as possíveis consequências sobre os parâmetros de fadiga central e periférica.

4.2 Específicos

- Analisar o efeito da suplementação de cafeína sobre o trabalho total realizado acima da PC em teste de ciclismo contrarrelógio de 4 km;
- Verificar se o uso da cafeína e o possível aumento no trabalho realizado acima da PC gera consequências sobre o desenvolvimento de fadiga central e periférica, bem como, de marcadores sanguíneos de fadiga e metabolismo anaeróbio, como pH, lactato e amônia.

5. HIPÓTESES

- A ingestão da cafeína permitirá um maior trabalho realizado acima da PC em um teste de ciclismo contrarrelógio de 4 km;
- Ao final do ciclismo contrarrelógio, a fadiga central e/ou periférica será maior com o consumo da cafeína, devido ao maior esforço realizado durante o teste.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Participantes

O tamanho amostral foi determinado segundo o cálculo proposto por Hopkins (HOPKINS, 2000). O coeficiente de variação assumido para o teste contrarrelógio de 4 km é de 0,9% segundo o estudo de Stone et al. (STONE et al., 2011). Levando em consideração uma diferença muito conservadora de 1% como estatisticamente significativa, a amostra mínima requerida foi de sete participantes. Contando com provável perda amostral, foram recrutados onze ciclistas recreacionais do sexo masculino para participarem do estudo (idade: 34 ± 4 anos; estatura: 176 ± 5 cm; massa corporal: 73 ± 12 kg; percentual de gordura corporal: $11 \pm 8\%$; PO máxima no teste incremental: 292 ± 28 W; PO referente ao LV₁: 160 ± 10 W; PO referente ao LV₂: 230 ± 11 ; VO_{2máx}: 54 ± 4 mL·kg·min⁻¹), com volume de treino semanal de 267 ± 78 km. Os atletas foram informados sobre os riscos e benefícios do estudo, e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Pernambuco, sob o número de protocolo 042708/2015.

6.2 Desenho experimental

Os participantes compareceram ao laboratório em seis ocasiões. Na primeira visita foram coletados os dados antropométricos e realizado um teste incremental até a exaustão em um ciclossimulador (RacerMate, Computrainer™, Seattle, EUA), para determinação do consumo máximo de oxigênio (VO_{2máx}), potência máxima (PO_{máx}) e o primeiro e segundo limiares ventilatórios (LV₁ e LV₂). Nas três visitas seguintes foram

realizados os testes para identificar a PC e W' , avaliação e ajuste da intensidade máxima da estimulação elétrica para posterior medida da fadiga central e periférica, os testes de familiarização com contrações voluntárias máximas (CVMs) e estimulação elétrica (EE) e com a prova de 4 km. O ciclossimulador foi previamente aquecido e calibrado conforme as recomendações do fabricante.

Os testes experimentais foram realizados na quinta e sexta visita, sendo um após o consumo de 5 mg.kg^{-1} de cafeína (CAF) e outro após o consumo de celulose (PLA). As substâncias foram armazenadas em cápsulas gelatinosa de mesma cor e formato, impossibilitando a identificação por parte do pesquisador e avaliado (duplo-cego). Os testes das visitas 5 e 6 foram realizados de maneira duplo-cego, randomizado, contrabalançado, conduzidos com sete dias de intervalo entre eles e realizados no mesmo horário do dia para evitar influência do ciclo circadiano (FERNANDES et al., 2014). Antes do primeiro teste experimental cada participante recebeu um registro alimentar, onde eles anotaram os alimentos consumidos nas 24 horas antecedentes ao teste, para depois replicá-lo no próximo teste experimental. Os participantes foram orientados a não consumirem alimentos e bebidas que contivessem cafeína 24 horas antes dos testes. Para orienta-los, uma lista de alimentos e bebidas que continha cafeína foi entregue (APÊNDICE D). Eles também foram orientados a não consumirem bebidas alcoólicas, e a não realizarem exercícios vigorosos 24 horas antes dos testes experimentais.

6.3 Composição corporal e teste incremental

Para a avaliação da composição corporal foram coletadas a espessura de dobras cutâneas do peitoral, abdômen e coxa (JACKSON e POLLOCK, 1978), que posteriormente foi convertida em percentual de gordura utilizando a equação proposta por Siri (1961). Logo após foi realizado o teste incremental no ciclossimulador, onde os atletas inicialmente realizaram um aquecimento de cinco minutos com carga de 100 watts, seguido por um aumento de 30 watts a cada três minutos. O teste foi interrompido quando o participante atingiu a exaustão. Durante o teste os participantes mantiveram a rotação do pedal entre 80 e 90 rpm e a exaustão foi identificada quando houvesse uma queda para baixo de 80 rpm por mais de 5 segundos. Para estimular o máximo desempenho, encorajamento verbal foi realizado durante o teste. Durante todo o teste, o consumo de oxigênio (VO_2), volume de dióxido de carbono (VCO_2) e a

razão de trocas respiratórias (RER) foram obtidos a cada respiração por um analisador de trocas gasosas (Cortex, Metalyzer 3B, Germany) e posteriormente convertido em média a cada 30 segundos. O VO_{2max} foi assumido quando pelo menos dois dos seguintes critérios fossem atingidos: frequência cardíaca (FC) superior a 90% do previsto para idade; RER maior que 1,15; taxa de aumento no VO_2 menor que $150 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ no último estágio (HOWLEY et al., 1995).

O primeiro limiar ventilatório (LV_1) foi identificado na intensidade onde o VE/VO_2 apresentou seu menor ponto antes de um aumento abrupto. O segundo limiar ventilatório (LV_2) foi identificado na intensidade em que o VE/VCO_2 apresentou seu menor ponto antes do aumento abrupto (HOWLEY et al., 1995). A identificação foi feita de forma visual, e analisada por dois avaliadores experientes. Quando houve discordância entre os dois avaliadores, foi requisitada a análise de um terceiro avaliador. A $PO_{máx}$ foi considerada como a carga (W) sustentada no último estágio (3 minutos). Quando a carga não pode ser sustentada durante todo o estágio, a $PO_{máx}$ foi calculada segundo a equação de Kuipers et al. (1985) (equação 1).

$$W_{máx} = W_{com} + \frac{t}{180} \times \Delta W \quad (\text{equação 1})$$

onde W_{com} é a última carga completada, t é o tempo em segundos na carga incompleta e ΔW é o incremento de carga em cada estágio.

6.4 Familiarização e determinação da PC

Foram realizadas três sessões antes de partir para os testes experimentais com o objetivo de determinar a PC e W' , e familiarizar os participantes com os procedimentos dos testes. Foi dado 72 horas de intervalo entre as sessões. Nessas sessões, primeiramente foram realizadas as estimulações elétricas (EE) com o indivíduo em repouso, para a determinação da intensidade ótima da estimulação. A estimulação (frequência de 1 Hz e duração de 80 ms) foi iniciada com intensidade de 100 volts, sendo aumentado 30 volts a cada 30 segundos, até a ocorrência do platô na excitabilidade da membrana muscular (onda M) e no potencial de contração do quadríceps (Q_{tw}) (Figura 4). Logo na sequência, essa intensidade foi refinada com aumentos de 10 volts abaixo e acima do platô atingindo. Esse procedimento teve

duração aproximada de 20 minutos. Após 10 minutos de repouso, os indivíduos realizaram a familiarização com o protocolo de contração voluntária máxima e estimulação elétrica (CVM + EE). Seis tentativas foram realizadas para familiarização, com intervalo de 1 minuto entre elas.

Vinte minutos após o fim desse procedimento, os participantes realizaram um teste de carga constante até a exaustão para determinação da PC e W' . Para isso, eles realizaram testes até a exaustão em intensidades correspondentes a 70% e 80% do delta da diferença entre o LV_1 e o $VO_{2máx}$, e a 100% do VO_{2max} , cargas essas que deveriam levar o indivíduo a exaustão entre 3 a 15 minutos (VANHATALO et al., 2008). Cada intensidade foi realizada em dia diferente, com no mínimo 72 h de intervalo. A altura do banco da bicicleta foi ajustada para cada participante e anotada para ser repetido nos testes seguintes. Cada teste foi precedido por um aquecimento de 5 minutos na intensidade de 100 watts, seguidos por 5 minutos de repouso (VANHATALO et al., 2008). Os participantes foram instruídos a manterem a rotação entre 80 e 90 rpm durante todos o teste (VANHATALO et al., 2008), os quais foram encerrados quando a rotação caísse para abaixo de 80 rpm por mais do que 5 segundos. Os participantes foram estimulados verbalmente durante todos os testes.

Após 20 minutos para recuperação, os participantes realizaram a familiarização com o teste contrarrelógio de 4 km. O teste foi precedido por um aquecimento com carga de 100 watts por 5 minutos a 80-90 rpm; após 5 minutos de repouso foi dado início ao teste contrarrelógio de 4 km. Os participantes foram instruídos a completarem os 4 km do teste em menor tempo possível e foram informados continuamente da distância percorrida pelo monitor conectado ao ciclossimulador. Durante o ciclismo contrarrelógio, os participantes também foram familiarizados com escala de PSE. O teste foi iniciado com a relação de transmissão da marcha da bicicleta fixa (53 x 16), mas os participantes foram autorizados a trocarem a transmissão conforme o desejado logo após o primeiro segundo de teste. Ao final, mais seis CVMs + ES foram realizadas para completar a familiarização.

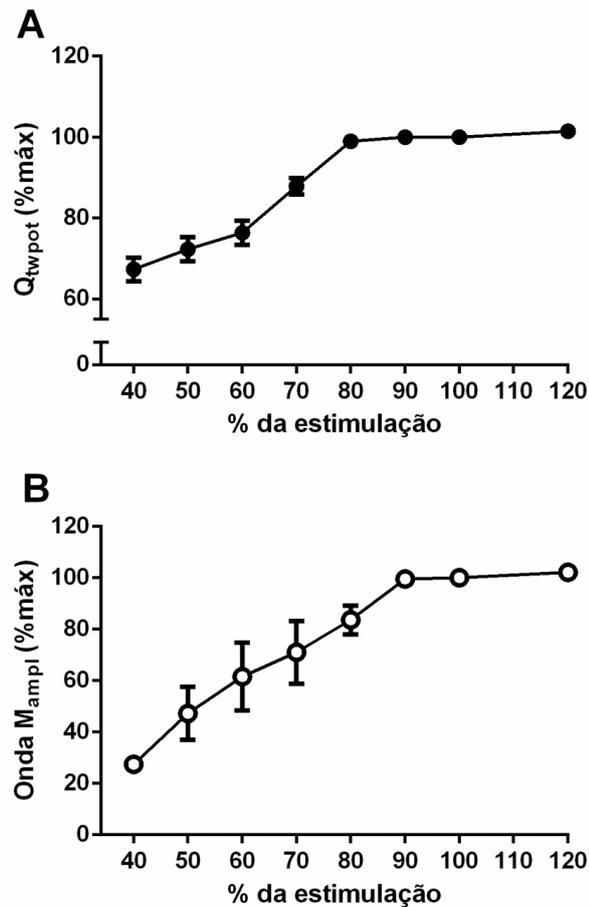


Figura 4 – Protocolo de identificação do platô na Q_{twpot} (círculo fechado) e Onda- M_{ampI} (círculo aberto) realizada na sessão de familiarização.

6.5 Protocolo experimental

Os procedimentos do teste experimental estão resumidos na Figura 5. Os participantes compareceram ao laboratório três horas após a última refeição. Antes da primeira sessão experimental os participantes entregaram um registro alimentar de 24 horas, que eles foram instruídos a repetir na próxima sessão experimental. Ao chegar eles permaneceram sentados confortavelmente por 15 minutos e, em seguida, foi feita a primeira coleta de sangue venoso (10 mL). Logo após foi dado início ao aquecimento de contrações isométricas do quadríceps da coxa direita, sustentadas por 5 segundos, com intensidade de 50%, 60%, 70%, 80% do máximo registrado nos protocolos de familiarização, com 30 segundos de intervalo entre as contrações (SILVA-CAVALCANTE et al., 2013). Após 5 minutos de repouso, foi iniciado o protocolo de CVM + EE para mensurar fadiga central e periférica (~15 minutos de

duração). Ao final, os participantes consumiram uma cápsula contendo 5 mg·kg⁻¹ de peso corporal de cafeína (CAF) ou celulose (placebo, PLA) com 150 mL de água.

Quarenta e cinco minutos após a suplementação, uma nova amostra de sangue foi coletada e os participantes realizaram mais um aquecimento de contração isométrica do quadríceps, seguido por um repouso de 5 minutos e novamente o protocolo de CVM + EE foi realizado. Após um repouso de 5 minutos, foi realizado um aquecimento de 5 minutos no ciclossimulador, com intensidade de 100 watts a 80-90 rpm, seguido por mais um intervalo de 5 minutos e imediatamente foi dado início ao teste de ciclismo contrarrelógio de 4 km. As mesmas instruções dadas nas sessões de familiarização foram repetidas nos testes experimentais. Imediatamente após o teste contrarrelógio, uma nova amostra de sangue foi coletada (10 mL), e 1 minuto após foi realizado novamente protocolo de CVM + EE. O VO₂ e o VCO₂ foram captados respiração a respiração e a produção de potência foi mensurada a cada segundo durante todo o teste de 4 km. A FC foi mensurada com um cardiofrequencímetro acoplado no próprio analisador de gases. O sinal de EMG do vasto lateral foi coletado durante todo teste contrarrelógio. A escala de 15 pontos (6-20) de Borg (1982) foi utilizada para análise da PSE a cada 1 km do teste contrarrelógio.

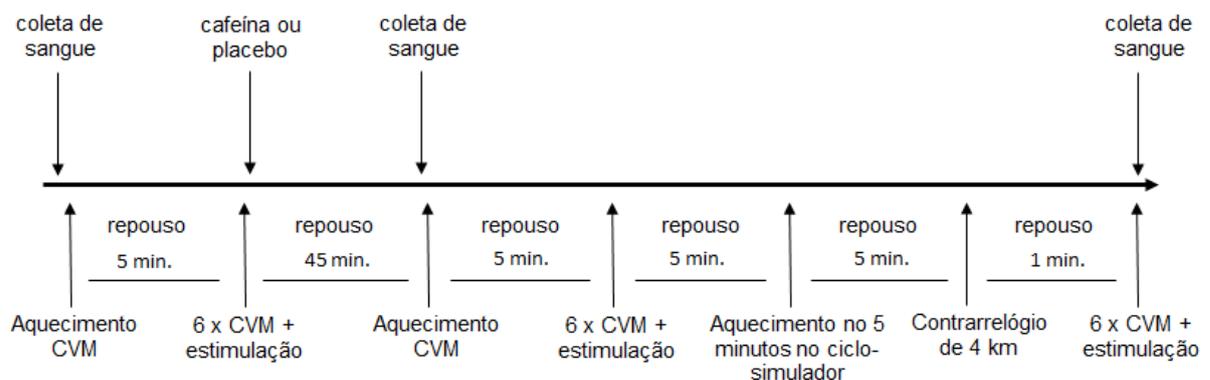


Figura 5 - Protocolo experimental

6.6 Avaliação dos parâmetros neuromusculares

As CVMs + EEs foram realizadas com os indivíduos confortavelmente sentados (ângulo do tronco de 130 graus) em uma cadeira extensora e com o joelho direito formando uma angulação fixa de 90° de flexão. Durante e após as CVMs foram realizadas as EE (Neuro-TES, Neurosoft, Ivanovo, Rússia) através de estímulos

percutâneo do nervo femoral, por um eletrodo cátodo posicionado no triângulo femoral. O eletrodo ânodo foi posicionado na prega glútea. O estímulo elétrico (1 Hz) foi aplicado a uma intensidade de 120% do platô da onda *M* e da Q_{tw} observadas nas sessões de familiarização. Antes de cada sessão experimental foi conferido o platô na onda *M* e na Q_{tw} . O primeiro estímulo foi aplicado após o pico de força ser atingido em cada CVM (contração sobreposta), e foi utilizado para calcular o percentual de ativação voluntária (AV, equação 2) (MERTON, 1954).

$$1 - (\text{contração sobreposta} / Q_{tw\text{pot}}) \times 100 \quad (\text{equação 2})$$

Dois segundos após cada CVM, com os participantes em repouso, mais três estímulos foram aplicados, sendo um simples com frequência de 1 Hz ($Q_{tw\text{pot}}$), e dois duplos de 10 Hz (Q_{tw10}) e 100 Hz (Q_{tw100}), com intervalo de 2 segundos entre cada estímulo. A MVC representa a fadiga global, a AV indicativo de fadiga central, a $Q_{tw\text{pot}}$ é a fadiga periférica global, e a Q_{tw10} e Q_{tw100} representam a fadiga periférica de baixa e alta frequência, respectivamente. A força do quadríceps foi mensurada por uma célula de carga acoplada a cadeira extensora (EMGSystem do Brasil, Brasil).

Para os dados de pico de força das CVMs e parâmetros de fadiga (AV, $Q_{tw\text{pot}}$, Q_{tw10} e Q_{tw100}) foram calculadas as médias das quatro últimas contrações. Após isso, esses dados foram normalizados pelo primeiro bloco de contração (repouso).

6.7 Captação da atividade eletromiográfica

Durante as CVMs e o ciclismo contrarrelógio de 4-km a atividade eletromiográfica (EMG) do músculo vasto lateral (VL) da coxa direita, foi captada com frequência de 20 kHz (Neuro-MEP-Micro, Neurosoft, Ivanovo, Rússia). Para a captação, dois eletrodos adesivos foram colocados sobre a pele, com distância de 2 cm entre eles. O eletrodo de referência foi colocado dois centímetros acima da borda superior da patela. A limpeza do local e colocação dos eletrodos foram realizados de acordo com as recomendações do SENIAM (surface EMG for a non-invasive assessment of muscles) (HERMENS et al., 2000).

Os sinais brutos captados pela EMG foram amplificados e retificados por um filtro de segunda ordem Butterworth, com frequências de corte fixadas em 10 e 500 Hz para remover ruídos de interferência, e de movimento externos. Para estimar o

recrutamento neuromuscular durante o 4 km TT foi calculada o *root mean square* (RMS_{TT}) do sinal de EMG de cada 400 metros.

6.8 Análises

6.8.1 Cálculo da PC e W'

Os resultados obtidos nos três testes com cargas constantes foram utilizados para determinar a PC e W' , utilizando-se três modelos de regressões:

- 1) *Não-linear potência (P) vs. tempo (t): $t = W'/(P - PC)$*
- 2) *Linear trabalho (W) vs. tempo (t): $W = PC \cdot t + W'$*
- 3) *Linear P vs. 1/tempo: $P = (1/t) \cdot W' + PC$*

onde t é o tempo até a exaustão, W é o total de trabalho realizado durante o teste, W' é a curvatura constante da hipérbole potência-tempo, P é a potência, e PC a potência crítica. A PC e W' foram calculadas utilizando planilha de trabalho do programa Excel (Microsoft, USA). Os resultados das equações 1, 2 e 3 foram comparados para assegurar a qualidade do ajuste, e o modelo com o menor erro de estimativa foi adotado para a análise.

No teste contrarrelógio de 4 km, todo o trabalho realizado acima da PC foi considerado como sendo a W' . Nos instantes da prova em que a PO ficava abaixo da PC, foi utilizado os cálculos propostos por Skiba et al. (1971) para calcular a reconstituição da W' . Na primeira equação é calculada a constante de tempo de reconstituição da W' ($\tau_{W'}$) (equação 4). A $\tau_{W'}$ foi utilizada para calcular a recuperação da W' no teste contrarrelógio (equação 5).

$$\tau_{W'} = 546e^{(-0,01D_{pc})} + 316 \quad (\text{equação 4})$$

onde D_{pc} é a diferença entre a PC e a PO abaixo da PC durante o teste contrarrelógio de 4-km.

$$W'_{bal} = W' - \int_0^t (W'_{exp}) (e^{-(t-u)/\tau_{W'}}) \quad (\text{equação 5})$$

onde o W'_{exp} é a W' integral de todo o teste contrarrelógio, e $\tau-u$ é tempo em segundos em que a potência esteve abaixo da PC.

6.8.2 Análise sanguínea

O sangue coletado foi imediatamente transferido para tubos falcon para a análise de pH (Hanna, HI 8424, USA). Quatro mL de sangue foi armazenado em um tubo com EDTA e imediatamente centrifugadas a 3000 rpm por 10 minutos, a uma temperatura de 4° C, para separação do plasma. Imediatamente após, foram analisados amônia e lactato pelo método colorimétrico com a utilização kits comerciais (Biospectro, SP-22, Curitiba, Brasil).

6.9 Análise estatística

Inicialmente foi verificada a distribuição dos dados utilizando o teste de Shapiro-Wilk. Uma vez que a normalidade da distribuição foi confirmada, uma Anova de dois caminhos para medidas repetidas foi utilizada para verificar o efeito principal do suplemento (CAF e PLA), distância (400 a 4000 metros) e a interação para PO, RMS_{TT} e trabalho total realizado acima da PC durante o ciclismo contrarrelógio de 4 km. A Anova de dois caminhos para medidas repetidas também foi utilizada para verificar o efeito principal do suplemento e momento (repouso, PRÉ 4 km e PÓS 4 km) para os parâmetros neuromusculares e sanguíneos. A Anova de um caminho para medidas repetidas foi utilizada para comparar o VO_{2pico} obtido nos testes contrarrelógio, com o VO_{2pico} do teste incremental. O pós teste de comparações múltiplas de Duncan foi utilizado para localizar as diferenças. A análise de correlação de Pearson foi utilizada para verificar a relação entre o trabalho total realizado acima da PC e as mudança na Q_{twpot} , Q_{tw10} , Q_{tw100} (Δ entre CAF e PLA). O nível de significância estatística adotado foi de $p < 0,05$. Para as análises foi utilizado o software Statistica para Windows (StataSoft Inc[®], versão 10, Tulsa, OK, EUA). Os dados são apresentados em média \pm erro padrão.

7. RESULTADOS

7.1 Estimativas de PC e W'

A potência correspondente aos deltas 70% e 80, e ao 100% do VO_{2max} foram 250 ± 8 , 265 ± 8 e 287 ± 9 watts, respectivamente. O tempo de exaustão correspondente a essas cargas foram 854 ± 116 , 540 ± 73 e 307 ± 41 segundos, respectivamente. Os parâmetros derivados das equações 1, 2 e 3 e o melhor ajuste individual, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação entre as equações de determinação de PC e W'.

	Não-linear	Linear	Linear t/1	Melhor ajuste
R²	0,997 – 1,000	0,975 – 1,000	0,914 – 1,000	0,998 – 1,000
PC (W)	227 ± 7	223 ± 7	226 ± 8	223 ± 8
EPE (W)	$3,9 \pm 1,4$	$6,5 \pm 2,9$	$6,9 \pm 2,8$	$3,5 \pm 0,8$
CV%	$3,3 \pm 1,7$	$3,3 \pm 1,9$	$3,4 \pm 2,2$	$2,2 \pm 0,9$
W' (kJ)	$15,9 \pm 1,6$	$15,6 \pm 1,5$	$15,5 \pm 1,5$	$16,0 \pm 2,0$
EPE (kJ)	$1,1 \pm 1,5$	$3,0 \pm 1,0$	$2,5 \pm 1,0$	$1,3 \pm 0,4$
CV%	$9,8 \pm 7,4$	$9,5 \pm 3,2$	$10,7 \pm 4,1$	$8,7 \pm 3,0$
Erro total (CV%)	$14,1 \pm 7,8$	$12,8 \pm 5,8$	$14,1 \pm 5,8$	$10,9 \pm 4,4$

Dados expressos em média \pm erro padrão, exceto para R^2 , que é apresentado em máximo e mínimo. R^2 , ajuste do modelo; EPE, erro padrão da estimativa; CV, coeficiente de variação; Erro total, soma do erro padrão de estimativa para PC e W'.

7.2 Desempenho no ciclismo contrarrelógio de 4 km

O tempo para completar o ciclismo contrarrelógio de 4 km foi significativamente menor ($1,8 \pm 0,6\%$) em CAF do que em PLA (396 ± 5 e 403 ± 6 segundos, respectivamente, $P = 0,01$).

7.3 Produção produzida e recrutamento muscular

A distribuição de PO e RMS_{TT} estão representadas na Figura 6. A média de PO e RMS_{TT} na condição CAF foi significativamente maior em comparação a PLA (para

ambos $P = 0,01$). Foi observado efeito da distância na distribuição da PO ($P < 0,05$, Figura 6A), com os participantes adotando uma estratégia de saída rápida, com a PO nos primeiros 400 metros maior do que em 800 a 4000 metros, tanto para CAF como para PLA. A PO em 800 metros também foi significativamente maior do que no trecho que vai de 1200 a 3200 metros ($P > 0,05$). Além disso, um *sprint* final foi notado nas duas condições, com uma maior PO em 4000 metros comparado a 1200 a 3600 metros ($P < 0,05$). Não houve interação entre suplemento e distância para RMS_{TT} , mas houve um efeito da distância para ambas as condições ($P < 0,05$, Figura 6B). O recrutamento muscular foi significativamente maior nos primeiros 400 metros em comparação a 800-3600 metros, e em 800 metros quando comparado ao trecho que vai de 2800 a 3600 metros em ambas as condições (para todos $P < 0.05$).

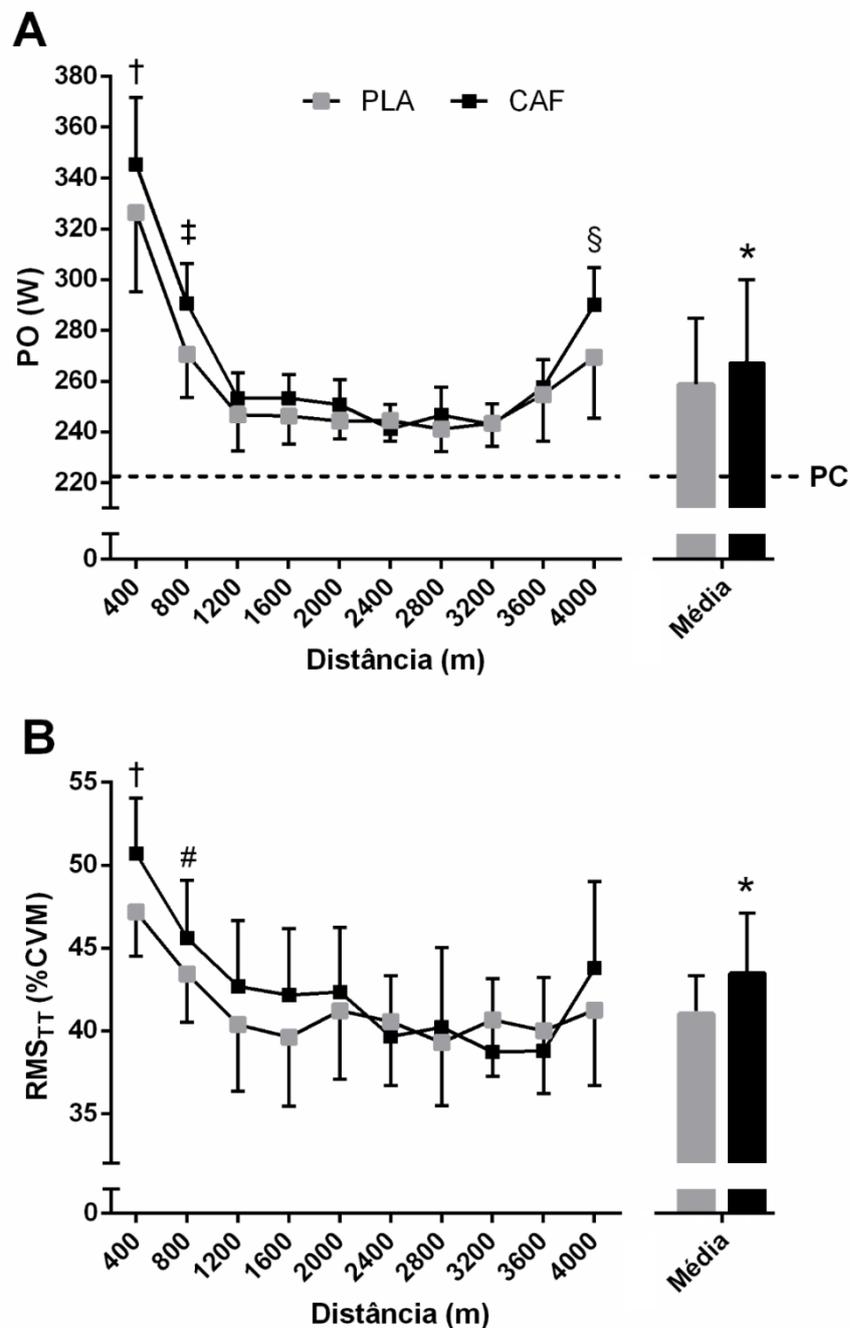


Figura 6 - Potência gerada (painel A) e RMS_{TT} (painel B) a cada 400 metros durante o teste contrarrelógio de 4 km após o consumo de cafeína (CAF) e placebo (PLA). As barras verticais no painel A representam a média de PO de CAF (preta) e PLA (cinza), e a linha horizontal pontilhada preta a potência crítica. † PO e RMS_{TT} nos 400 metros é significativamente maior do que em 800 a 3600 metros nas duas condições. ‡ PO nos 800 metros é significativamente maior do que em 1200 e 3200 metros nas duas condições. § PO em 4000 metros é significativamente maior do que em 1200 a 3200

metros nas duas condições. # RMS_{TT} nos 800 metros é significativamente maior do que em 2800 a 3600. * PO média em CAF significativamente maior que PLA.

7.4 Trabalho realizado acima da PC

A distribuição e o trabalho total realizado acima da PC, estão representados na Figura 7. Houve efeito do suplemento ($P = 0,01$), da distância ($P = 0,01$) e interação suplemento x distância ($P = 0,02$) no trabalho total realizado acima da PC (Figura 7A). O trabalho realizado acima da PC em 400 e 4000 metros foi significativamente maior em CAF do que em PLA ($P < 0,05$). Além disso, o trabalho realizado acima da PC em 800 metros foi significativamente maior do que em 1200 a 3,600 metros nas duas condições ($P > 0,05$). Além disso o trabalho acima da PC nos primeiros 400 metros foi maior do que 800 a 4,000 metros, e 4,000 metros foi maior do que 1200 a 3600 metros para as duas condições (para todos $P < 0,05$). O trabalho total realizado acima da PC na condição CAF foi 14% maior do que em PLA ($16,7 \pm 2,1$ e $14,7 \pm 2,1$ kJ, respectivamente, $P = 0,01$, Figura 7B).

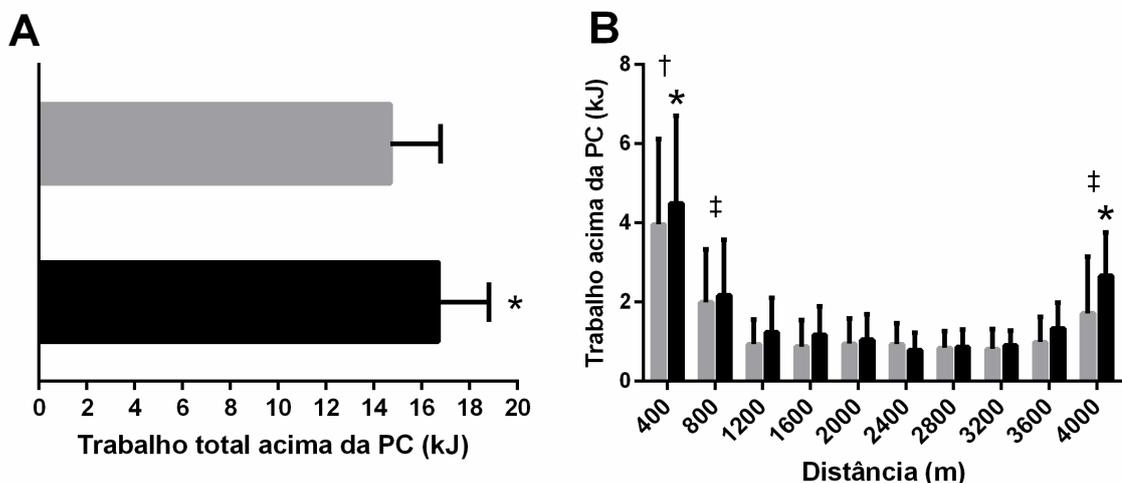


Figura 7 - Distribuição (Painel A) e trabalho total realizado acima da PC (Painel B) nas condições CAF e PLA. * CAF é significativamente maior que PLA. † 400 metros é significativamente maior do que 800 a 4000 metros nas duas condições. ‡ 800 e 400 metros é significativamente do que 1200 a 3600 metros nas duas condições.

Apenas poucos participantes (4 em PLA e 3 em CAF) diminuíram a potência para abaixo da PC em algum momento do teste contrarrelógio (APÊNDICE A). Três

desses participantes diminuíram em CAF e PLA, porém a PO média em que estiveram abaixo da PC não foi diferente entre as condições ($13,3 \pm 9,5$ vs. $15,5 \pm 10,1$ W, respectivamente, $P = 0,93$). O tempo abaixo da PC também não foi diferente entre CAF e PLA ($85,5 \pm 60,4$ e $87,3 \pm 68,2$ segundos, respectivamente, $P = 0,46$). Consequentemente, a restituição da W' em CAF e PLA foi pequena, e sem diferença significativa entre as condições ($1,2 \pm 0,5$ vs. $1,6 \pm 1,5$ kJ, respectivamente, $P = 0,86$).

7.5 Parâmetros neuromusculares

Os valores absolutos para os parâmetros neuromusculares de repouso, PRÉ 4 km e PÓS 4 km são apresentados na Tabela 2. Por não ter ocorrido diferença entre os parâmetros neuromusculares em repouso e o PRE TT ($P > 0,05$ para todas as variáveis), o cálculo das mudanças percentuais após o ciclismo contrarrelógio de 4 km foram realizados apenas em relação ao repouso (Figura 8). Houve um efeito do tempo para CVM ($P = 0,01$), com um similar nível de redução em CAF e PLA após o contrarrelógio de 4 km, em comparação com o repouso e o PRÉ 4 km, porém não houve efeito da condição ($P = 0,18$) e interação ($P = 0,82$). Não houve efeito da condição, do tempo e interação para RMS_{CVM} e AV ($P > 0,05$). Para a Q_{twpot} e Q_{tw10} , houve um efeito do tempo ($P = 0,01$) com uma queda acentuada em ambas condições em PÓS 4 km em relação ao repouso e PRÉ 4 km. Também houve interação suplemento x momento para Q_{twpot} e Q_{tw10} ($P = 0,01$ para ambos) com uma queda foi mais pronunciada em CAF em comparação ao PLA. Para Q_{tw100} , MRFD, RT0.5 e MRR houve um efeito do tempo ($P < 0,05$), com redução significativa nesses parâmetros em ambas as condições em PÓS 4 km, em comparação com repouso e PRÉ 4 km, mas sem diferença entre CAF e PLA ($P > 0,05$). Houve um efeito do tempo ($P = 0,01$) para a onda- M_{ampl} , que aumentou significativamente em ambas as condições em PÓS 4 km ($P = 0,01$). Similarmente, também houve interação suplemento x momento ($P = 0,01$) com um aumento maior na onda- M_{ampl} na condição CAF comparado ao PLA após o 4 km.

Tabela 2 - Valores absolutos dos parâmetros neuromusculares em repouso, PRÉ 4 km e PÓS 4 km nas condições cafeína (CAF) e placebo (PLA).

		Repouso		PRÉ 4 km		PÓS 4 km	
		PLA	CAF	PLA	CAF	PLA	CAF
CVM	(N)	405 ± 35	422 ± 38	409 ± 33	436 ± 35	375 ± 29 [†]	396 ± 36 [†]
AV	(%)	90 ± 2	90 ± 1	89 ± 2	89 ± 2	86 ± 1	88 ± 2
RMS_{CVM}	(mV)	0,22 ± 0,04	0,22 ± 0,04	0,25 ± 0,03	0,27 ± 0,05	0,25 ± 0,04	0,28 ± 0,05
Q_{twpot}	(N)	159 ± 23	163 ± 16	158 ± 11	165 ± 15	137 ± 14 [†]	121 ± 11 ^{†*}
Q_{tw10}	(N)	208 ± 17	214 ± 16	203 ± 17	207 ± 17	156 ± 11 [†]	146 ± 13 ^{†*}
Q_{tw100}	(N)	235 ± 14	253 ± 13	230 ± 8	251 ± 9	216 ± 8 [†]	212 ± 9 [†]
TC	(ms)	107 ± 10	102 ± 11	110 ± 13	108 ± 15	104 ± 18	106 ± 17
MRFD	(N·ms ⁻¹)	1.568 ± 9	1.541 ± 10	1.567 ± 9	1.580 ± 10	1.266 ± 8 [†]	1.227 ± 8 [†]
RT_{0,5}	(ms)	89 ± 12	90 ± 14	86 ± 12	85 ± 8	72 ± 12 [†]	63 ± 18 [†]
MRR	(N·ms ⁻¹)	1.494 ± 201	1.562 ± 250	1.440 ± 208	1.571 ± 240	1.410 ± 199 [†]	1.451 ± 215 [†]
Onda-M_{ampl}	(mV)	19 ± 4	20 ± 3	20 ± 5	21 ± 4	22 ± 4 [†]	24 ± 3 ^{†*}

Dados expressos em média ± erro padrão. CVM, contração voluntária máxima; AV, percentual de ativação voluntária; RMS_{CVM}, root mean square durante a CVM, Q_{twpot}, potencial de contração do quadríceps em resposta ao estímulo simples, Q_{tw10} e Q_{tw100} potencial de contração do quadríceps em resposta aos estímulos duplos de 10 Hz e 100 Hz; TC, tempo de contração; MRFD, máxima taxa de desenvolvimento de força; RT_{0,5}, meio tempo de relaxamento; MRR, máxima taxa de relaxamento; M_{wave ampl}, amplitude da onda M. † Significativamente diferente do repouso e PRÉ 4 km. * Significativamente diferente de PLA no mesmo ponto.

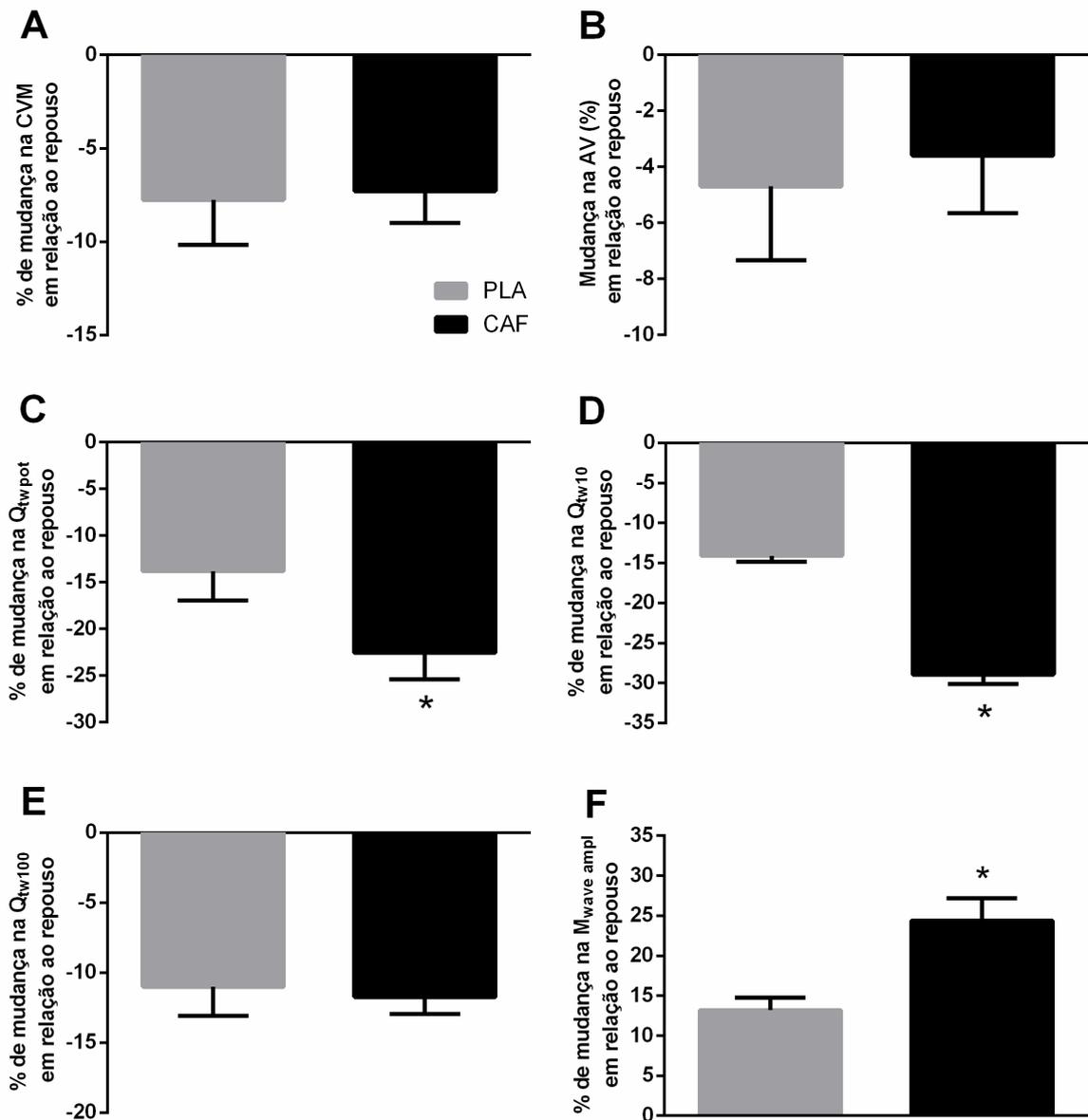


Figura 8 - Mudanças percentuais em relação ao repouso na CVM (Painel A), %AV (Painel B), Q_{twpot} (Painel C) Q_{tw10} (Painel D) e Q_{tw100} (Painel E) e onda-M ampl (Painel F) nas condições placebo (PLA) e cafeína (CAF). * Redução em CAF significativamente maior do que em PLA

7.6 Relação entre trabalho total realizado acima da PC e fadiga periférica

Não houve correlação entre a mudança (Δ) no trabalho total realizado acima da PC e as mudanças na Q_{twpot} ($r = 0,60$, $P = 0,11$), Q_{tw10} ($r = -0,19$, $P = 0,63$) e Q_{tw100} ($r = 0,15$, $P = 0,69$).

7.7 Resposta sistêmica ao exercício e parâmetros sanguíneos

As respostas sistêmicas durante o ciclismo contrarrelógio de 4 km são apresentadas na Figura 9. O VO_{2max} durante o teste contrarrelógio de 4 km não foi diferentes entre CAF e PLA ($3,46 \pm 0,14$ e $3,41 \pm 0,15$ L·min⁻¹, respectivamente, $P = 0,12$), e ambos não foram diferentes do atingido no teste incremental ($3,51 \pm 0,19$ L·min⁻¹, $P = 0,45$). Houve um efeito do tempo para todas as variáveis sistêmicas ($P < 0,05$), mas sem efeito da condição e interação ($P > 0,05$). O VO_2 e o VCO_2 aumentaram significativamente do repouso para os 800 metros ($P < 0,05$) e depois se mantiveram estáveis até o final dos 4 km nas duas condições ($P > 0,05$). A FC aumenta progressivamente do repouso até 1600 metros ($P < 0,05$), e depois também se manteve estável até o final nas duas condições ($P > 0,05$). A PSE aumentou progressivamente do repouso até o final do ciclismo contrarrelógio de 4 km em CAF e PLA ($P = 0,01$), porém sem diferença significativa entre as condições ($P = 0,10$).

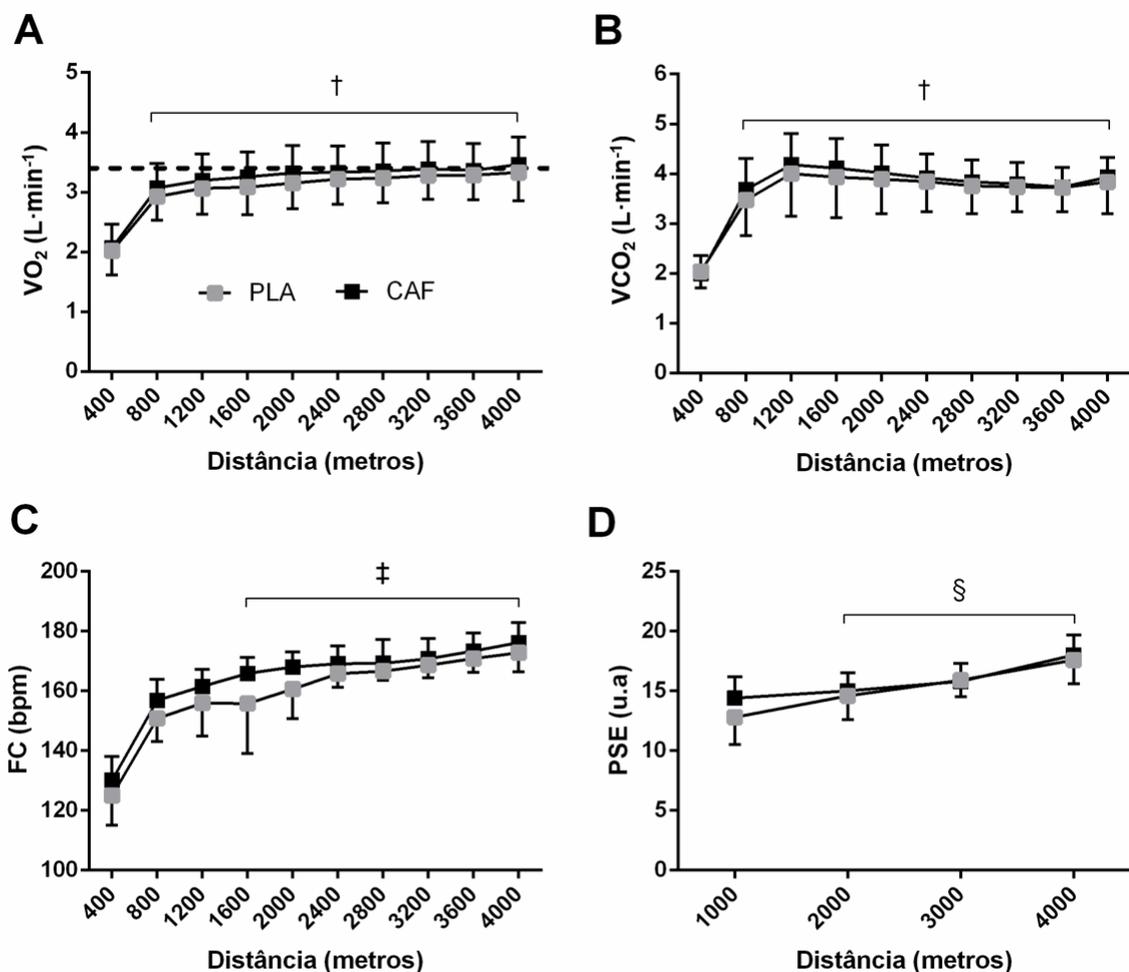


Figura 9 - Resposta do VO_2 (painel A), VCO_2 (painel B), FC (painel C) e PSE (painel B) durante o ciclismo contrarrelógio de 4 km nas condições placebo (PLA) e cafeína (CAF). A linha horizontal no painel A representa o VO_2 máximo do teste incremental. † Significativamente maior do que 400 metros e ambas as condições. ‡ Significativamente maior do que 400, 800 e 1200 metros em ambas as condições. § Significativamente maior do que o ponto anterior em ambas as condições.

Não houve alteração significativa no pH sanguíneo, lactato e amônia plasmático entre repouso e PRÉ 4 km nas duas condições (Tabela 3). No entanto, uma queda no pH sanguíneo, e aumento no lactato e amônia plasmática ocorreram em ambas as condições em PÓS TT ($P < 0,05$), porém sem diferença significativa entre CAF e PLA ($P > 0,05$).

Tabela 3 - Valores absolutos de pH sanguíneo e lactato e amônia plasmático em repouso, PRÉ 4 km e PÓS 4 km nas condições placebo (PLA) e cafeína (CAF).

	Repouso		PRÉ 4 KM		PÓS 4 KM	
	PLA	CAF	PLA	CAF	PLA	CAF
pH	7,36 ± 0,1	7,35 ± 0,1	7,38 ± 0,1	7,36 ± 0,1	7,18 ± 0,1 [†]	7,19 ± 0,1 [†]
Lactato mmol·L ⁻¹	1,3 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,1	1,3 ± 0,1	12,6 ± 0,9 [†]	13,8 ± 1,1 [†]
Amônia μmol·L ⁻¹	41,9 ± 7,5	34,3 ± 5,6	41,2 ± 10,5	34,1 ± 7,4	78,4 ± 12,0 [†]	91,5 ± 13,7 [†]

Dados expressos em média ± erro padrão. † significativamente diferentes de repouso e PRÉ 4 km em PLA e CAF.

8. DISCUSSÃO

Nossos principais achados demonstram que a ingestão de cafeína aumentou o recrutamento muscular durante o ciclismo contrarrelógio de 4-km, levando a um maior trabalho realizado acima da PC e aumento do desempenho. No entanto, foi observado um maior grau de fadiga periférica ao final do teste na condição cafeína, mas esse

aumento do nível de fadiga periférica não foi associado ao aumento da quantidade de trabalho realizado acima da PC.

Em concordância com outros estudos (SANTOS et al., 2013; SILVA-CAVALCANTE et al., 2013), o consumo da cafeína reduziu o tempo para completar o contrarrelógio de 4 km (2,4%). A ingestão de cafeína aumentou a PO média durante o teste sem mudar a estratégia de distribuição da PO, porém é interessante observar que nos primeiros e nos últimos 400 metros o trabalho acima da PC com a ingestão de cafeína foi maior comparado ao placebo. Isso pode indicar que um aumento no trabalho realizado nesses dois pontos críticos da prova pode aumentar o desempenho no ciclismo de média distância. Nossos resultados estão em concordância com estudos anteriores que observaram que um feedback enganoso (ou seja seguir um avatar com PO média 2% acima do melhor tempo do próprio participante) pode melhorar a produção de PO na primeira (AISBETT et al., 2009) ou na segunda parte (DUCROCQ et al., 2017) de um teste contrarrelógio de média distância. Além disso, em concordância com os nossos resultados, estudos anteriores também observaram um melhor desempenho quando os atletas foram “forçados” a produzir uma maior potência no início da prova (saída rápida) (BISHOP et al., 2002; AISBETT et al., 2009). Juntos, esses achados sugerem que durante um ciclismo contrarrelógio de média distância, uma maior PO no início e no final da prova são importantes para obter o melhor desempenho.

O aumento no trabalho realizado acima da PC e, conseqüentemente, o aumento no desempenho, pode ser explicado pelo efeito central da cafeína. Apesar da similar PSE entre as duas condições, a maior PO para a mesma PSE com a ingestão da cafeína indica uma menor razão PSE/PO (IRWIN et al., 2011; ASTORINO et al., 2012; SANTOS et al., 2013). Além disso, o maior recrutamento muscular, observado pelo aumento na média do RMS_{TT} oferece suporte para o efeito central da cafeína. O efeito central mais conhecido da cafeína é a sua ação antagônica aos receptores de adenosina no SNC (FREDHOLM, 1995; FREDHOLM et al., 1999), reduzindo a percepção de esforço durante o exercício (DOHERTY et al., 2004; DOHERTY e SMITH, 2005), além do seu efeito hipalgésico, aumentando a tolerância e reduzindo o desconforto durante o exercício (DOHERTY et al., 2004). Outros efeitos centrais importantes da cafeína são o aumento no potencial motor evocado, maior taxa de disparo das unidades motoras e o aumento da excitabilidade espinhal, fatores esses que melhoram a condução dos sinais nervosos do córtex motor ao musculo

esquelético (WALTON et al., 2002; WALTON et al., 2003; KALMAR e CAFARELLI, 2004). A cafeína, quando consumida em doses fisiológicas, aumenta a excitabilidade neural e a liberação de neurotransmissores excitatórios, reduzindo o limiar de ativação neural (FREDHOLM et al., 1999; KALMAR e CAFARELLI, 2004). O aumento da concentração de serotonina no núcleo da rafe com a ingestão de cafeína também exerce uma importante influência na transmissão de sinal do córtex motor ao músculo (BERKOWITZ e SPECTOR, 1971). Juntos, esses efeitos da cafeína no córtex motor e/ou na excitabilidade da coluna vertebral parecem contribuir para o aumento do recrutamento muscular, e conseqüentemente, no maior trabalho realizado acima da PC.

É tentador sugerir que esses efeitos induzidos pela cafeína no recrutamento muscular, resultando em maior trabalho realizado acima da PC, levaram a uma maior fadiga periférica. O aumento no trabalho total realizado acima da PC, no entanto, não está relacionado ao aumento nos índices de fadiga periférica após o consumo de cafeína (Δ de mudança). Isso sugere que o maior índice de fadiga periférica na condição cafeína não está diretamente relacionado ao maior trabalho realizado acima da PC. No entanto, esses resultados indicam que um determinado limite crítico de fadiga periférica pode ser superado com a ingestão de cafeína. Também é interessante notar que na condição cafeína houve um maior declínio na força de contração do quadríceps de baixa frequência (10 Hz) mas não na de alta frequência (100 Hz). A cafeína aumenta a força de baixa frequência (TARNOPOLSKY e CUPIDO, 2000), aumentando a liberação de cálcio do retículo sarcoplasmático durante as contrações musculares (TALLIS et al., 2013). Essas funções musculares melhoradas podem reduzir os sinais sensoriais que levam informação do músculo para o cérebro, permitindo maior recrutamento muscular, gerando desta forma um maior grau de fadiga periférica ao final do exercício.

A similar redução na CVM entre cafeína e placebo após o ciclismo contrarrelógio de 4 km indica um grau de fadiga global similar entre as condições. Algumas alterações no recrutamento neuromuscular, ou no próprio mecanismo contrátil da fibra muscular podem ter ocorrido para compensar a maior queda na Q_{twpot} e Q_{tw10} na condição CAF, resultando em redução similar na CVM entre as condições. A ausência de queda na %AV após o ciclismo contrarrelógio de 4 km nas duas condições indica que não houve uma limitação central. A excitabilidade da membrana da fibra muscular, representada pela amplitude da onda-M, foi aumentada

significativamente após o teste contrarrelógio de 4 km em ambas as condições, assim como o observado em um estudo recente com protocolo de exercício de alta intensidade (FROYD et al., 2016; TEMESI et al., 2017). A razão para o aumento da onda-M após o exercício ainda não está totalmente esclarecida, porém já foi observado que o aumento na concentração de epinefrina durante o exercício de alta intensidade aumenta a atividade de bomba Na^+/K^+ (HICKS e MCCOMAS, 1989; CLAUSEN, 2003), o que por sua vez, aumenta o potencial de ação da membrana fibra muscular, refletidas pela maior onda-M (FROYD et al., 2016; TEMESI et al., 2017). No entanto, esse aumento foi maior com a ingestão da cafeína, sugerindo uma ação da cafeína sobre a excitabilidade da membrana da fibra muscular, o que por sua vez pode ter prevenido uma queda ainda mais acentuada na CVM. De fato, a cafeína pode aumentar o retorno do K^+ para o meio intracelular, facilitando o retorno do potencial de ação da fibra muscular (SIMMONDS et al., 2010; MOHR et al., 2011).

Um aspecto importante que deve ser levado em conta em nosso estudo é a possível influência do protocolo de determinação da PC. A PC foi estimada utilizando protocolo de exercício de carga constante realizado no domínio severo, enquanto que o trabalho total realizado acima da PC foi mensurado em um exercício onde a distribuição de PO é livre. Embora não tenhamos conhecimento de nenhum estudo que verifique as mudanças de PC durante um teste contrarrelógio, um estudo recente sugeriu que o PC derivada de protocolos onde a distribuição da PO era livre, foi maior que o PC derivado do protocolo de carga constante (BLACK et al., 2015). Isso sugere que a PC pode ter sido subestimada no nosso estudo, e conseqüentemente, o trabalho total realizado acima da PC foi superestimado. No entanto, caso isso tenha acontecido, essa mudança na determinação da PC pode alterar o trabalho realizado acima da PC nas duas condições. Outro aspecto importante é a possível influência da cafeína na determinação da PC (CHENG et al., 2016; ARCOVERDE et al., 2017). Enquanto um estudo observou que a ingestão de cafeína não altera a PC, mas sim a W' em um protocolo de exercício máximo de 3 minutos (CHENG et al., 2016), outro reportou um aumento da PC e diminuição na W' com a ingestão da cafeína quando esses parâmetros foram determinados em um protocolo de exercícios de cargas constantes (ARCOVERDE et al., 2017). Portanto, uma possível influência da cafeína na determinação da PC não pode ser descartada.

9. LIMITAÇÕES

Uma das possíveis limitações do presente estudo é não ter sido analisado a presença de cafeína no plasma sanguíneo para confirmar a abstinência de cafeína antes dos protocolos experimentais. No entanto, o registro alimentar realizado pelos participantes antes dos testes confirma abstinência de cafeína nas 24 horas que antecederam os testes. Da mesma forma, não foi analisado a concentração de cafeína plasmática após a suplementação. Entretanto, estudos prévios observaram um aumento significativo na cafeína plasmática ($40 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$), 60-90 minutos após o consumo de $5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso corporal, aumento esse capaz de causar importantes alterações fisiológicas e aumentar o desempenho, como notado no presente estudo (BATTRAM et al., 2005; MAGKOS e KAVOURAS, 2005). Finalmente, apesar de termos observado que a ingestão de cafeína resultou em maior acúmulo de fadiga periférica após o ciclismo contrarrelógio de 4 km, não foi possível determinar o local de atuação da cafeína no meio intramuscular. Estudos futuros utilizando a ressonância magnética ^{31}P ou biópsia muscular, poderão esclarecer a atuação da cafeína sobre os metabólitos relacionados com a fadiga periférica (ex. PCr, ADP e Pi), a fim de fornecer uma visão mais detalhada da ação da cafeína no meio intramuscular.

Embora tenha sido tomado cuidado para que as medidas dos parâmetros neuromusculares começassem imediatamente após o término do teste contrarrelógio, é normal que tenha um tempo de atraso para se locomover da bicicleta para a cadeira de extensão de joelho. No entanto, o tempo de início do protocolo foi o mesmo para as duas condições. Como a recuperação da fadiga periférica (FROYD et al., 2013) e central (GRUET et al., 2014) começam assim que o exercício termina, se os parâmetros neuromusculares fossem medidos imediatamente após o término do exercício, possivelmente o grau de fadiga teria sido ainda maior. Outro aspecto importante é que o presente estudo foi conduzido com atletas recreacionalmente treinados (DE PAUW et al., 2013); se esse efeito pode ser estendido a atletas altamente treinados ou profissionais ainda não se sabe, uma vez que um estudo recente observou que o efeito da cafeína pode ser menor em pessoas mais treinadas, particularmente no período da tarde (BOYETT et al., 2016).

10. APLICAÇÃO PRÁTICA

O maior trabalho realizado acima da PC com a ingestão de cafeína nos primeiros e últimos 400 metros é particularmente importante para o desempenho em provas de média e longa duração, onde uma saída rápida e/ou *sprint* final são essenciais para o sucesso competitivo (BISHOP et al., 2002; AISBETT et al., 2009).

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em conclusão, a cafeína aumentou o recrutamento muscular, a PO média, e conseqüentemente, o trabalho total realizado acima da PC, melhorando o desempenho no teste no ciclismo contrarrelógio de 4-km. Esse aumento no desempenho, no entanto, resultou em maior acúmulo de fadiga periférica após o teste. No entanto, o maior trabalho realizado acima da PC na condição cafeína não está diretamente associado ao maior grau de fadiga periférica observada nessa condição.

REFERÊNCIAS

AISBETT, B. et al. Effects of starting strategy on 5-min cycling time-trial performance. **J Sports Sci**, v. 27, n. 11, p. 1201-9, Sep 2009. ISSN 0264-0414 (Print)

AMANN, M. et al. Group III and IV muscle afferents contribute to ventilatory and cardiovascular response to rhythmic exercise in humans. **J Appl Physiol (1985)**, v. 109, n. 4, p. 966-76, Oct 2010. ISSN 0161-7567.

AMANN, M.; DEMPSEY, J. A. Locomotor muscle fatigue modifies central motor drive in healthy humans and imposes a limitation to exercise performance. **J Physiol**, v. 586, n. 1, p. 161-73, Jan 01 2008. ISSN 0022-3751 (Print)

AMANN, M. et al. Opioid-mediated muscle afferents inhibit central motor drive and limit peripheral muscle fatigue development in humans. **J Physiol**, v. 587, n. 1, p. 271-83, Jan 15 2009. ISSN 0022-3751.

ANSELME, F. et al. Caffeine increases maximal anaerobic power and blood lactate concentration. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 65, n. 2, p. 188-91, 1992. ISSN 0301-5548 (Print)

ARCOVERDE, L. et al. Effect of caffeine ingestion on anaerobic capacity quantified by different methods. v. 12, n. 6, p. e0179457, 2017. ISSN 1932-6203.

ASTORINO, T. A. et al. Effect of caffeine on RPE and perceptions of pain, arousal, and pleasure/displeasure during a cycling time trial in endurance trained and active men. **Physiol Behav**, v. 106, n. 2, p. 211-7, May 15 2012. ISSN 0031-9384.

BARTRAM, J. C. et al. Predicting Critical Power in Elite Cyclists: Questioning the Validity of the 3-Minute All-Out Test. **Int J Sports Physiol Perform**, v. 12, n. 6, p. 783-787, Jul 2017. ISSN 1555-0265.

BATTRAM, D. S. et al. The effect of caffeine on glucose kinetics in humans--influence of adrenaline. **J Physiol**, v. 569, n. Pt 1, p. 347-55, Nov 15 2005. ISSN 0022-3751 (Print)

BEAVO, J. A. et al. Effects of xanthine derivatives on lipolysis and on adenosine 3',5'-monophosphate phosphodiesterase activity. **Mol Pharmacol**, v. 6, n. 6, p. 597-603, Nov 1970. ISSN 0026-895X (Print)

BELL, D. G.; JACOBS, I.; ELLERINGTON, K. Effect of caffeine and ephedrine ingestion on anaerobic exercise performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 33, n. 8, p. 1399-403, Aug 2001. ISSN 0195-9131 (Print)

BERGSTROM, H. C. et al. A new single work bout test to estimate critical power and anaerobic work capacity. **J Strength Cond Res**, v. 26, n. 3, p. 656-63, Mar 2012. ISSN 1064-8011.

BERGSTROM, H. C. et al. Responses during exhaustive exercise at critical power determined from the 3-min all-out test. **J Sports Sci**, v. 31, n. 5, p. 537-45, 2013. ISSN 0264-0414.

BERGSTROM, H. C. et al. Differences among estimates of critical power and anaerobic work capacity derived from five mathematical models and the three-minute all-out test. **J Strength Cond Res**, v. 28, n. 3, p. 592-600, Mar 2014. ISSN 1064-8011.

BERKOWITZ, B. A.; SPECTOR, S. The effect of caffeine and theophylline on the disposition of brain serotonin in the rat. **Eur J Pharmacol**, v. 16, n. 3, p. 322-5, Nov-Dec 1971. ISSN 0014-2999 (Print)

BISHOP, D.; BONETTI, D.; DAWSON, B. The influence of pacing strategy on VO₂ and supramaximal kayak performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 34, n. 6, p. 1041-7, Jun 2002. ISSN 0195-9131 (Print)

BLACK, M. I. et al. Self-pacing increases critical power and improves performance during severe-intensity exercise. **Appl Physiol Nutr Metab**, v. 40, n. 7, p. 662-70, Jul 2015. ISSN 1715-5312.

BLACK, M. I. et al. Muscle metabolic and neuromuscular determinants of fatigue during cycling in different exercise intensity domains. **J Appl Physiol (1985)**, v. 122, n. 3, p. 446-459, Mar 01 2017. ISSN 0161-7567.

BLAIN, G. M. et al. Group III/IV muscle afferents limit the intramuscular metabolic perturbation during whole body exercise in humans. **J Physiol**, v. 594, n. 18, p. 5303-15, Sep 15 2016. ISSN 0022-3751.

BORG, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Med Sci Sports Exerc**, v. 14, n. 5, p. 377-81, 1982. ISSN 0195-9131 (Print)

BOYETT, J. C. et al. Time of Day and Training Status Both Impact the Efficacy of Caffeine for Short Duration Cycling Performance. **Nutrients**, v. 8, n. 10, Oct 14 2016. ISSN 2072-6643.

BRICKLEY, G.; DOUST, J.; WILLIAMS, C. A. Physiological responses during exercise to exhaustion at critical power. **Eur J Appl Physiol**, v. 88, n. 1-2, p. 146-51, Nov 2002. ISSN 1439-6319 (Print)

BRIDGE, C. A.; JONES, M. A. The effect of caffeine ingestion on 8 km run performance in a field setting. **J Sports Sci**, v. 24, n. 4, p. 433-9, Apr 2006. ISSN 0264-0414 (Print)

BROXTERMAN, R. M. et al. Influence of blood flow occlusion on the development of peripheral and central fatigue during small muscle mass handgrip exercise. **J Physiol**, v. 593, n. 17, p. 4043-54, Sep 01 2015. ISSN 0022-3751.

BROXTERMAN, R. M. et al. W' expenditure and reconstitution during severe intensity constant power exercise: mechanistic insight into the determinants of W'. **Physiol Rep**, v. 4, n. 19, Oct 2016. ISSN 2051-817x.

BURNLEY, M.; JONES, A. M. Power-duration relationship: Physiology, fatigue, and the limits of human performance. **Eur J Sport Sci**, p. 1-12, Nov 03 2016. ISSN 1536-7290.

BUTCHER, R. W.; SUTHERLAND, E. W. Adenosine 3',5'-phosphate in biological materials. I. Purification and properties of cyclic 3',5'-nucleotide phosphodiesterase and use of this enzyme to characterize adenosine 3',5'-phosphate in human urine. **J Biol Chem**, v. 237, p. 1244-50, Apr 1962. ISSN 0021-9258 (Print)

CHENG, C. F. et al. Caffeine ingestion improves power output decrement during 3-min all-out exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 116, n. 9, p. 1693-702, Sep 2016. ISSN 1439-6319.

CHIDNOK, W. et al. Effects of pacing strategy on work done above critical power during high-intensity exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 45, n. 7, p. 1377-85, Jul 2013. ISSN 0195-9131.

CHIDNOK, W. et al. Muscle metabolic determinants of exercise tolerance following exhaustion: relationship to the "critical power". **J Appl Physiol (1985)**, v. 115, n. 2, p. 243-50, Jul 15 2013. ISSN 0161-7567.

CLARK, I. E. et al. Validity of the 3-Minute All-Out Exercise Test on the CompuTrainer. **J Strength Cond Res**, v. 30, n. 3, p. 825-9, Mar 2016. ISSN 1064-8011.

CLAUSEN, T. Na⁺-K⁺ pump regulation and skeletal muscle contractility. **Physiol Rev**, v. 83, n. 4, p. 1269-324, Oct 2003. ISSN 0031-9333 (Print)

CONSTANTINI, K.; SABAPATHY, S.; CROSS, T. J. A single-session testing protocol to determine critical power and W'. **Eur J Appl Physiol**, v. 114, n. 6, p. 1153-61, Jun 2014. ISSN 1439-6319.

DE PAUW, K. et al. Guidelines to classify subject groups in sport-science research. **Int J Sports Physiol Perform**, v. 8, n. 2, p. 111-22, Mar 2013. ISSN 1555-0265 (Print)

DEKERLE, J. et al. Maximal lactate steady state, respiratory compensation threshold and critical power. **Eur J Appl Physiol**, v. 89, n. 3-4, p. 281-8, May 2003. ISSN 1439-6319 (Print)

DESBROW, B.; LEVERITT, M. Awareness and use of caffeine by athletes competing at the 2005 Ironman Triathlon World Championships. **Int J Sport Nutr Exerc Metab**, v. 16, n. 5, p. 545-58, Oct 2006. ISSN 1526-484X (Print)

DOHERTY, M. et al. Caffeine lowers perceptual response and increases power output during high-intensity cycling. **J Sports Sci**, v. 22, n. 7, p. 637-43, Jul 2004. ISSN 0264-0414 (Print)

DOHERTY, M.; SMITH, P. M. Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: a meta-analysis. **Scand J Med Sci Sports**, v. 15, n. 2, p. 69-78, Apr 2005. ISSN 0905-7188 (Print)

DOUROUDOS, II et al. Dose-related effects of prolonged NaHCO₃ ingestion during high-intensity exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 38, n. 10, p. 1746-53, Oct 2006. ISSN 0195-9131 (Print)

DUCROCQ, G. P. et al. Increased Fatigue Response to Augmented Deceptive Feedback during Cycling Time Trial. **Med Sci Sports Exerc**, v. 49, n. 8, p. 1541-1551, Aug 2017. ISSN 0195-9131.

DUTKA, T. L.; COLE, L.; LAMB, G. D. Calcium phosphate precipitation in the sarcoplasmic reticulum reduces action potential-mediated Ca²⁺ release in mammalian skeletal muscle. **Am J Physiol Cell Physiol**, v. 289, n. 6, p. C1502-12, Dec 2005. ISSN 0363-6143 (Print)

FERNANDES, A. L. et al. Effect of time of day on performance, hormonal and metabolic response during a 1000-M cycling time trial. **PLoS One**, v. 9, n. 10, p. e109954, 2014. ISSN 1932-6203.

FOSTER, C. et al. Effect of pacing strategy on cycle time trial performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 25, n. 3, p. 383-8, Mar 1993. ISSN 0195-9131 (Print)

FREDHOLM, B. B. Adenosine, Adenosine Receptors and the Actions of Caffeine *. **Pharmacology & Toxicology**, v. 76, n. 2, p. 93-101, 1995. ISSN 1600-0773. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0773.1995.tb00111.x> >.

FREDHOLM, B. B. et al. Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use. **Pharmacol Rev**, v. 51, n. 1, p. 83-133, Mar 1999. ISSN 0031-6997 (Print)

FROYD, C. et al. Central Regulation and Neuromuscular Fatigue during Exercise of Different Durations. **Med Sci Sports Exerc**, v. 48, n. 6, p. 1024-32, Jun 2016. ISSN 0195-9131.

FROYD, C.; MILLET, G. Y.; NOAKES, T. D. The development of peripheral fatigue and short-term recovery during self-paced high-intensity exercise. **J Physiol**, v. 591, n. 5, p. 1339-46, Mar 01 2013. ISSN 0022-3751.

FRYER, M. W.; NEERING, I. R. Actions of caffeine on fast- and slow-twitch muscles of the rat. **J Physiol**, v. 416, p. 435-54, Sep 1989. ISSN 0022-3751 (Print)

FULCERI, R. et al. Physiological concentrations of inorganic phosphate affect MgATP-dependent Ca²⁺ storage and inositol trisphosphate-induced Ca²⁺ efflux in microsomal vesicles from non-hepatic cells. **Biochem J**, v. 289 (Pt 1), p. 299-306, Jan 01 1993. ISSN 0264-6021 (Print)

GAESSER, G. A. et al. Estimation of critical power with nonlinear and linear models. **Med Sci Sports Exerc**, v. 27, n. 10, p. 1430-8, Oct 1995. ISSN 0195-9131 (Print)

GAESSER, G. A.; WILSON, L. A. Effects of continuous and interval training on the parameters of the power-endurance time relationship for high-intensity exercise. **Int J Sports Med**, v. 9, n. 6, p. 417-21, Dec 1988. ISSN 0172-4622 (Print)

GEORGE, A. J. Central nervous system stimulants. **Best Practice & Research Clinical Endocrinology & Metabolism**, v. 14, n. 1, p. 79-88, 2000/03/01 2000. ISSN 1521-690X. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1521690X00900551> >.

GLAISTER, M. et al. Caffeine supplementation and multiple sprint running performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 40, n. 10, p. 1835-40, Oct 2008. ISSN 0195-9131.

GODFREY, S. et al. Ear lobe blood samples for blood gas analysis at rest and during exercise. **Br J Dis Chest**, v. 65, n. 1, p. 58-64, Jan 1971. ISSN 0007-0971 (Print)

GOLDFINCH, J.; MC NAUGHTON, L.; DAVIES, P. Induced metabolic alkalosis and its effects on 400-m racing time. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 57, n. 1, p. 45-8, 1988. ISSN 0301-5548 (Print)

GRAHAM, D. M. Caffeine--its identity, dietary sources, intake and biological effects. **Nutr Rev**, v. 36, n. 4, p. 97-102, Apr 1978. ISSN 0029-6643 (Print)

GRAHAM, T. E.; SPRIET, L. L. Metabolic, catecholamine, and exercise performance responses to various doses of caffeine. **J Appl Physiol (1985)**, v. 78, n. 3, p. 867-74, Mar 1995. ISSN 8750-7587 (Print)

GRUET, M. et al. Dynamics of corticospinal changes during and after high-intensity quadriceps exercise. **Exp Physiol**, v. 99, n. 8, p. 1053-64, Aug 2014. ISSN 0958-0670.

HERMENS, H. J. et al. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. **J Electromyogr Kinesiol**, v. 10, n. 5, p. 361-74, Oct 2000. ISSN 1050-6411 (Print)

HETTINGA, F. J. et al. Pacing strategy and the occurrence of fatigue in 4000-m cycling time trials. **Med Sci Sports Exerc**, v. 38, n. 8, p. 1484-91, Aug 2006. ISSN 0195-9131 (Print)

HICKS, A.; MCCOMAS, A. J. Increased sodium pump activity following repetitive stimulation of rat soleus muscles. **J Physiol**, v. 414, p. 337-49, Jul 1989. ISSN 0022-3751 (Print)

HILL, A. V. THE Physiological Basis OF ATHLETIC RECORDS. **The Lancet**, v. 206, n. 5323, p. 481-486, 1925/09/05/ 1925. ISSN 0140-6736. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673601155467> >.

HOLLIDGE-HORVAT, M. G. et al. Effect of induced metabolic alkalosis on human skeletal muscle metabolism during exercise. **Am J Physiol Endocrinol Metab**, v. 278, n. 2, p. E316-29, Feb 2000. ISSN 0193-1849 (Print)

HOPKINS, W. G. Measures of reliability in sports medicine and science. **Sports Med**, v. 30, n. 1, p. 1-15, Jul 2000. ISSN 0112-1642 (Print)

HOWLEY, E. T.; BASSETT, D. R., JR.; WELCH, H. G. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. **Med Sci Sports Exerc**, v. 27, n. 9, p. 1292-301, Sep 1995. ISSN 0195-9131 (Print)

HULLEMANN, K. D.; METZ, J. in: Medicina Esportiva: clínica e prática. **Edusp**, p. 213-235, 1982.

HUREAU, T. J.; ROMER, L. M.; AMANN, M. The 'sensory tolerance limit': A hypothetical construct determining exercise performance? **Eur J Sport Sci**, p. 1-12, Nov 07 2016. ISSN 1536-7290.

IRWIN, C. et al. Caffeine withdrawal and high-intensity endurance cycling performance. **J Sports Sci**, v. 29, n. 5, p. 509-15, Mar 2011. ISSN 0264-0414.

JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. **Br J Nutr**, v. 40, n. 3, p. 497-504, Nov 1978. ISSN 0007-1145 (Print)

JONES, A. M. et al. Critical power: implications for determination of $\dot{V}O_{2\max}$ and exercise tolerance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 42, n. 10, p. 1876-90, Oct 2010. ISSN 0195-9131.

JONES, A. M. et al. Prior heavy exercise enhances performance during subsequent perimaximal exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 35, n. 12, p. 2085-92, Dec 2003. ISSN 0195-9131 (Print)

JONES, A. M. et al. Muscle metabolic responses to exercise above and below the "critical power" assessed using ^{31}P -MRS. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v. 294, n. 2, p. R585-93, Feb 2008. ISSN 0363-6119 (Print)

KALMAR, J. M.; CAFARELLI, E. Central fatigue and transcranial magnetic stimulation: effect of caffeine and the confound of peripheral transmission failure. **J Neurosci Methods**, v. 138, n. 1-2, p. 15-26, Sep 30 2004. ISSN 0165-0270 (Print)

KENT-BRAUN, J. A. Central and peripheral contributions to muscle fatigue in humans during sustained maximal effort. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 80, n. 1, p. 57-63, Jun 1999. ISSN 0301-5548 (Print)

KILDING, A. E.; OVERTON, C.; GLEAVE, J. Effects of caffeine, sodium bicarbonate, and their combined ingestion on high-intensity cycling performance. **Int J Sport Nutr Exerc Metab**, v. 22, n. 3, p. 175-83, Jun 2012. ISSN 1526-484x.

KNIFFKI, K. D.; MENSE, S.; SCHMIDT, R. F. Responses of group IV afferent units from skeletal muscle to stretch, contraction and chemical stimulation. **Exp Brain Res**, v. 31, n. 4, p. 511-22, Apr 14 1978. ISSN 0014-4819 (Print)

KOVACS, E. M.; STEGEN, J.; BROUNS, F. Effect of caffeinated drinks on substrate metabolism, caffeine excretion, and performance. **J Appl Physiol (1985)**, v. 85, n. 2, p. 709-15, Aug 1998. ISSN 8750-7587 (Print)

KUIPERS, H. et al. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. **Int J Sports Med**, v. 6, n. 4, p. 197-201, Aug 1985. ISSN 0172-4622 (Print)

LIGHT, A. R. et al. Dorsal root ganglion neurons innervating skeletal muscle respond to physiological combinations of protons, ATP, and lactate mediated by ASIC, P2X, and TRPV1. **J Neurophysiol**, v. 100, n. 3, p. 1184-201, Sep 2008. ISSN 0022-3077 (Print)

LINDINGER, M. I.; GRAHAM, T. E.; SPRIET, L. L. Caffeine attenuates the exercise-induced increase in plasma [K+] in humans. **J Appl Physiol (1985)**, v. 74, n. 3, p. 1149-55, Mar 1993. ISSN 8750-7587 (Print)

LINNAMO, V.; BOTTAS, R.; KOMI, P. V. Force and EMG power spectrum during and after eccentric and concentric fatigue. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 10, n. 5, p. 293-300, 10// 2000. ISSN 1050-6411. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1050641100000213>>.

LOPES-SILVA, J. P. et al. Caffeine ingestion after rapid weight loss in judo athletes reduces perceived effort and increases plasma lactate concentration without improving performance. **Nutrients**, v. 6, n. 7, p. 2931-45, Jul 22 2014. ISSN 2072-6643.

MACEFIELD, G. et al. Decline in spindle support to alpha-motoneurons during sustained voluntary contractions. **J Physiol**, v. 440, p. 497-512, 1991. ISSN 0022-3751 (Print)

MAGKOS, F.; KAVOURAS, S. A. Caffeine use in sports, pharmacokinetics in man, and cellular mechanisms of action. **Crit Rev Food Sci Nutr**, v. 45, n. 7-8, p. 535-62, 2005. ISSN 1040-8398 (Print)

MANSOUR, T. E. Phosphofructokinase activity in skeletal muscle extracts following administration of epinephrine. **J Biol Chem**, v. 247, n. 19, p. 6059-66, Oct 10 1972. ISSN 0021-9258 (Print)

MARTIN, P. G. et al. Group III and IV muscle afferents differentially affect the motor cortex and motoneurons in humans. **J Physiol**, v. 586, n. 5, p. 1277-89, Mar 01 2008. ISSN 0022-3751.

MENSE, S.; STAHNKE, M. Responses in muscle afferent fibres of slow conduction velocity to contractions and ischaemia in the cat. **J Physiol**, v. 342, p. 383-97, Sep 1983. ISSN 0022-3751 (Print)

MERTON, P. A. Voluntary strength and fatigue. **The Journal of Physiology**, v. 123, n. 3, p. 553-564, 1954. ISSN 0022-3751
1469-7793. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1366225/> >.

MOHR, M.; NIELSEN, J. J.; BANGSBO, J. Caffeine intake improves intense intermittent exercise performance and reduces muscle interstitial potassium accumulation. **J Appl Physiol (1985)**, v. 111, n. 5, p. 1372-9, Nov 2011. ISSN 0161-7567.

MONOD, H.; SCHERRER, J. THE WORK CAPACITY OF A SYNERGIC MUSCULAR GROUP. **Ergonomics**, v. 8, n. 3, p. 329-338, 1965/07/01 1965. ISSN 0014-0139. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1080/00140136508930810> >.

MORITANI, T. et al. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. **Ergonomics**, v. 24, n. 5, p. 339-50, May 1981. ISSN 0014-0139 (Print)

MORTON, R. H. The critical power and related whole-body bioenergetic models. **Eur J Appl Physiol**, v. 96, n. 4, p. 339-54, Mar 2006. ISSN 1439-6319 (Print)

NEWSHOLME, E. A.; BLOMSTRAND, E. Branched-Chain Amino Acids and Central Fatigue. **The Journal of Nutrition**, v. 136, n. 1, p. 274S-276S, January 1, 2006 2006. Disponível em: < <http://jn.nutrition.org/content/136/1/274S.abstract> >.

PERONNET, F.; THIBAUT, G. [Physiological analysis of running performance: revision of the hyperbolic model]. **J Physiol (Paris)**, v. 82, n. 1, p. 52-60, 1987. ISSN 0021-7948 (Print)

POOLE, D. C. et al. Critical Power: An Important Fatigue Threshold in Exercise Physiology. **Med Sci Sports Exerc**, v. 48, n. 11, p. 2320-2334, Nov 2016. ISSN 0195-9131.

POOLE, D. C. et al. Metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. **Ergonomics**, v. 31, n. 9, p. 1265-79, Sep 1988. ISSN 0014-0139 (Print)

ROSSER, J. I.; WALSH, B.; HOGAN, M. C. Effect of physiological levels of caffeine on Ca²⁺ handling and fatigue development in *Xenopus* isolated single myofibers. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v. 296, n. 5, p. R1512-7, May 2009. ISSN 0363-6119 (Print)

ROSSMAN, M. J. et al. The role of active muscle mass in determining the magnitude of peripheral fatigue during dynamic exercise. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v. 306, n. 12, p. R934-40, Jun 15 2014. ISSN 0363-6119.

SANTOS, R. A. et al. Caffeine alters anaerobic distribution and pacing during a 4000-m cycling time trial. **PLoS One**, v. 8, n. 9, p. e75399, 2013. ISSN 1932-6203 (Electronic) 1932-6203 (Linking). Disponível em: <
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24058684> >.

SANTOS, V. G. et al. Caffeine reduces reaction time and improves performance in simulated-contest of taekwondo. **Nutrients**, v. 6, n. 2, p. 637-49, Feb 10 2014. ISSN 2072-6643.

SILVA-CAVALCANTE, M. D. et al. Caffeine increases anaerobic work and restores cycling performance following a protocol designed to lower endogenous carbohydrate availability. **PLoS One**, v. 8, n. 8, p. e72025, 2013. ISSN 1932-6203.

SILVEIRA, R. et al. Caffeine Increases Work Done above Critical Power, but not Anaerobic Work. **Med Sci Sports Exerc**, Aug 21 2017. ISSN 0195-9131.

SIMMONDS, M. J.; MINAHAN, C. L.; SABAPATHY, S. Caffeine improves supramaximal cycling but not the rate of anaerobic energy release. **Eur J Appl Physiol**, v. 109, n. 2, p. 287-95, May 2010. ISSN 1439-6319.

SINCLAIR, C. J.; GEIGER, J. D. Caffeine use in sports. A pharmacological review. **J Sports Med Phys Fitness**, v. 40, n. 1, p. 71-9, Mar 2000. ISSN 0022-4707 (Print)

SIRI, W. E. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1961. **Nutrition**, v. 9, n. 5, p. 480-91; discussion 480, 492, Sep-Oct 1961. ISSN 0899-9007 (Print)

SPRIET, L. L. Exercise and sport performance with low doses of caffeine. **Sports Med**, v. 44 Suppl 2, p. S175-84, Nov 2014. ISSN 0112-1642.

STONE, M. R. et al. Consistency of perceptual and metabolic responses to a laboratory-based simulated 4,000-m cycling time trial. **Eur J Appl Physiol**, v. 111, n. 8, p. 1807-13, Aug 2011. ISSN 1439-6319.

TALLIS, J. et al. The effect of a physiological concentration of caffeine on the endurance of maximally and submaximally stimulated mouse soleus muscle. **J Physiol Sci**, v. 63, n. 2, p. 125-32, Mar 2013. ISSN 1880-6546.

TARNOPOLSKY, M.; CUPIDO, C. Caffeine potentiates low frequency skeletal muscle force in habitual and nonhabitual caffeine consumers. **J Appl Physiol (1985)**, v. 89, n. 5, p. 1719-24, Nov 2000. ISSN 8750-7587 (Print)

TARNOPOLSKY, M. A. Caffeine and endurance performance. **Sports Med**, v. 18, n. 2, p. 109-25, Aug 1994. ISSN 0112-1642 (Print)

TAYLOR, J. L. et al. Neural Contributions to Muscle Fatigue: From the Brain to the Muscle and Back Again. **Med Sci Sports Exerc**, v. 48, n. 11, p. 2294-2306, Nov 2016. ISSN 0195-9131.

TEMESI, J. et al. The relationship between oxygen uptake kinetics and neuromuscular fatigue in high-intensity cycling exercise. v. 117, n. 5, p. 969-978, May 2017. ISSN 1439-6319.

THOMAS, K. et al. Central and peripheral fatigue in male cyclists after 4-, 20-, and 40-km time trials. **Med Sci Sports Exerc**, v. 47, n. 3, p. 537-46, Mar 2015. ISSN 0195-9131.

VANHATALO, A. et al. The mechanistic bases of the power-time relationship: muscle metabolic responses and relationships to muscle fibre type. **J Physiol**, v. 594, n. 15, p. 4407-23, Aug 01 2016. ISSN 0022-3751.

VANHATALO, A.; DOUST, J. H.; BURNLEY, M. Determination of critical power using a 3-min all-out cycling test. **Med Sci Sports Exerc**, v. 39, n. 3, p. 548-55, Mar 2007. ISSN 0195-9131 (Print)

_____. A 3-min all-out cycling test is sensitive to a change in critical power. **Med Sci Sports Exerc**, v. 40, n. 9, p. 1693-9, Sep 2008. ISSN 0195-9131.

VANHATALO, A. et al. Influence of hyperoxia on muscle metabolic responses and the power-duration relationship during severe-intensity exercise in humans: a ³¹P magnetic resonance spectroscopy study. **Exp Physiol**, v. 95, n. 4, p. 528-40, Apr 2010. ISSN 0958-0670.

WALTON, C.; KALMAR, J.; CAFARELLI, E. Caffeine increases spinal excitability in humans. **Muscle Nerve**, v. 28, n. 3, p. 359-64, Sep 2003. ISSN 0148-639X (Print)

WALTON, C.; KALMAR, J. M.; CAFARELLI, E. Effect of caffeine on self-sustained firing in human motor units. **J Physiol**, v. 545, n. Pt 2, p. 671-9, Dec 01 2002. ISSN 0022-3751 (Print)

WILES, J. D. et al. Effect of caffeinated coffee on running speed, respiratory factors, blood lactate and perceived exertion during 1500-m treadmill running. **Br J Sports Med**, v. 26, n. 2, p. 116-20, Jun 1992. ISSN 0306-3674 (Print)

WILKES, D.; GLEDHILL, N.; SMYTH, R. Effect of acute induced metabolic alkalosis on 800-m racing time. **Med Sci Sports Exerc**, v. 15, n. 4, p. 277-80, 1983. ISSN 0195-9131 (Print)

APÊNDICE A – Detalhes da recuperação da W' durante o contrarrelogio de 4-km.

Supplementary Table. Detailed description of the distance points in which power output (PO) was reduced below critical power during a 4-km cycling time trial in both placebo (PLA) and caffeine (CAF) conditions.

	PLA	CAF
Participant 1	Distance: 1,173 to 1,274 m (PO: -7 W, 16 s); 2,207 to 2,537 m (PO: -7 W, 34 s); 2,838 to 3,259 m (PO: -4 W, 23 s).	Distance: 960 to 1,088 m (PO: -19 W, 19 s); 2,462 a 2,733 m (PO: -9 W, 20 s); 3,172 to 3,435 m (PO: -5 W, 38 s).
Participant 2	Distance: 9 to 228 m (PO: -19 W, 30 s); 3,129 to 3,222 m (PO: -6 W, 27 s); 3,454 to 3,620 (PO: -4 W, 16 s).	Distance: 2,100 to 2,577 m (PO: -5 W, 26 s); 2,642 to 2,806 m (PO: -6 W, 16 s); 2,898 to 3,027 m (PO: -6 W, 21 s).
Participant 3	Distance: 1,965 to 2,065 m (PO: -34 W, 11 s); 2,344 to 2,428 m (PO: -10 W, 30 s); 3,390 to 3,703 m (PO: -21 W, 36 s).	Distance: 823 to 1,039 m (PO: -10 W, 15 s); 1,516 to 1,587 m (-21 W, 18 s); 1,969 to 2,229 m (-20 W, 25 s); 2,890 to 3,120 m (-27 W, 23 s); 3,471 to 3,608 m (-22 W, 19 s); 3,895 to 4,000 m (-36 W, 22 s).
Participant 4	Distance: 955 to 1,370 m (PO: -34 W, 51 s); 2,113 to 2,209 m (PO: -9 W, 19 s); 3,168 to 3,224 m (PO: -13 W, 7 s); 3,700 to 3,783 m (PO: -13 W, 10 s); 3,850 to 3,950 m (PO: -11 W, 9 s).	

APÊNDICE B - Carta de anuência

Declaramos para os devidos fins, que aceitaremos o pesquisador Leandro José Camati Felipe, a desenvolver o seu projeto de pesquisa “Efeito da suplementação aguda da cafeína sobre a utilização da capacidade de trabalho anaeróbia e desenvolvimento da fadiga central e periférica em provas de ciclismo contrarrelógio de 4 km”, que está sob a coordenação/orientação do Prof. Adriano Eduardo Lima da Silva, cujo objetivo é investigar a influência da cafeína sobre o metabolismo anaeróbio e a fadiga central e periférica, durante o ciclismo contrarrelógio de 4 km, e será realizado no Centro Acadêmico de Vitória, Vitória do Santo Antão, Pernambuco. Esta autorização está condicionada ao cumprimento do pesquisador aos requisitos da Resolução 466/12 e suas complementares, comprometendo-se o mesmo a utilizar os dados pessoais dos sujeitos da pesquisa, exclusivamente para os fins científicos, mantendo o sigilo e garantindo a não utilização das informações em prejuízo das pessoas e/ou das comunidades.

Antes de iniciar a coleta de dados o/a pesquisador/a deverá apresentar a esta instituição o Parecer Consubstanciado devidamente aprovado, emitido por Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos, credenciado ao Sistema CEP/CONEP.

Vitória de Santo Antão, 9 de abril de 2015

José Eduardo Garcia
Vice-diretor do Centro Acadêmico de Vitória

APÊNDICE C - Termo de consentimento livre e esclarecido**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO**

Convido o (a) Sr.(a) para participar, como voluntário (a), do estudo (*“EFEITO DA SUPLEMENTAÇÃO AGUDA DE CAFEÍNA SOBRE A UTILIZAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRABALHO ANAERÓBIO E O DESENVOLVIMENTO DA FADIGA CENTRAL E PERIFÉRICA EM PROVA DE CICLISMO CONTRARRELÓGIO DE 4 KM”*), que está sob a responsabilidade do pesquisador Leandro José Camati Felipe, que se encontra no endereço Rua Carlos Pereira Carneiro, 146, ap 102, Maués, Vitória do Santo Antão, Pernambuco, cep: 55606-145. Telefone: 81 7913-4105 / 82 9191-0657 (inclusive ligações a cobrar). Essa pesquisa está sob orientação do professor Dr. Adriano Eduardo Lima da Silva (82 9615-6579 / email: limasilvae@hotmail.com).

Este Termo de Consentimento pode conter alguns tópicos que o/a senhor/a não entenda. Caso haja alguma dúvida, pergunte à pessoa a quem está lhe entrevistando, para que o/a senhor/a esteja bem esclarecido (a) sobre tudo que está respondendo. Após ser esclarecido (a) sobre as informações a seguir, caso aceite em fazer parte do estudo, rubrique as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma delas é sua e a outra é do pesquisador responsável. Em caso de recusa o (a) Sr. (a) não será penalizado (a) de forma alguma. Também garantimos que o (a) Senhor (a) tem o direito de retirar o consentimento da sua participação em qualquer fase da pesquisa, sem qualquer penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

Título do Projeto: **Efeito da suplementação aguda de cafeína sobre a utilização da capacidade de trabalho anaeróbio e o desenvolvimento da fadiga central e periférica em prova de ciclismo contrarrelógio de 4 km.**

Pesquisadores envolvidos: Leandro José Camati Felipe e Adriano Eduardo Lima da Silva

Telefones para contato: (81) 99954-1132

- Que o estudo se destina a entender a ação da cafeína sobre a capacidade de trabalho anaeróbia e a fadiga central e periférica.
- Que a importância deste estudo é investigar o efeito da cafeína sobre o metabolismo anaeróbio e o sua influência sobre a fadiga durante uma prova de ciclismo de 4 km. O metabolismo anaeróbio é de essencial importância nesse

tipo de prova, então qualquer suplemento que possa aumentá-lo, como por exemplo a suplementação com a cafeína, pode ser importante.

- Que esse estudo começará em Junho de 2015, com previsão de término para Fevereiro de 2016, mas eu estou ciente que a minha participação resume-se seis visitas ao laboratório
- Que o estudo será feito da seguinte maneira: Eu deverei visitar o laboratório de Fisiologia do Esforço do Centro Acadêmico de Vitória, CAV/UFPE, seis vezes. Na primeira visita, serei submetido a um teste no qual os pesquisadores aumentarão a intensidade do esforço a cada minutos até eu não conseguir mais pedalar ou pedir para interromper o teste. Este teste terá a duração de 30 minutos. Nas visitas 2, 3 e 4, realizarei a familiarização com a estimulação elétrica, força máxima, teste de pedal com carga constante e teste de 4 km. Nas sessões 5 e 6 realizarei os testes de 4 km pedalando após o consumo de cafeína ou placebo (celulose). Durante o período em que estiver sendo avaliado deverei manter a minha dieta habitual, mas nas últimas 24 horas que antecedem cada teste não deverei consumir bebidas alcoólicas, alimentos e bebidas que contenham cafeína e de qualquer suplemento nutricional. Além disso, consumirei um jejum padronizado por um nutricionista nos dias de testes. Eu fui informado que os testes poderão ser interrompidos por decisão dos pesquisadores ou caso eu me sinta cansado e indisposto.
- Que será realizado um exame de eletrocardiograma de repouso e durante o teste incremental, e após a análise de um profissional especializado, e se constatada qualquer anormalidade o indivíduo será excluído do estudo.
- Que haverá coleta de 10 mL de sangue venoso em repouso, 50 minutos após a suplementação, 1 minuto após o teste de 4 km pedalando. Assim, antes do início do protocolo, um cateter será fixado na minha veia do braço com infusão de salina estéril para evitar a coagulação e obstrução da passagem do sangue pelo cateter.
- Que os testes incremental, contrarrelógio e com carga constante até a exaustão, envolvem riscos de morte súbita por infarto do miocárdio, episódios vaso vagais, dor muscular e rigidez. No entanto, estes eventos são extremamente raros (< 0,1 %) e improvável quando os cuidados com a triagem e sintomas são tomadas antes e durante os testes. Além disso o Centro Acadêmico de Vitória possui um desfibrilador e uma equipe treinada para atuar em qualquer eventualidade.
- Que existem pequenos riscos quanto à realização da coleta de sangue, como hematomas e, em menor grau, infecções. Contudo, os pesquisadores irão adotar todos os procedimentos conhecidos para amenizar esses riscos, como a coleta de sangue por profissional habilitado com curso de flebotomia (Leandro José Camati Felipe), que diminui consideravelmente o risco de hematomas, e a utilização de materiais descartáveis, o que reduz o risco de infecção.

- Que o teste incremental e o contrarrelógio de 4 km pode me causar tonteira, ânsia de vômito e dores musculares um ou dois dias após os testes.
- Que a estimulação elétrica será no nervo femoral, e começará com intensidade de 100 V, com aumento de 30 V a cada 30 segundos, até que ocorra a estabilização do sinal, que geralmente ocorre entre 280 a 350 V. Nas sessões experimentais essa intensidade será aumentada em 20%.
- Que a estimulação elétrica pode deixar o local de estímulo momentaneamente dormente e vermelho.
- Que a ingestão de cafeína pode causar leve desconforto gastrointestinal, e efeitos colaterais, como: nervosismo, irritabilidade, náuseas, diarreia e insônia. Além dos sintomas citados, ainda poderei sentir uma sensação de 'alerta' que poderá ter duração em torno de 6 horas.
- Que não existem outros meios conhecidos para se obter os mesmos resultados.
- Que caso algo aconteça, Leandro José Camati Felipe e Adriano Eduardo Lima da Silva irão ligar para o SAMU e receberei assistência como qualquer cidadão brasileiro em hospital público.
- Que os benefícios que deverei esperar com a minha participação, mesmo que não diretamente são: eu terei acesso a qualquer resultado referente ao meu teste e que poderei, a qualquer momento, esclarecer minhas dúvidas com o pesquisador responsável.
- Que a minha participação será acompanhada do seguinte modo: O professor responsável irá realizar os meus testes e coletar o meu sangue (Leandro Camati é flebotomista) e um nutricionista irá padronizar meu jejum nos dias de teste.
- Que, sempre que desejar serão fornecidos esclarecimentos sobre cada uma das etapas do estudo.
- Que, a qualquer momento, eu poderei recusar a continuar participando do estudo e, também, que eu poderei retirar este meu consentimento, sem que isso me traga qualquer penalidade ou prejuízo.
- Que as informações conseguidas através da minha participação não permitirão a identificação da minha pessoa, exceto aos responsáveis pelo estudo, e que a divulgação das mencionadas informações só será feita entre os profissionais estudiosos do assunto.

As informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa (entrevistas, filmagens, etc),

ficarão armazenados no computador do Laboratório de Fisiologia do Esforço, sob a responsabilidade do pesquisador principal, no endereço acima informado, pelo período de no mínimo 5 anos.

O (a) senhor (a) não pagará nada para participar desta pesquisa. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação). Fica também garantida indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial.

Em caso de dúvida você pode procurar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE no endereço: (Avenida da Engenharia s/n – 1º Andar, Sala 4 - Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740- 600, Tel.: 2126.8588 – e-mail: cepccs@ufpe.br).

Nome e Assinatura do pesquisador

Leandro José Camati Felipe

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO

Eu, _____,
 RG: _____, CPF: _____, abaixo assinado, após a leitura deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com o pesquisador responsável, concordo em participar do estudo “Efeito da suplementação aguda de cafeína sobre a utilização da capacidade de trabalho anaeróbico e o desenvolvimento da fadiga central e periférica em prova de ciclismo contrarrelógio de 4 km” – como sujeito. Fui devidamente informado e esclarecido pelo pesquisador Leandro José Camati Felipe sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade ou interrupção de meu acompanhamento/ assistência/tratamento.

Local e data _____

Nome e Assinatura do participante: _____

Presenciamos a solicitação de consentimento, esclarecimentos sobre a pesquisa e aceite do sujeito em participar.

02 testemunhas (não ligadas à equipe de pesquisadores):

Nome: _____

Assinatura:

Nome: _____

Assinatura:

APÊNDICE D – Lista de alimentos e bebidas que contêm cafeína

Por favor, preencha o questionário abaixo a respeito de seu uso frequente de cafeína. Indique o número de vezes que você consome os seguintes produtos durante uma semana. Forneça um valor aproximado de acordo com as porções estipuladas para cada grupo de alimentos\produtos.

<p>CAFÉ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Em pó • Orgânico • Espresso • Instantâneo • Descafeinado • Extra-Forte • Capuccino 	<p>REFRIGERANTES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coca Cola • Coca Cola Zero • Guaraná Antarctica • Guaraná Zero • Pepsi Cola • Diet Pepsi • Guaraná Black
<p>CHÁ (Porções 147ml / semana)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Chá verde • Chá preto • Chá Mate 	<p>DROGAS (comprimidos / semana)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Excedrin • Torsilax • Sedalgina • Neosaldina • Tandrilax • Benegrip • Coristina D • Engov • Tylenol
<p>CACAU (Porções 147ml / semana)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Industrializado • Cacau 50% • Cacau 70% • Cacau 80% 	<p>CHOCOLATE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Chocolate Amargo • Chocolate ao Leite • Chocolate branco
<p>BEBIDAS ENERGÉTICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Redbull • Burn • Flying Horse • Monster Energy Drink • TNT 	

"O uso de cafeína e sua relação com a personalidade," os estudantes universitários por RE Landrum, 1992, Cotlely Estudante formal, 26. p.1S2

ANEXO A – Questionário para excluir indivíduos com riscos cardiovasculares.**NOME:**.....**PAR-Q**

A prática regular da atividade física é prazerosa e saudável. A cada dia que passa, torna-se maior o número de pessoas que se tornam, fisicamente mais ativas. Tornar-se fisicamente mais ativo é seguro para a grande maioria das pessoas, entretanto, algumas pessoas necessitam de exames médicos antes de submeter-se a esforço físico maior do que aquele ao qual está acostumado. Dessa forma, se você está planejando tornar-se, fisicamente, mais ativo do que é hoje, comece por responder as sete questões abaixo.

Se você tem idade entre 15 e 69 anos, este questionário (PAR-Q) lhe dirá da necessidade de se submeter a uma consulta médica antes de se engajar em um programa de atividade física. Se você tem mais de 69 anos de idade e não é acostumado a fazer atividades físicas procure seu médico antes de iniciar.

O bom senso é o seu melhor guia quando você for responder estas questões. Por favor, leia com atenção cada uma das questões e responda honestamente a cada uma delas, preenchendo com um "X" a lacuna do SIM ou do NÃO.

1. Alguma vez um médico lhe disse que você possui um problema de coração e recomendou que só fizesse atividade física sob supervisão médica?

SIM NÃO

2. Você sente dor no peito quando pratica atividade física?

SIM NÃO

3. Você sentiu dor no peito, sem fazer esforço, no último mês?

SIM NÃO

4. Você tende a perder a consciência ou cair, como resultado de tonteira?

SIM NÃO

5. Você tem algum problema ósseo, muscular ou articular que poderia ser agravado com a prática de atividade física?

SIM NÃO

6. Algum médico já recomendou o uso de medicamentos para a sua pressão arterial ou condição cardiovascular (ex: diuréticos ou outros)?

SIM NÃO

7. Você tem consciência, através da sua própria experiência ou aconselhamento médico, de alguma outra razão física que impeça lhe impeça de praticar atividade física sem supervisão médica?

SIM NÃO

Se você respondeu afirmativamente a uma ou mais questões acima, entre em contato com seu médico antes de iniciar a se tornar mais ativo fisicamente. Fale com seu médico do PAR-Q e de qual questões você respondeu afirmativamente. As seguintes situações poderão ocorrer:

Observações:

- 1. Este questionário só deve ser aplicado para aqueles com idades compreendidas entre 15 e 69 anos.**
- 2. Se você está temporariamente doente, como por exemplo: gripado ou com febre, ou não está se sentindo bem neste momento, você deve adiar o início da prática da atividade física.**
- 3. Se você é mulher e está grávida, aconselha-se a discutir o uso do "PAR-Q" com seu médico, antes de iniciar um programa de exercícios.**
- 4. Se houver alguma mudança em seu estado, relativo às questões acima, por favor, traga esta informação ao conhecimento do seu professor/treinador.**

ANEXO B - Escala de Percepção subjetiva de esforço (PSE)

Para monitorar a intensidade do exercício, qual é a sua percepção de esforço realizado?

6	-
7	muito fácil
8	-
9	fácil
10	-
11	relativamente fácil
12	-
13	ligeiramente cansativo
14	-
15	cansativo
16	-
17	muito cansativo
18	-
19	exaustivo
20	-

ANEXO C - Parecer consubstanciado do comitê de ética

<p style="color: green; font-weight: bold; margin: 0;">Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Serres Humanos</p>		<p style="font-weight: bold; margin: 0;">UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE / UFPE-</p>	
--	--	---	--

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: EFEITO DA SUPLEMENTAÇÃO AGUDA DE CAFEÍNA SOBRE A UTILIZAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRABALHO ANAERÓBIO E O DESENVOLVIMENTO DA FADIGA CENTRAL E PERIFÉRICA EM PROVA DE CICLISMO CONTRARRELÓGIO DE 4 KM

Pesquisador: Leandro José Camati Felipe

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 45099715.3.0000.5208

Instituição Proponente: CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.135.102

Data da Relatoria: 27/07/2015

Apresentação do Projeto:

Trata-se de projeto de pesquisa apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Nutrição do Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para ingresso no programa. Supõe-se que seja doutorado (não foi informado) pois o pesquisador é atualmente mestrando em outro programa de pós-graduação. Orientador: Profº Drº Adriano Eduardo Lima da Silva Núcleo de Educação Física e Ciências do Esporte (CAV) Universidade Federal de Pernambuco.

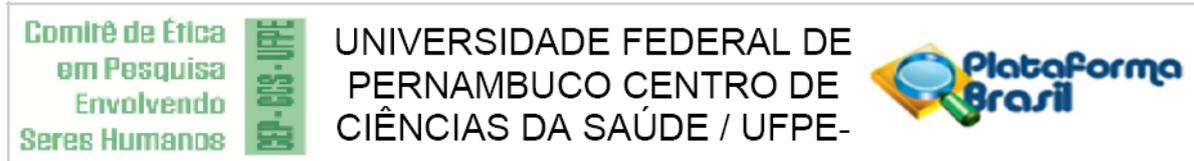
Objetivo da Pesquisa:

Hipótese: A hipótese do presente estudo é de que a capacidade de trabalho aeróbica (CTA) não seja totalmente utilizada em teste de ciclismo contrarrelógio de 4 km e que o consumo da cafeína permitirá um maior acesso ou o esgotamento dessa reserva.

Objetivo Primário:

- 1) Verificar se a CTA é totalmente utilizada em teste de ciclismo contrarrelógio de 4 km,
- 2) Analisar o efeito da suplementação de cafeína sobre a utilização da CTA em teste de ciclismo contrarrelógio de 4 km,
- 3) Verificar se o uso da cafeína e o possível aumento na utilização da CTA gera consequências

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS	
Bairro: Cidade Universitária	CEP: 50.740-600
UF: PE	Município: RECIFE
Telefone: (81)2126-8588	E-mail: cepccs@ufpe.br



Continuação do Parecer: 1.135.102

sobre a taxa de desenvolvimento de fadiga central e periférica, bem como, de marcadores sanguíneos de fadiga e metabolismo anaeróbico como pH, lactato e amônia.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Os pesquisadores realização testes submáximos e os contrarrelógios, os atletas podem sentir tonteira e cansaço ao término. Além disso, os teste incremental, contrarrelógio e com carga constante até a exaustão, envolvem riscos de morte súbita por infarto do miocárdio, episódios vaso vagais, dor muscular e rigidez. No entanto, estes eventos são extremamente raros (< 0,1 %) e improvável quando os cuidados com a triagem e sintomas são tomadas antes e durante os testes. Além disso o Centro Acadêmico de Vitória possui um desfibrilador e uma equipe treinada para atuar em qualquer eventualidade. Para diminuir o risco de algum mal súbito todos os participantes farão um eletrocardiograma de repouso e durante o teste incremental, e constatada qualquer anormalidade o sujeito será excluído do estudo. A estimulação elétrica não oferece nenhum risco, apenas um leve desconforto e dormência no local de estímulo.

No entanto, caso algo acontece o pesquisador responsável irá ligar para o SAMU, e o participante será levado para um hospital público para receber assistência média.

Benefícios: os participantes receberão os resultados de seus exames, e os resultados da pesquisa são importantes para o progresso científico no campo.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A pesquisa tem temática relevante e será conduzida por equipe experiente no assunto.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O TCLE descreve todos os riscos. Todos os documentos exigidos foram apresentados.

Recomendações:

Não há.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

O projeto está em condições de ser realizado.

Situação do Parecer:

Aprovado

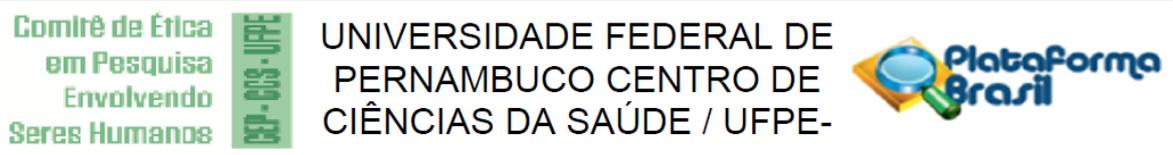
Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Considerações Finais a critério do CEP:

As exigências foram atendidas e o protocolo está APROVADO, sendo liberado para o início da

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600
UF: PE **Município:** RECIFE
Telefone: (81)2126-8588 **E-mail:** cepccs@ufpe.br



Continuação do Parecer: 1.135.102

coleta de dados. Informamos que a APROVAÇÃO DEFINITIVA do projeto só será dada após o envio do Relatório Final da pesquisa. O pesquisador deverá fazer o download do modelo de Relatório Final para enviá-lo via "Notificação", pela Plataforma Brasil. Siga as instruções do link "Para enviar Relatório Final", disponível no site do CEP/CCS/UFPE. Após apreciação desse relatório, o CEP emitirá novo Parecer Consubstanciado definitivo pelo sistema Plataforma Brasil.

Informamos, ainda, que o (a) pesquisador (a) deve desenvolver a pesquisa conforme delineada neste protocolo aprovado, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao voluntário participante (item V.3., da Resolução CNS/MS Nº 466/12).

Eventuais modificações nesta pesquisa devem ser solicitadas através de EMENDA ao projeto, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas.

Para projetos com mais de um ano de execução, é obrigatório que o pesquisador responsável pelo Protocolo de Pesquisa apresente a este Comitê de Ética relatórios parciais das atividades desenvolvidas no período de 12 meses a contar da data de sua aprovação (item X.1.3.b., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). O CEP/CCS/UFPE deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (item V.5., da Resolução CNS/MS Nº 466/12). É papel do/a pesquisador/a assegurar todas as medidas imediatas e adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e ainda, enviar notificação à ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária, junto com seu posicionamento.

RECIFE, 02 de Julho de 2015

Assinado por:
LUCIANO TAVARES MONTENEGRO
 (Coordenador)

Endereço: Av. da Engenharia s/nº - 1º andar, sala 4, Prédio do CCS
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 50.740-600
UF: PE **Município:** RECIFE
Telefone: (81)2126-8588 **E-mail:** cepccs@ufpe.br

ANEXO D – Comprovante de submissão do artigo

De: jappl@msubmit.net <jappl@msubmit.net>
Enviado: terça-feira, 10 de outubro de 2017 14:59
Para: aesilva@utfpr.edu.br
Cc: limasilvae@hotmail.com
Assunto: JAPPL-00930-2017 Manuscript Received

Dear Prof. Lima-Silva:

On 10th Oct 2017, the manuscript record, JAPPL-00930-2017, a Research Article, entitled "Caffeine increases both total work performed above critical power and peripheral fatigue during a 4-km cycling time trial" by Leandro Felipe, Guilherme Ferreira, Sara Learsi, Daniel Boari, Rômulo Bertuzzi, and Adriano Lima-Silva has been sent to the Editor-in Chief for assignment.

If any author has not seen this work, or was not aware of the submission, please contact Iliana Torres in the APS office, itorres@the-aps.org.

Thank you for submitting to the journal.

Sincerely,

Editorial Staff

Confidentiality Notice: This e-mail message, including any attachments, is for the sole use of the intended recipient(s) and may contain confidential and privileged information. Any unauthorized review, copy, use, disclosure, or distribution is prohibited. If you are not the intended recipient, please contact the sender by reply e-mail and destroy all copies of the original message.

ANEXO E – Autorização de reprodução de material



RightsLink®

Home

Create Account

Help



Title: Power–duration relationship: Physiology, fatigue, and the limits of human performance

Author: Mark Burnley, Andrew M. Jones

Publication: European Journal of Sport Science

Publisher: Taylor & Francis

Date: Nov 3, 2016

Rights managed by Taylor & Francis

LOGIN

If you're a **copyright.com user**, you can login to RightsLink using your copyright.com credentials. Already a **RightsLink user** or want to [learn more?](#)

Thesis/Dissertation Reuse Request

Taylor & Francis is pleased to offer reuses of its content for a thesis or dissertation free of charge contingent on resubmission of permission request if work is published.

BACK

CLOSE WINDOW

Copyright © 2017 [Copyright Clearance Center, Inc.](#) All Rights Reserved. [Privacy statement](#). [Terms and Conditions](#). Comments? We would like to hear from you. E-mail us at customer care@copyright.com