



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DE VITÓRIA
CURSO DE EDUCAÇÃO FÍSICA BACHARELADO**

WILLAMS ERNANDES DA SILVA

**EFEITOS DA ACIDOSE METABÓLICA SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA
FADIGA CENTRAL E PERIFÉRICA DURANTE O EXERCÍCIO DE ALTA
INTENSIDADE**

**VITÓRIA DE SANTO ANTÃO-PE
2019**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DE VITÓRIA DE SANTO ANTÃO
CURSO DE EDUCAÇÃO FÍSICA BACHARELADO
NÚCLEO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E CIÊNCIAS DO ESPORTE

WILLAMS ERNANDES DA SILVA

**EFEITOS DA ACIDOSE METABÓLICA SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA
FADIGA CENTRAL E PERIFÉRICA DURANTE O EXERCÍCIO DE ALTA
INTENSIDADE**

TCC apresentado ao Curso de Educação Física Bacharelado da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Vitória, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Educação Física.

Orientadora: Carol Virginia Gois Leandro
Coorientador: Marcos David da Silva Cavalcante

VITÓRIA DE SANTO ANTÃO-PE

2019

Catálogo na fonte
Sistema de Bibliotecas da UFPE - Biblioteca Setorial do CAV.
Bibliotecária Jaciane Freire Santana, CRB-4/2018

S586E Silva, Willams Ernandes da
Efeitos da acidose metabólica sobre o desenvolvimento da fadiga central e periférica durante o exercício de alta intensidade/ Willams Ernandes da Silva - Vitória de Santo Antão, 2019.
23 folhas; il.

Orientadora: Carol Virginia Gois Leandro.
Coorientador: Marcos David da Silva Cavalcante.
TCC (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, CAV,
Bacharelado em Educação Física, 2019.
Inclui referências.

1. Cetose. 2. Fisiologia do exercício. 3. Treinamento físico. I. Leandro, Carol Virginia Gois (Orientadora). II. Cavalcante, Marcos David da Silva (Coorientador). III. Título.

612.044 CDD (23. ed.)

BIBCAV/UFPE-251/2019

WILLAMS ERNANDES DA SILVA

**EFEITOS DA ACIDOSE METABÓLICA SOBRE O DESENVOLVIMENTO DA
FADIGA CENTRAL E PERIFÉRICA DURANTE O EXERCÍCIO DE ALTA
INTENSIDADE**

TCC apresentado ao Curso de Educação Física Bacharelado da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Vitória, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Educação Física.

Aprovado em: 04/12/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Dr. Ary Gomes Filho
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr. Leandro José Camati Felipe
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Esp. Isael João de Lima
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me fazer uma pessoa confiante e determinada e também a minha família, especialmente ao meu pai Ernandes Severino da Silva e a minha mãe Edna agostinho da Silva por todo apoio e incentivo.

À minha namorada Vivian Silvani de Arruda Passos pela força do início ao fim nessa etapa tão importante da minha vida.

Ao meu amigo e irmão Isael João de Lima por sua camaradagem, humildade, simplicidade e outras infinitas mais qualidades. Um rapaz nota 1000.

Aos meus amigos pelos momentos de descontração e também pela importantíssima contribuição durante essa jornada.

Ao apoio de todos os professores durante a graduação que se dedicaram a esclarecer minhas dúvidas e que de certa forma ajudaram para que eu evoluísse quanto ser humano.

À FACEPE pelo financiamento durante toda a jornada de trabalho.

Quero agradecer ainda a grande equipe do laboratório de fisiologia do esforço, em especial, a minha orientadora Prof^a Dr. Carol Virginia Gois Leandro e meu coorientador Prof^o Dr. Marcos David da Silva Cavalcante. Obrigado por me aturarem e, sobretudo, por acreditarem em min. Vocês foram fundamentais durante todo processo. Aos mestres e doutores Guilherme Assunção Ferreira e Leandro José Camati Felipe, o meu muito obrigado por estarem sempre à disposição para qualquer tipo de questionamento e pelo banho de conhecimento diário.

Quero agradecer a Universidade Federal de Pernambuco pelo ótimo curso, por nos proporcionar um ambiente agradável para os estudos com ótimos professores e pelos projetos de extensão fazendo com que nossa formação seja mais enriquecida. Por fim, agradeço de coração não só o pessoal da limpeza e manutenção, mas ainda todos aqueles que colaboram para uma instituição de qualidade e respeito.

RESUMO

Esse estudo analisou os efeitos da acidose metabólica sobre o desenvolvimento da fadiga central e periférica durante o exercício de alta intensidade. Nove homens fisicamente ativos realizaram três testes em cicloergometro até a exaustão com carga constante correspondente ao $\dot{V}O_2\text{max}$ ($260,6 \pm 46,5$ watts). Os dois primeiros testes foram realizados após a ingestão de cloreto de amônio (CLO) ou carbonato de cálcio (Placebo-PLA). O terceiro teste foi realizado com a ingestão de carbonato de cálcio, mas com a mesma duração da condição CLO (ISO). Foram analisados o pH sanguíneo, lactato plasmático e função neuromuscular antes (repouso) e 100 min (Pré) após a ingestão das cápsulas e após o exercício (Pós). Como esperado, houve uma diminuição ($p < 0,05$) do pH sanguíneo no momento Pré comparado ao repouso na condição CLO. O desempenho foi significativamente ($p < 0,05$) reduzido em CLO ($210,8 \pm 61,3$ seg) quando comparado com PLA ($255,2 \pm 69,5$ seg). O pH sanguíneo foi significativamente ($p < 0,05$) reduzido em Pós comparado com repouso e Pré em todas condições. Porém, a redução do pH sanguíneo no momento Pós foi maior ($p < 0,05$) em CLO comparado com PLA e ISO. Já as concentrações de lactato plasmático foram significativamente ($p < 0,05$) maiores em todas as condições no momento Pós comparado com repouso, mas com menores valores em CLO em comparação com ISO e PLA. A ativação voluntária não foi modificada ($p > 0,05$) após o exercício. A CVM e Q_{tw}100 foram significativamente ($p < 0,05$) reduzidas após o exercício, mas sem diferenças ($p > 0,05$) entre as condições. Porém, houve maior redução ($p > 0,05$) na Q_{tw}10 na condição CLO comparado com ISO e na Q_{tw}1 comparado com PLA e ISO. A redução no desempenho durante exercício de alta intensidade causada pela acidose é acompanhada por modificações nos parâmetros associados a fadiga periférica.

Palavras-chave: Acidose metabólica. Cloreto de amônio..Desempenho. Estimulação elétrica. Fadiga.

ABSTRACT

This study analyzed the effects of metabolic acidosis on the development of central and peripheral fatigue during high intensity exercise. Nine physically active men underwent three tests in the cycle ergometer to exhaustion with constant load corresponding to $\dot{V}O_{2\max}$ (260.6 ± 46.5 watts), the first and second after ingestion of ammonium chloride (CLO) or calcium carbonate. (Placebo-PLA) and the third with (PLA) ingestion, but with the same duration as the CLO (ISO) condition. Blood pH, lactate and neuromuscular function were analyzed before (rest) and 100 min (Pre) after capsule ingestion and after exercise (Post). As expected, there was a decrease ($p < 0.05$) in blood pH at Pre compared to resting in the CLO condition. Blood pH was significantly ($p < 0.05$) reduced in Post compared with rest and Pre in all conditions. However, the reduction in blood pH at Post was greater ($p < 0.05$) in CLO compared with PLA and ISO. Lactate concentrations were significantly ($p < 0.05$) higher under all conditions at Post time compared to rest, but with lower values in CLO compared to ISO and PLA. Performance was significantly ($p < 0.05$) reduced in CLO (210.8 ± 61.3 sec) when compared to PLA (255.2 ± 69.5 sec). Unmodified voluntary activation ($p > 0.05$) after exercise. CVM and Qtw100 were significantly ($p < 0.05$) reduced after exercise, but without differences ($p > 0.05$) between conditions. However, there was a greater reduction ($p > 0.05$) in Qtw10 in the CLO condition compared to ISO and in Qtw1 compared with PLA and ISO. The reduction in performance during high intensity exercise caused by acidosis is accompanied by changes in the parameters associated with peripheral fatigue.

Keywords: Metabolic acidosis. Ammonium chloride. Performance. Electrical stimulation. Fatigue.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 7 |
| 2 OBJETIVOS | 9 |
| 2.1 Objetivo Geral | 9 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 9 |
| 3 METODOLOGIA | 10 |
| 3.1 Amostra..... | 10 |
| 3.2 Desenho experimental | 10 |
| 3.3 Avaliação antropométrica..... | 11 |
| 3.4 Teste incremental máximo | 11 |
| 3.5 Ingestão de cloreto de amônio e carbonato de cálcio | 11 |
| 3.6 Avaliação neuromuscular | 12 |
| 3.7 Coleta e análises sanguíneas de lactato e ph..... | 12 |
| 3.8 Questionário de desconforto gastrointestinal | 13 |
| 3.9 Análise dos dados..... | 13 |
| 4 RESULTADOS | 14 |
| 5 DISCUSSÃO | 18 |
| 6 CONCLUSÃO | 21 |
| REFERÊNCIAS | 22 |

1 INTRODUÇÃO

A fadiga é definida como uma redução momentânea na força muscular induzida pelo exercício. Por sua vez, a fadiga pode ter origem tanto periférica pelo acúmulo de metabólitos intramusculares e redução das reservas energéticas, quanto central pela diminuição dos impulsos nervosos gerados pelo sistema nervoso central (SNC) para as unidades motoras ativas (GANDEVIA, 2001).

Diferentes fatores têm sido apontados como limitantes do desempenho durante o exercício de alta intensidade. Dentre esses fatores, a acidose metabólica tem recebido atenção de pesquisadores (CORREIA-OLIVEIRA et al., 2017). Estudos recentes têm manipulado o pH sanguíneo através da ingestão de bicarbonato de sódio e/ou cloreto de amônio para verificar os efeitos da alcalose e acidose metabólica, respectivamente, sobre o desempenho durante o exercício de alta intensidade (CORREIA-OLIVEIRA et al., 2017). Enquanto a ingestão aguda de bicarbonato de sódio promove uma melhora no desempenho durante exercício de alta intensidade, o cloreto de amônio demonstra um efeito contrário. De fato, no estudo de Marriott, Krstrup e Mohr., (2015) foi demonstrado que a ingestão de bicarbonato de sódio provocou uma melhora de 23% no desempenho no teste Yo-Yo IR2 após exercício do braço em comparação com placebo. Em contrapartida, Sutton, e Jones e Toews., (1981) demonstraram que a acidose metabólica induzida pela ingestão de cloreto de amônio diminuiu o desempenho em uma intensidade de 95% do $\dot{V}O_2\text{max}$. Em conjunto, esses estudos demonstram que o pH sanguíneo tem um importante papel sobre o desempenho em exercício de alta intensidade.

Os principais mecanismos envolvidos na redução do desempenho induzida pela acidose metabólica têm sido relacionados a alterações de metabólitos intramusculares. Tem sido sugerido que a diminuição do desempenho após a ingestão de cloreto de amônio ocorre pelo fato dessa substância induzir uma redução no pH intramuscular e na atividade das enzimas glicolíticas como a glicogênio fosforilase e fosfofrutoquinase (CORREIA-OLIVEIRA et al., 2017). Churchward-Venne, Kowalchuk e Marsh (2010) demonstraram que a ingestão de cloreto de amônio promoveu maior acúmulo de metabólitos intramusculares associados com a fadiga periférica (íons de hidrogênio $[H^+]$, fosfato $[Pi]$ e adenosina difosfato $[ADP]$). Esses resultados foram

acompanhados por maior redução da força durante o exercício de flexão plantar com a ingestão de cloreto de amônio comparado à condição placebo. Por outro lado, o acúmulo de metabólitos intramusculares também pode causar modificações no SNC através da ativação dos nervos aferentes III e IV (GANDEVIA., 2001). Rotto e Kaufman., (1988) observaram que o ácido láctico foi um potente estímulo para ativação dos nervos aferentes musculares dos grupos III e IV de gatos, estimulando 36 dos 52 aferentes testados. Além do ácido láctico, tem sido observado que outros metabólitos como H^+ , lactato e ADP também aumentam a atividade dos nervos aferentes (POLLAK et al., 2014). Dessa forma, a redução no desempenho induzida pela acidose metabólica causada pela ingestão de cloreto de amônio poderia ser causada tanto por alterações periféricas como por modulações no SNC.

No entanto, em um estudo conduzido por Jacobs, Hermiston e Symons., (1993) foi proposto que a redução no desempenho após a ingestão de cloreto de amônio seria apenas devido a um maior grau de fadiga periférica sem alteração do desenvolvimento da fadiga central. Porém, esses autores não avaliaram o grau de fadiga central e periférica utilizando os métodos adequados como a estimulação elétrica do nervo femoral. Sendo assim, até o presente momento, nenhum estudo avaliou os efeitos da ingestão de cloreto de amônio sobre os componentes centrais e periféricos da fadiga neuromuscular durante o exercício de alta intensidade. Portanto, embora os efeitos da acidose metabólica sobre o desempenho durante o exercício de alta intensidade tenham sido amplamente estudados, os seus efeitos sobre a fadiga neuromuscular restam ser elucidados. A nossa hipótese é que acidose metabólica induzida pela ingestão de cloreto de amônio promoverá maior grau de fadiga central e periférica após a realização de um exercício de alta intensidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar os efeitos da acidose metabólica sobre o desenvolvimento da fadiga neuromuscular durante o exercício de alta intensidade.

2.2 Objetivos Específicos

- Verificar o efeito da ingestão de cloreto de amônio sobre o pH sanguíneo.
- Analisar o efeito da ingestão de cloreto de amônio sobre as concentrações de lactato após o exercício de alta intensidade.
- Verificar o efeito da ingestão de cloreto de amônio sobre o desempenho durante o exercício de alta intensidade.
- Analisar o efeito da ingestão de cloreto de amônio sobre o nível de fadiga central após o exercício de alta intensidade.
- Avaliar o efeito da ingestão de cloreto de amônio sobre o grau de fadiga periférica após o exercício de alta intensidade.

3 METODOLOGIA

3.1 Amostra

Amostra foi composta por nove voluntários homens fisicamente ativos, com idade entre 18 e 35 anos (Idade: $25 \pm 3,6$ anos, peso: 78 ± 11 kg, estatura 174 ± 5 cm, consumo máximo de oxigênio [$\dot{V}O_2\text{max}$]: 38 ± 7 ml/kg/min). Antes de iniciar o estudo, todos os participantes foram informados sobre os possíveis riscos e benefícios, responderam a um questionário para excluir indivíduos com riscos cardiovasculares (PAR-q) e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Este estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal de Pernambuco UFPE (Nº do Parecer: 2.720.595).

3.2 Desenho experimental

Cada participante compareceu ao laboratório em quatro ocasiões. Na primeira visita foi coletado os dados antropométricos e realizado um teste incremental máximo para determinar o $\dot{V}O_2\text{max}$. Durante a segunda e terceira visita, os participantes realizaram, em ordem cruzada, um teste em cicloergômetro até a exaustão em uma intensidade correspondente ao $\dot{V}O_2\text{max}$ ($260,6 \pm 46,5$ watts) após a ingestão de cloreto de amônio (CLO) ou carbonato de cálcio (placebo - PLA). Por fim, um novo teste foi realizado após ingestão de placebo, porém com a mesma duração da condição CLO (ISO). Antes (repouso), 100 min após a ingestão das substâncias (Pré) e após os testes de cargas constantes (Pós) foram realizadas avaliações da função neuromuscular e coletas de amostras sanguíneas da veia do antecubital para determinação das concentrações de lactato plasmático [La] e pH sanguíneo. Os testes experimentais foram conduzidos com 72 horas de intervalo entre eles e realizados no mesmo horário do dia para evitar influência do ciclo circadiano. Antes do primeiro teste experimental, cada participante recebeu um registro alimentar, onde eles anotaram os alimentos consumidos nas 48 horas antecedentes ao teste, e depois replicaram nas próximas sessões

experimentais. Os participantes também foram orientados a não consumirem bebidas alcoólicas, alimentos que contenham cafeína e a não realizarem exercícios vigorosos 24 horas antes dos testes experimentais.

3.3 Avaliação antropométrica

Foram realizados testes antropométricos para determinação da massa corporal, estatura e percentual de gordura. A densidade corporal foi determinada utilizando as dobras cutâneas do peitoral, axilar média, abdômen, suprailíaca, subscapular, tríceps e coxa como proposto por (JACKSON e POLLOCK, 1978). Em seguida o percentual de gordura foi estimado através da equação proposta por (SIRI., 1961).

3.4 Teste incremental máximo

O teste incremental máximo foi realizado em um cicloergômetro (ErgoFit, Pirmasens, Germany), onde os participantes inicialmente realizaram um aquecimento de cinco minutos com carga de 15 watts, seguido por um aumento de 20 watts a cada um minuto. Durante o teste, os participantes foram orientados a manter uma rotação do pedal entre 70 e 80 rpm, e a exaustão foi identificada quando a rotação do pedal ficou abaixo de 70 rpm por mais que 5 segundos ou quando o participante interrompeu o exercício. Antes de cada teste, os sensores de fração de O₂ e CO₂ expirado foram calibrados usando um cilindro com uma concentração conhecida de O₂ (12%) e CO₂ (5%). O volume de ar expirado foi calibrado utilizando uma seringa contendo três litros de ar. O $\dot{V}O_2$ max foi determinado como a maior média de $\dot{V}O_2$ no período de 20s.

3.5 Ingestão de cloreto de amônio e carbonato de cálcio

Uma dose de 0,15 g·Kg⁻¹ de massa corporal de cloreto de amônio ou uma dose de 0,15 g·Kg⁻¹ de massa corporal de carbonato de cálcio foi administrada em dose única 100 minutos antes do teste. Todas as substâncias foram

oferecidas em cápsulas gelatinosas insípidas, de mesmo tamanho, forma, coloração, e quantidade para garantir o vendamento das condições.

3.6 Avaliação neuromuscular

A força dos músculos do quadríceps da perna direita, com o joelho em um ângulo de 90° (com a extensão total sendo considerada 0°), com o quadril em 130°, foi mensurada através de uma célula de carga (EMGsystem, São José dos Campos, Brasil) acoplada a uma cadeira extensora. Os participantes foram orientados a realizar o máximo de força durante 5 segundos. Durante e após as CVMs foram aplicados estímulos elétricos (Neuro-TES, Neurosoft, Ivanovo, Rússia) através de estímulos percutâneos sobre o nervo femoral, por um eletrodo cátodo posicionado no triangulo femoral. O primeiro estímulo foi duplo com uma frequência de 100 Hz e aplicado durante a CVM, assim que o participante atingiu o platô na força. Em seguida, a cada dois segundos após a CVM, com o músculo relaxado, mais três estímulos foram aplicados, sendo dois duplos com frequência de 100 Hz (Qtw100) e 10 (Qtw10), e um simples com frequência de 1 Hz (Qtw1). Através desses parâmetros foi possível a mensuração de indicativos de fadiga global (CVM), fadiga periférica de baixa (Qtw10) e alta frequência (Qtw100). A intensidade de estímulo foi previamente ajustada individualmente para os participantes através de um protocolo que iniciou com um estímulo simples (1 Hz) em 100 V seguido pelo incremento de 30 V a cada 30 segundos até a ocorrência de um platô na força produzida pelos músculos do quadríceps.

A ativação voluntária foi usada para avaliar a capacidade do sistema nervoso no recrutamento muscular. A ativação voluntária foi estimada pela amplitude do aumento da força induzida pelo estímulo durante a CVM, dividido pela Qtw100 como previamente proposto (STROJNIK e FITNESS, 1998). A redução da ativação voluntária tem sido utilizada com um indicativo de fadiga central (STROJNIK; FITNESS, 1998).

3.7 Coleta e análises sanguíneas de lactato e pH

Foi coletada uma amostra de 10 ml de sangue venoso da veia antecubital. Após a coleta, parte da amostra (~3 ml) foi armazenada em tubos contendo EDTA e em seguida foi centrifugada a 4000 (rpm) durante 10 minutos para separação do plasma (Heittich Mikro 220R). As concentrações plasmáticas de lactato foram analisadas por meio de espectrofotometria (Thermo Scientific, Genesys 10S UV-VIS), utilizando kit específico (Biotecnica, MG, Brasil). Além disso, ~7 ml de sangue venoso foram utilizados para análise do pH sanguíneo que foi medido através de um pHmetro portátil (Hanna) imediatamente após de coletado.

3.8 Questionário de desconforto gastrointestinal

Foi aplicado um questionário de desconforto gastrointestinal antes e 100 minutos após da ingestão do cloreto de amônio. O questionário foi previamente validado e é composto por 15 perguntas relacionadas aos possíveis efeitos colaterais decorrentes da ingestão das substâncias, com um score que varia entre 1 (nenhum desconforto) e 10 (desconforto insuportável). Scores iguais ou superiores a 5 pontos são considerados sintomas graves (JEUKENDRUP *et al.*, 2000).

3.9 Análise dos dados

A distribuição dos dados foi avaliada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Uma vez constatada a distribuição normal, a ANOVA de dois caminhos (condição x tempo) foi utilizada para comparação das variáveis entre as condições. Em caso de efeito principal, as diferenças foram localizadas através da aplicação do teste post hoc de Bonferroni. Quando apropriado, o teste t para comparações pareadas foi aplicado. Todos os dados são apresentados como média e desvio padrão. Foi adotado um nível de significância de $P < 0,05$. Todas as análises foram realizadas através do software Statistica 10.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA).

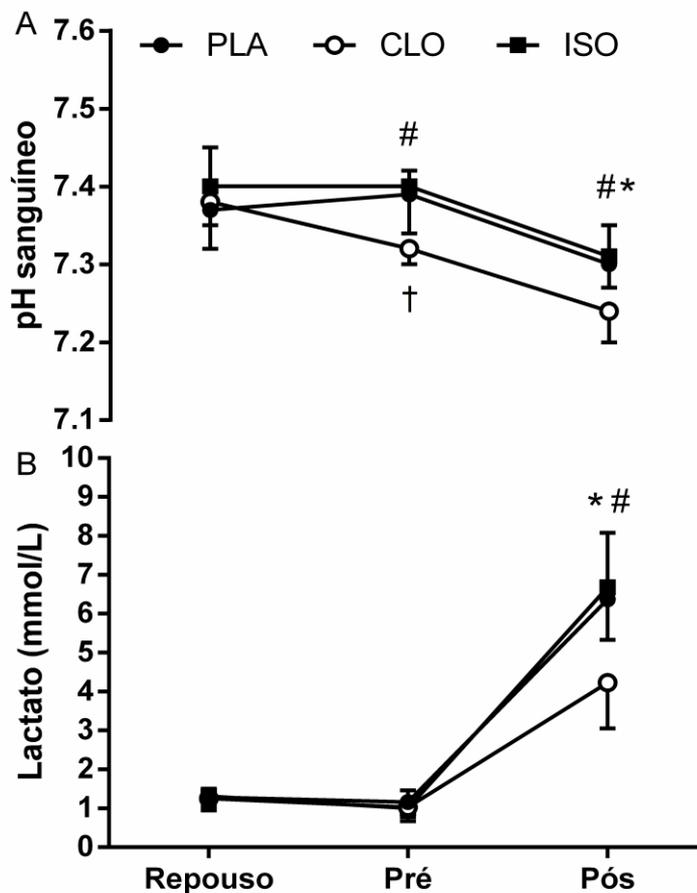
4 RESULTADOS

Nove participantes foram recrutados, porém 2 vomitaram, culminando nas suas saídas. Vale ressaltar que nenhum dos nove participantes do presente estudo atribuiu valores superiores a 5 para nenhuma das respostas do questionário de desconforto gastrointestinal. Dessa forma, como esperado, a dose adotada no presente estudo não causou desconfortos classificados como sendo sintomas graves.

O cloreto de amônio utilizada no presente estudo foi suficiente para indução de um estado de acidose metabólica. Nós encontramos uma redução significativa ($p < 0,05$) nos valores de pH sanguíneo 100 minutos após (Pré) a ingestão de cloreto de amônio quando comparado ao repouso. Além disso, foi observada uma redução significativa ($p < 0,05$) nos valores de pH sanguíneo após o exercício em todas as condições. Porém, quando comparado as condições PLA e ISO, a redução no pH sanguíneo foi maior ($p < 0,05$) na condição CLO (figura 1).

Diferentemente do encontrado para o pH sanguíneo, as concentrações plasmáticas de lactato não foram alteradas ($p > 0,05$) em Pré comparado com repouso em nenhuma das condições. Já após a realização do exercício, as concentrações de lactato foram significativamente ($p < 0,05$) aumentadas comparadas com repouso em todas as condições. Entretanto, as concentrações plasmáticas de lactato encontradas após o exercício na condição CLO foram significativamente menores ($p < 0,05$) quando comparadas as condições PLA e ISO (figura 1).

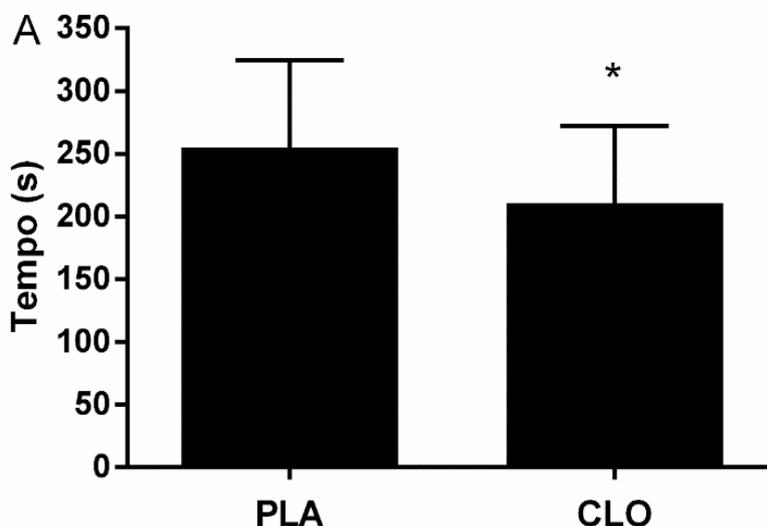
Figura 1 - Efeito da ingestão de cloreto de amônio (CLO) e carbonato de cálcio (PLA e ISO) sobre pH sanguíneo (A) e concentrações plasmáticas de lactato (B).



* significativamente diferente de repouso e pré. # significativamente diferente de CLO. † significativamente diferente de PLA e ISO.
 Fonte: SILVA, W. E., 2019.

Essas alterações metabólicas causadas pela ingestão de cloreto de amônio foram acompanhadas por uma redução significativa no desempenho em CLO ($210,8 \pm 61,3$ seg) quando comparado com a condição PLA ($255,2 \pm 69,5$ seg) (figura 2).

Figura 2 - Efeito da ingestão de cloreto de amônio (CLO) e carbonato de cálcio (PLA e ISO) sobre o desempenho.

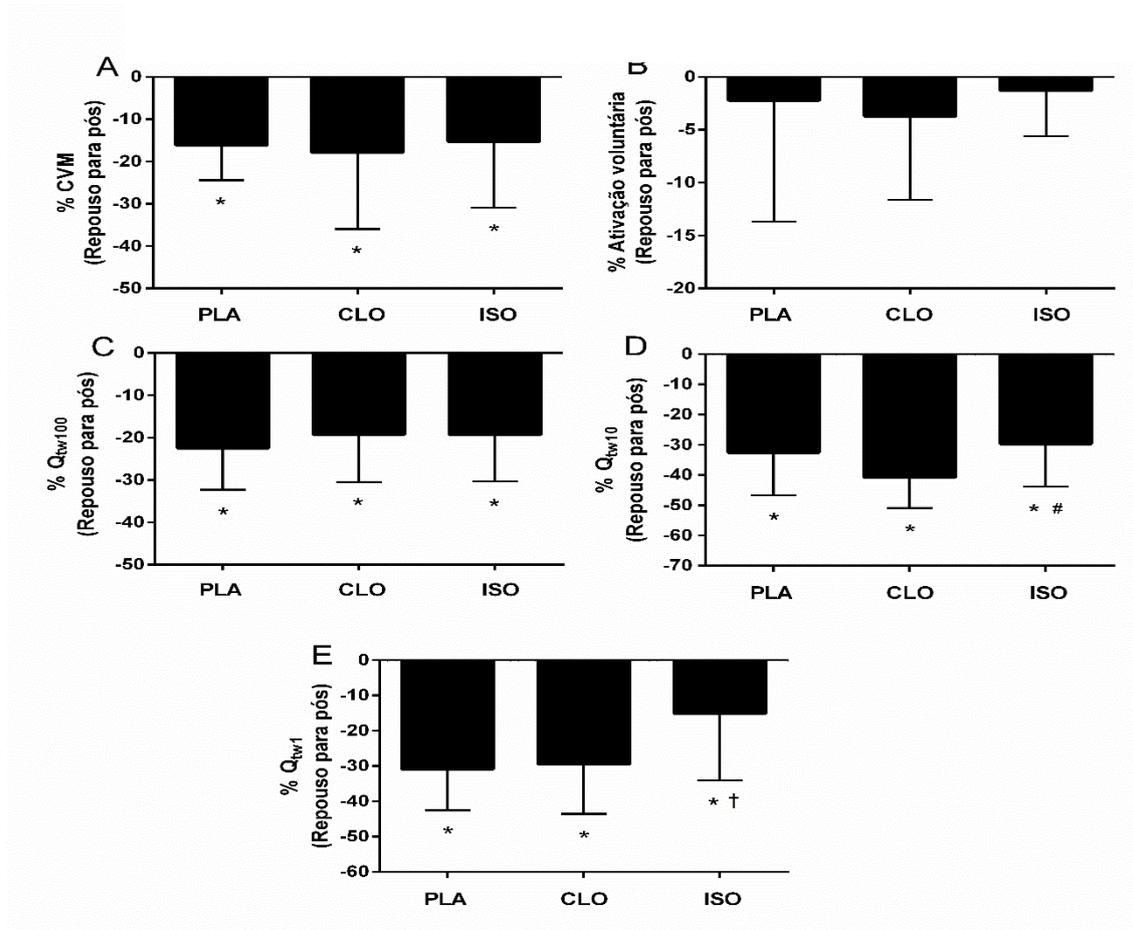


* significativamente diferente.

Fonte: SILVA, W. E., 2019.

Os efeitos da acidose metabólica sobre a função neuromuscular são representados na figura 3. Não foram encontrados efeito da condição ($p > 0,05$), tempo ($p > 0,05$) ou interação ($p > 0,05$) para a ativação voluntária (CLO - repouso: $83 \pm 7,6$, Pré: $81 \pm 11,6$ e Pós: $81,6 \pm 11\%$; PLA - repouso: 82 ± 8 , Pré: $83,5 \pm 8,6$ e Pós: $82 \pm 11\%$; ISO - repouso: $85,6 \pm 8,8$, Pré: $85,8 \pm 8,8$ e Pós: $84 \pm 8,6\%$) (figura 2B). Do mesmo modo, também não foram encontradas diferenças significativas ($p > 0,05$) para as variáveis CVM, Q_{tw100}, Q_{tw10} e Q_{tw1} em Pré quando comparado ao repouso. Portanto, os percentuais de mudanças nessas variáveis após o exercício são apresentados em relação ao repouso (figura 3). Houve uma redução significativa ($p < 0,05$) após o exercício nas variáveis CVM, Q_{tw100}, Q_{tw10} e Q_{tw1} em todas as condições. Houve efeito do momento ($P = 0,00$ e $P = 0,00$), da condição ($P = 0,03$ e $P = 0,04$ e interação ($P = 0,03$ e $P = 0,02$ para a Q_{tw10} e Q_{tw1}. Entretanto, Q_{tw10} teve maior queda ($p < 0,05$) em CLO comparado com ISO. A Q_{tw1} também teve maior redução ($p < 0,05$) após exercício em CLO quando comparado com PLA e ISO.

Figura 3 - Efeito da acidose metabólica sobre variáveis neuromusculares.



Fonte: SILVA, W. E., 2019.

Efeito da ingestão de cloreto de amônio (CLO) e carbonato de cálcio (PLA e ISO) sobre o percentual de mudança na contração voluntária máxima (CVM) (A), percentual da ativação voluntária (B), contração involuntária induzida pelo estímulo duplo de 100 Hz (Q_{tw100}) (C), contração involuntária induzida pelo estímulo duplo de 10 Hz (Q_{tw10}) (D) e contração involuntária induzida pelo estímulo simples de 1 Hz (Q_{tw1}) (E). * significativamente diferente de repouso na mesma condição. # significativamente diferente em relação ao CLO. † significativamente diferente em relação ao CLO e PLA.

5 DISCUSSÃO

O principal achado do presente estudo foi que a acidose metabólica induzida pela ingestão de cloreto de amônio prejudicou o desempenho e alterou o desenvolvimento da fadiga neuromuscular induzida pelo exercício de alta intensidade.

Como demonstrado previamente por outros estudos (JACOBS *et al.*, 1993; CORREIA-OLIVEIRA *et al.*, 2017), houve uma redução do pH sanguíneo após a ingestão de cloreto de amônio. A magnitude de redução no pH sanguíneo 100 minutos após a ingestão de cloreto de amônio observada no presente estudo (0,06 U) foi similar a encontrada por Correia-Oliveira *et al.*, (2017), onde foi encontrada uma redução de ~0,07 U. Isso ocorre devido à liberação de íons H^+ durante a dissolução do cloreto de amônio pelo organismo após a sua ingestão, ocasionando a acidose metabólica.

Outro achado importante encontrado em nosso estudo foi em relação às concentrações de lactato. Embora o tempo até exaustão tenha sido o mesmo entre as condições CLO e ISO, as concentrações de lactato foram significativamente menores após o exercício de alta intensidade em CLO comparado com PLA e ISO. Esse resultado é explicado pelo prejuízo induzido pelo acúmulo intramuscular de íons de H^+ , na função de algumas enzimas-chaves da via energética anaeróbia, como a fosfofrutoquinase e glicogênio fosforilase, que participam, respectivamente, da glicólise e glicogênólise (CORREIA-OLIVEIRA *et al.*, 2017). Isso parece ocorrer devido a alterações na atividade do transportador monocarboxilato (CHURCHWARD-VENNE, KOWALCHUK E MARSH., 2010 ; HOLLIDGE-HORVAT *et al.*, 1999). Devido ao acúmulo de íons H^+ na corrente sanguínea, o transporte dos íons H^+ e lactato do meio intra para o extracelular é prejudicado, uma vez que o efluxo desses metabólitos é favorecido por uma menor concentração de H^+ no meio extracelular (HOLLIDGE-HORVAT *et al.*, 1999 ; CORREIA-OLIVEIRA *et al.*, 2017; SUTTON *et al.*, 1981). De fato, tem sido previamente demonstrado que a ingestão de cloreto promove um aumento das concentrações intramusculares de íons H^+ tendo como consequência a redução do pH intramuscular durante o

exercício de flexão plantar (CHURCHWARD-VENNE, KOWALCHUK e MARSH., 2010). Também tem sido observado que a ingestão de cloreto de amônio promoveu uma redução das concentrações de lactato no sangue durante o ciclismo (SUTTON *et al.*, 1981). Desse modo, nossos achados sugerem que a acidose induzida pela ingestão de cloreto de amônio resulta em redução da contribuição do sistema energético anaeróbio durante o exercício de alta intensidade nos participantes.

Como observado no estudo, o desempenho foi menor em CLO (-17%) comparado com PLA. Esse resultado está em linha com outros estudos que também observaram um prejuízo no desempenho em diferentes protocolos de exercício (carga constante e contrarrelógio) envolvendo grande massa muscular com diferentes intensidades (SUTTON *et al.*, 1981; ROBERGS *et al.*, 2005; CORREIA-OLIVEIRA *et al.*, 2017). Sutton *et al.*, (1981) demonstraram que a tolerância ao exercício em cicloergômetro em intensidade correspondente a 95% do VO₂max foi significativamente reduzido quando comparado com a condição placebo. Do mesmo modo, utilizando um protocolo mais intenso (110% do VO₂max), Robergs *et al.*, (2005) também encontraram uma redução da tolerância ao exercício em cicloergômetro com a ingestão de cloreto de amônio. Um prejuízo no desempenho após ingestão de cloreto de amônio também foi observado durante o ciclismo contrarrelógio de 4 km (CORREIA-OLIVEIRA *et al.*, 2017). Porém, esse prejuízo não foi encontrado em estudos que utilizaram protocolos envolvendo exercícios isolados para grupos musculares menores comparado ao ciclismo (Siegler *et al.*, 2015; Jacobs *et al.*, 1993), sugerindo que a acidose metabólica parece prejudicar o desempenho apenas durante protocolos de exercícios com grande massa muscular.

O presente estudo propôs analisar o efeito da acidose metabólica sobre o desenvolvimento da fadiga neuromuscular durante o exercício de alta intensidade. Diante disso, corroborando em parte com a hipótese, a acidose metabólica promoveu um acelerado desenvolvimento da fadiga periférica (Q_{tw10} e Q_{tw1}). Isso mostra que a acidose metabólica apresenta relação com o desenvolvimento da fadiga periférica, especialmente a de baixa frequência, a qual está ligada aos canais de cálcio de modo que a taxa de captação de cálcio é diminuída repercutindo diretamente na função contrátil do músculo (BOOTH *et*

al., 1997). Sendo assim, ocorre uma diminuição na produção de força e potência prejudicando a capacidade de realizar trabalho.

Em contrapartida, não observamos diferença significativa para ativação voluntária entre as condições no presente estudo. Embora medidas das concentrações de metabólitos intramusculares não tenham sido realizadas no presente estudo, nossos achados não corroboram com a ideia de que o acúmulo de metabólitos acarretado pela acidose estimula os nervos aferentes III e IV, resultando na redução do comando motor para os músculos envolvidos no exercício (AMANN, 2011). Por outro lado, diferentemente do encontrado em nosso estudo, indivíduos que realizaram exercício de membros superiores antes de um teste de ciclismo tiveram uma redução na ativação voluntária acelerada em comparação com a condição controle com a mesma duração (JOHNSON *et al.*, 2015). No entanto vale ressaltar que a realização desse exercício antes do teste de ciclismo promoveu alterações em algumas variáveis como frequência cardíaca, dispneia e percepção do esforço o que pode afetar o sistema nervoso central de maneira diferente quando comparado a ingestão de cloreto de amônio (JOHNSON *et al.*, 2015). Portanto, nossos resultados demonstram que a acidose metabólica não altera o desenvolvimento da fadiga central durante o exercício de alta intensidade.

6 CONCLUSÃO

A redução no desempenho durante exercício de alta intensidade causada pela acidose é acompanhada por um acelerado desenvolvimento da fadiga periférica de baixa frequência.

REFERÊNCIAS

AMANN, M. J. Central and peripheral fatigue: interaction during cycling exercise in humans. **Medicine Science in Sports Exercise**, Hagerstown, v. 43, n. 11, p. 2039-2045, 2011.

BOOTH, J.; MCKENNA, M. J.; RUELL, P. A.; GWINN, T. H.; DAVIS, G. M.; THOMPSON, M. W.; HARMER, A. R.; HUNTER, S. K.; SUTTON, J. R. J. Impaired calcium pump function does not slow relaxation in human skeletal muscle after prolonged exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 83, n. 2, p. 511-521, 1997.

CHURCHWARD-VENNE, T. A.; KOWALCHUK, J. M.; MARSH, G. D. J. Effects of ammonium chloride ingestion on phosphocreatine metabolism during moderate-and heavy-intensity plantar-flexion exercise. **European journal of applied physiology**, Berlin, v. 108, n. 6, p. 1189-1200, 2010.

CORREIA-OLIVEIRA, C. R.; LOPES-SILVA, J. P.; BERTUZZI, R.; MCCONELL, G. K.; BISHOP, D. J.; LIMA-SILVA, A. E.; KISS, M. A. P. D. M. J. Acidosis, but not alkalosis, affects anaerobic metabolism and performance in a 4-km time trial. **Medicine Science in Sports Exercise**, Madison, v. 49, n. 9, p. 1899-1910, 2017.

GANDEVIA, S. C. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. **Physiol Rev**, Washington, v. 81, n. 4, p. 1725-89, Oct 2001.

HOLLIDGE-HORVAT, M.; PAROLIN, M.; WONG, D.; JONES, N.; HEIGENHAUSER, G. J. Effect of induced metabolic acidosis on human skeletal muscle metabolism during exercise. **American Journal of Physiology-Endocrinology Metabolism**, Bethesda, v. 277, n. 4, p. E647-E658, 1999.

JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. J. Generalized equations for predicting body density of men. **British journal of nutrition**, Cambridge, v. 40, n. 3, p. 497-504, 1978.

JACOBS, I.; HERMISTON, A. J.; SYMONS, J. D. J. Effects of prior exercise or ammonium chloride ingestion on muscular strength and endurance. **Medicine science in sports exercise**, Hagerstown, v. 25, n. 7, p. 809-814, 1993.

JEUKENDRUP, A.; VET-JOOP, K.; STURK, A.; STEGEN, J.; SENDEN, J.; SARIS, W.; WAGENMAKERS, A. J. Relationship between gastro-intestinal complaints and endotoxaemia, cytokine release and the acute-phase reaction during and after a long-distance triathlon in highly trained men. **Clinical Science**, London, v. 98, n. 1, p. 47-55, 2000.

JOHNSON, M. A.; SHARPE, G. R.; WILLIAMS, N. C.; HANNAH, R. J. Locomotor muscle fatigue is not critically regulated after prior upper body exercise. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 119, n. 7, p. 840-850, 2015.

MARRIOTT, M.; KRUSTRUP, P.; MOHR, M. J. Ergogenic effects of caffeine and sodium bicarbonate supplementation on intermittent exercise performance preceded by intense arm cranking exercise. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, London, v. 12, n. 1, p. 13, 2015.

POLLAK, K. A.; SWENSON, J. D.; VANHAITSMA, T. A.; HUGHEN, R. W.; JO, D.; LIGHT, K. C.; SCHWEINHARDT, P.; AMANN, M.; LIGHT, A. R. J. Exogenously applied muscle metabolites synergistically evoke sensations of muscle fatigue and pain in human subjects. **Experimental physiology**, Cambridge, v. 99, n. 2, p. 368-380, 2014.

ROBERGS, R.; HUTCHINSON, K.; HENDEE, S.; MADDEN, S.; SIEGLER, J. J. Influence of pre-exercise acidosis and alkalosis on the kinetics of acid-base recovery following intense exercise. **International journal of sport nutrition exercise metabolism**, Champaign, v. 15, n. 1, p. 59-74, 2005.

ROTTA, D. M.; KAUFMAN, M. P. J. Effect of metabolic products of muscular contraction on discharge of group III and IV afferents. **Journal of Applied Physiology**, Bethesda, v. 64, n. 6, p. 2306-2313, 1988.

STROJNIK, V. J.; FITNESS, P. The effects of superimposed electrical stimulation of the quadriceps muscles on performance in different motor tasks. **Journal of sports medicine physical fitness**, Torino, v. 38, n. 3, p. 194-200, 1998.

SIEGLER, J. C.; MARSHALL, P.; POUSLEN, M. K.; NIELSEN, N.-P. B.; KENNEDY, D.; GREEN, S. J. The effect of pH on fatigue during submaximal isometric contractions of the human calf muscle. **European journal of applied physiology**, Berlin, v. 115, n. 3, p. 565-577, 2015.

SIRI, W. E. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1961. **Nutrition**, Tarrytown, v. 9, n. 5, p. 480-9, sep-oct 1993.

SUTTON, J.; JONES, N.; TOEWS, C. J. Effect of pH on muscle glycolysis during exercise. **Clinical science**, London, v. 61, n. 3, p. 331-338, 1981.