

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

**EFEITO COMBINADO E INDEPENDENTE DA CAFEÍNA E DO BICARBONATO DE
SÓDIO NO DESEMPENHO EM MÚLTIPLOS TESTES ESPECÍFICOS PARA O JUDÔ**

LEANDRO JOSÉ CAMATI FELIPPE

MACEIÓ-2015

LEANDRO JOSÉ CAMATI FELIPPE

**EFEITO COMBINADO E INDEPENDENTE DA CAFEÍNA E DO
BICARBONATO DE SÓDIO NO DESEMPENHO EM MÚLTIPLOS TESTES
ESPECÍFICOS PARA O JUDÔ**

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

Orientador(a): Prof^(a). Dr^(a). Adriano Eduardo Lima da Silva

MACEIÓ-2015

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecária: Janaina Xisto de Barros Lima

F313e Felipe, Leandro José Camati.
Efeito combinado e independente da cafeína e do bicarbonato de sódio no desempenho em múltiplos testes específicos para o judô / Leandro José Camati Felipe – 2015.
73 f.

Orientador: Adriano Eduardo Lima da Silva.
Dissertação (Mestrado em Nutrição) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Nutrição, Maceió, 2017.

Inclui bibliografia.

1. Íons H⁺. 2. Fadiga muscular. 3. Exercícios intermitentes.
4. Equilíbrio acido-base. 5. Percepção de esforço. I. Título.

CDU: 612.3:796



MESTRADO EM NUTRIÇÃO
FACULDADE DE NUTRIÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS



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

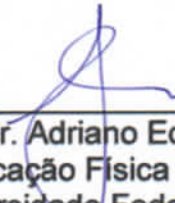
PARECER DA BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE
DISSERTAÇÃO

**EFEITO COMBINADO E INDEPENDENTE DA CAFEÍNA E DO
BICARBONATO DE SÓDIO NO DESEMPENHO EM MÚLTIPLOS
TESTES ESPECÍFICOS PARA O JUDÔ**


por

Leandro José Camati Felipe


A Banca Examinadora, reunida aos 26 dias do mês de fevereiro do ano de 2015, considera o candidato **APROVADO**.



Prof. Dr. Adriano Eduardo Lima da Silva
Núcleo de Educação Física e Ciências do Esporte (CAV)
Universidade Federal de Pernambuco
(Orientador)



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



Prof. Dr. Gustavo Gomes de Araújo
Faculdade de Nutrição
Universidade Federal de Alagoas
(Examinador)

DEDICATÓRIA

Dedico essa conquista a toda minha família, em especial a minha esposa Elisete Camati, pelo apoio e encorajamento dado durante todo tempo.

Essa vitória também é de vocês. Parabéns!

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde, força e persistência para superar as dificuldades.

A minha esposa Elisete, por ter me incentivado e escutado as minhas queixas, principalmente durante o período de coleta de dados.

A minha mãe e meu avô pela assistência que sempre me deram, principalmente nos momentos mais difíceis passados aqui em Alagoas.

Aos colegas Victor Souza e Victor Bastos pela assistência durante o período de coleta de dados.

Ao meu orientador, Dr. Adriano Eduardo Lima da Silva, pelas suas correções e incentivo durante o decorrer da presente dissertação.

Ao professor Eduardo Seixas por ceder o espectrofotômetro e centrífuga para as análises de lactato.

Os colegas e amigos do Grupo de Pesquisa em Ciência do Esporte, pelo companheirismo e colaboração.

A todos os atletas participantes, que solícitamente cumpriram as orientações feitas, e dedicaram um pouco do seu tempo para participarem do estudo.

A Federação Alagoana de Judô (FAJU), por ter cedido o espaço para a realização das coletas de dados.

Aos senseis Benedito Divino, Yoshihiro Okano e Roberto Okano, por terem me ensinado a importância da disciplina, respeito e humildade que deve ter um verdadeiro judoca.

A Primeira Igreja Evangélica Batista de Maceió pelas orações e pelo privilégio de fazer parte dessa família abençoada.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

O judô é um esporte de combate com característica intermitente, onde as ações duram em torno de 15 a 30 segundos, seguidas por pequenos intervalos de pausa de 10 a 15 segundos, o que conseqüentemente causa uma grande exigência da glicólise anaeróbia para atender a demanda de ATP. A grande contribuição da glicólise anaeróbia é responsável pelo aumento da concentração de lactato sanguíneo e queda do pH intramuscular, causando diminuição do processo de contração-relaxamento das fibras musculares, e redução da atividade das enzimas glicolíticas, resultando em queda na produção de ATP. Nesse sentido, vários estudos têm investigado a suplementação com bicarbonato de sódio (NaHCO_3) como meio para reduzir a acidose metabólica em exercícios máximos e supramáximos. A suplementação NaHCO_3 parece promover uma maior resistência a fadiga, influenciando tanto o pH intra como extracelular. Outra substância que pode melhorar o desempenho em exercícios supramáximos é a cafeína, no entanto o seu efeito na performance de judocas ainda não foi investigado. Alguns estudos relatam que a melhora no desempenho causado pelo consumo da cafeína é devido a diminuição da percepção de esforço durante o exercício. No entanto, outros estudos sugerem que a cafeína aumenta a potência em exercícios supramáximo através da ação direta no músculo esquelético, aumentando a quantidade de cálcio no citoplasma e o retorno do K^+ para o interior da fibra muscular, facilitando a sua utilização durante a contração. Visando contribuir com a discussão do problema, esse estudo apresenta dois artigos. 1) um artigo de revisão sistemática sobre o efeito da suplementação de bicarbonato de sódio sobre o desempenho em exercícios intermitentes. 2) um artigo experimental sobre o efeito combinado e independente da cafeína e do bicarbonato de sódio sobre o desempenho em múltiplos testes específicos para o judô.

Palavras-chave: íons H^+ , fadiga muscular, exercícios intermitentes, equilíbrio ácido-base, percepção de esforço.

ABSTRACT

The judo is a combat sport with intermittent feature, where the actions last around 15 to 30 seconds, followed by short intervals of 10 to 15 seconds, which in turn causes a great demand for anaerobic glycolysis to meet demand ATP. The great contribution of anaerobic glycolysis is responsible for increasing blood lactate concentration and fall of intramuscular pH, causing decrease of the process of contraction-relaxation of muscle fibers, and decreased activity of the glycolytic enzymes, resulting in decrease in the production of ATP. In this context, several studies have investigated the supplementation with sodium bicarbonate (NaHCO_3) as a means to reduce metabolic acidosis in maximum and supramaximal exercises. The NaHCO_3 supplementation seems to promote greater resistance to fatigue, influencing both intra- and extracellular pH. Another substance which can improve exercise performance in supramaximal exercise is the caffeine, though its effect on judo performance has not been investigated. Some studies report that the improvement in performance caused by caffeine consumption is due to decreased perceived exertion during exercise. However, other studies suggest that caffeine enhances the power of supramaximal exercises through direct action on skeletal muscle, increasing the amount of calcium in the cytoplasm and K^+ return into the muscle fiber, thus facilitating its use during contraction. To contribute to the discussion of the problem, this study presents two articles. 1) A systematic review on the effect of supplementation of sodium bicarbonate on the performance in intermittent exercises. 2) A research paper on the combined and independent effect of caffeine and sodium bicarbonate on performance in multiple specific tests for judo.

Key words: H^+ ions, muscle fatigue, intermittent exercise, balance acid-base, perceived exertion.

LISTA DE FIGURAS

	Página
2º artigo: artigo de resultados	
Figura 1- Supplementation protocol (a) and Experimental procedures (b)...	53
Figura 2- Number of throws performed in each bout of the Special Judo Fitness Test (a) and the total number of throws performed during the three tests (b).....	56
Figura 3- Plasma lactate concentration before supplementation, before the warm up, after the warm up, before Special Judo Fitness Test 1 (SJFT-1), and at the peak after each bout of the SJFTs.....	58

LISTA DE TABELAS

1º artigo: artigo de revisão

Tabela 1	Recomendações sobre o consumo de NaHCO_3	35
----------	---	----

LISTA DE ABREVIATURAS

ADP – Adenosina difosfato

ATP – Adenosina trifosfato

Ca²⁺ - Cálcio

CaHPO⁴ – Fosfato de cálcio

CHO - Carboidrato

cm – Centímetro

co² – Dióxido de carbono

ES – Effect size

FMA – Fadiga muscular aguda

GI – Gastrointestinal

H⁺ - Íon hidrogênio

HCO₃⁻ - Bicarbonato

H₂CO₃ – Ácido carbônico

H₂O – água

K⁺ - Potássio

Kg – Quilograma

M – Metro

mg – miligrama

min. – minuto

ml – mililitro

mmol·L⁻¹ – Milimoles por litro

NaHCO₃ – Bicarbonato de sódio

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

PC – Fosfocreatina

PFK – Fosfofrutoquinase

pH – potencial hidrogeniônico

Pi – Fosfato inorgânico

RPE – Rating of perceived exertion

SD – Standard deviation

SJFT – Special Judo Fitness Test

VO_{2max} – Consumo máximo de O₂

μL – microlitro

[La] – Concentração de lactato sanguíneo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2. COLETÂNEA DE ARTIGOS.....	18
2.1. 1º artigo: artigo de revisão Efeito da ingestão de bicarbonato de sódio no desempenho em exercícios intermitentes de alta intensidade: uma revisão sistemática.....	19
2.2. 2º artigo: artigo de resultados Separate and combined effects of caffeine and sodium bicarbonate intake on judo performance. International Journal of Sports Physiology and Performance.....	47
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

1 INTRODUÇÃO GERAL

O judô é um esporte de combate com característica intermitente, onde as ações duram em torno de 15 a 30 segundos, seguidas por pequenos intervalos de pausa de 10 a 15 segundos (VAN MALDEREN *et al.*, 2006), o que conseqüentemente causa uma grande exigência da glicólise anaeróbia para atender a demanda de ATP (FRANCHINI *et al.*, 2009; SANTOS *et al.*, 2010). A grande contribuição da glicólise anaeróbia é responsável pelo aumento da concentração de lactato sanguíneo e queda do pH intramuscular, causando diminuição do processo de contração-relaxamento das fibras musculares, e redução da atividade das enzimas glicolíticas, resultando em queda na produção de ATP (PATE *et al.*, 1995; METZGER *et al.*, 1990). Portanto, é de essencial importância para judocas retardar os efeitos inibitórios sobre a contração muscular causado pela acidose metabólica.

Nesse sentido, vários estudos têm investigado a suplementação com bicarbonato de sódio (NaHCO_3) como meio para reduzir a acidose metabólica em exercícios máximos e supramáximos (SIEGLER *et al.*, 2010; McNAUGHTON *et al.*, 2008). A suplementação NaHCO_3 parece promover uma maior resistência a fadiga, influenciando tanto o pH intra como extracelular (STEPHENS *et al.*, 2002; BISHOP *et al.*, 2004 e 2005; RAYMER *et al.*, 2004). A redução da acidose extracelular causada pela alcalose (NaHCO_3), permite um maior efluxo de íons H^+ do músculo para o sangue, reduzindo assim a acidose intramuscular, e conseqüentemente aumentando a intensidade e/ou duração do exercício (REQUENA *et al.*, 2005; BISHOP *et al.*, 2004). Artioli *et al.* (2007) analisaram os efeitos da administração de NaHCO_3 em desempenho em teste específico para o judô (SJFT), e observaram aumento na quantidade de projeções (melhora no desempenho) após a ingestão de NaHCO_3 em relação a situação placebo. Os autores sugerem que a administração de NaHCO_3 promoveu o efluxo de íons H^+ do músculo para o sangue, reduzindo a queda acentuada no pH intramuscular, resultando em melhora da performance.

Outra substância que pode melhorar o desempenho em exercícios supramáximos é a cafeína (GREER *et al.*, 1998; SIMMONDS *et al.*, 2010), no entanto o seu efeito na performance de judocas ainda não foi investigado. Alguns estudos relatam que a melhora no desempenho causado pelo consumo da cafeína é devido a diminuição da percepção de esforço durante o exercício (TRICE *et al.*, 1995; GLIOTTONI *et al.*, 2008; DOHERTY *et al.*, 2004). No entanto,

outros estudos sugerem que a cafeína aumenta a potência em exercícios supramáximo através da ação direta no músculo esquelético, aumentando a quantidade de cálcio no citoplasma, facilitando a sua utilização durante a contração muscular (SINCLAIR *et al.*, 2000; TARNOPOLSKY, 2008). Além disso, alguns trabalhos constataram que junto com o aumento no desempenho, ocorreu também uma maior manutenção dos níveis intracelulares de íons de potássio (K^+) após a realização de exercícios supramáximos, o que possivelmente melhorou a excitabilidade das fibras musculares e sua capacidade de contração (LINDINGER *et al.*, 1993; SIMMONDS *et al.*, 2010). O aumento da glicólise e consequentemente da produção de ATP é mais um aspecto importante relatado em alguns estudos (BELL *et al.*, 2001; DOHERTY, 1998).

No entanto, no nosso conhecimento, apenas três estudos buscaram investigar o efeito da combinação $NaHCO_3$ e cafeína sobre o desempenho (PRUSCINO *et al.*, 2008; CARR *et al.*, 2011; KILDING *et al.*, 2012), e os resultados foram contraditórios. Pruscino *et al.* (2008) constataram que a queda no desempenho da primeira para a segunda série de 200 metros nado livre, foi mais acentuada com o consumo isolado de cafeína, em comparação a ingestão de $NaHCO_3$ e $NaHCO_3$ + cafeína. Segundo os autores, o efluxo dos íons H^+ do músculo para o sangue causado pela alcalose, é o principal responsável pela manutenção do desempenho, e sugerem que nesse tipo de atividade, o consumo de $NaHCO_3$ é mais importante para a performance do que a cafeína, e que a combinação de ambos não confere benefícios adicionais. Por outro lado, Carr *et al.* (2011) observaram aumento de 2% na potência média durante a realização de quatro séries em ergômetro específico para remadores, após o consumo isolado de cafeína, e não constataram nenhum benefício nas situações $NaHCO_3$ e $NaHCO_3$ + cafeína. No entanto, Kilding *et al.* (2012) não observaram aumento no desempenho em teste de 3 km em ciclo ergômetro em ciclistas, com a combinação $NaHCO_3$ + cafeína, quando comparado ao consumo isolado dessas substâncias. Interessante notar que esses estudos foram conduzidos com protocolos de exercícios constantes e com grandes intervalos entre as séries, características essas que diferem da intermitência e possivelmente da demanda metabólica do judô.

Com base em estudos anteriores, pode-se especular que a combinação $NaHCO_3$ + cafeína, ofereça maior benefício em exercícios intermitentes como o

judô, do que o consumo isolado dessas substâncias. Portanto, o objetivo desse estudo foi analisar o efeito individual e combinado da cafeína e NaHCO_3 no desempenho em múltiplos teste específico para o judô (SJFT).

1º artigo: artigo de revisão

FELIPPE, LJC; LIMA-SILVA, AE. Efeito da ingestão de bicarbonato de sódio no desempenho em exercícios intermitentes de alta intensidade: uma revisão sistemática. Revista Acta Brasileira do Movimento Humano – Vol.3, n.2, p.19-42 – Abril/Jun, 2013.

RESUMO

O uso de suplementos nutricionais é tido como um importante auxiliar na melhoria do desempenho esportivo. Nesse sentido, alguns estudos buscaram investigar a eficácia da administração do bicarbonato de sódio (NaHCO_3) na melhoria do rendimento em diferentes tipos de exercício, em especial, em esforços intermitentes de alta intensidade. O bicarbonato de sódio é conhecido como uma substância “tamponante” de íons de hidrogênio durante o exercício. Esse suplemento promove uma maior capacidade de resistência ao aparecimento da fadiga pela influência no equilíbrio ácido-base intra e extracelular, mantendo o pH intramuscular próximo ao neutro (7,0) e, conseqüentemente, mantendo a capacidade de ressíntese de ATP. Portanto, o objetivo do presente estudo foi analisar os principais achados sobre a suplementação de NaHCO_3 e seu efeito sobre o desempenho em exercícios intermitentes de alta intensidade. Para esclarecer esses aspectos, foi realizada a busca de artigos científicos experimentais, metaanálises e revisões nas bases de dados do PUBMED, SPORTDiscus e SciELO. Os resultados encontrados apontam para aumento no desempenho em exercícios intermitentes, após o consumo de 0,3 a 0,4 g/kg de NaHCO_3 , e que doses acima dessas podem ocasionar distúrbios gastrointestinais, podendo em alguns casos resultar em queda no desempenho. Portanto, recomendamos a ingestão de 0,3 a 0,4 g/kg de NaHCO_3 , em um período de 60 a 120 minutos antes do início de exercícios intermitentes de alta intensidade.

PALAVRAS-CHAVE

Alcalose metabólica, exercício intermitentes, íons de hidrogênio, equilíbrio ácido-base

ABSTRACT

Nutritional supplements are an important resource to improve the athletic performance. Accordingly, numerous studies have investigated the efficacy of the sodium bicarbonate administration (NaHCO_3) to improve the performance on different types of exercise, especially, in intermittent high-intensity efforts. The sodium bicarbonate is known as a "buffering" substance of hydrogen ions during

exercise. This supplement promotes a higher resistance to the onset of fatigue by influencing acid-base balance of both intra- and extra-cellular, maintaining the intramuscular pH near to neutral (7.0) and consequently maintaining the capacity to ATP resynthesis and muscle contractility. Therefore the aim of this study was to analyze the main findings of NaHCO₃ supplementation and its effect on performance in high-intensity intermittent exercise. To clarify these issues, we performed a search of scientific experiments, meta-analyzes and reviews the databases PubMed, SciELO and SPORTDiscus. Most studies suggest an increase in the performance during intermittent exercise after consumption from 0.3 to 0.4 g/kg of NaHCO₃, while levels above it may cause gastrointestinal disturbances and drop in the performance. In this sense, we present a suggestion for the use of this dietary supplement in order to maximize the ergogenic effect of NaHCO₃ and minimize their possible side effects. Therefore, we recommend intake of 0.3 to 0.4 g/kg for body mass of NaHCO₃ in a period of 60 to 120 minutes before of high-intensity intermittent exercise.

KEYWORDS

Metabolic alkalosis, intermittent exercise, hydrogen ions, acid-base balance

INTRODUÇÃO

Com objetivo de aumentar o desempenho em diversas modalidades esportivas, treinadores, nutricionistas e cientistas do esporte têm utilizados inúmeros tipos de suplementos no intuito de retardar o processo de fadiga muscular aguda (FMA). A FMA é um fenômeno multifatorial e complexo, sendo, portanto, um fator limitante do rendimento atlético (FITTS, 1994; ALLEN, LAMB & WESTERBLAD, 2008). Nesse sentido, a utilização de alguns recursos nutricionais com intuito de retardar a FMA tem se mostrado eficiente, aumentando a capacidade contrátil do músculo e sua capacidade de realizar trabalho (McNAUGHTON, SIEGLER & MIDGLEY, 2008; BISHOP et al., 2004).

Um grande número de modalidades esportivas envolvem tarefas intermitentes, que são caracterizadas pelos repetidos e curtos períodos de ação de alta intensidade, seguido por pequenos intervalos de pausa, causando dessa forma, uma grande demanda do sistema glicolítico para ressíntese de adenosina

trifosfato (ATP) (BISHOP et al., 2004). Acredita-se que o desenvolvimento da FMA durante o exercício intermitente de alta intensidade está associado, em grande parte, ao aumento da concentração de íons H^+ , decorrente da predominante contribuição da glicólise anaeróbia e do aumento substancial da hidrólise do ATP (SAHLIN, EDSTROM & SJOHOLM, 1983; FITTS, 1994). Esses fatores são responsáveis pela queda do pH intramuscular (acidose intramuscular), causando diminuição do processo de contração-relaxamento das fibras musculares e redução da atividade das enzimas glicolíticas, resultando em queda na produção de ATP (PATE et al., 1995; METZGER & MOSS, 1990; ADROGUÉ & ADROGUÉ, 2001). Por esse motivo vários estudos têm investigado a suplementação com bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$) como meio para reduzir a acidose metabólica em exercícios supramáximos e intermitentes (SIEGLER et al., 2010a; IBANEZ et al., 1995; McNAUGHTON, 1992; ROBERGS et al., 2005). Acredita-se que o tamponamento extracelular via $NaHCO_3$ permite um maior efluxo de íons H^+ do músculo para o sangue, reduzindo assim a acidose intramuscular, e conseqüentemente aumentando a intensidade e/ou duração do exercício (REQUENA et al., 2005; BISHOP & CLAUDIUS, 2005).

Apesar da grande quantidade de informações a respeito do consumo de $NaHCO_3$, a variedade metodológica desses estudos dificulta a interpretação dos resultados. Um exemplo dessa grande variedade metodológica são as diversas forma e tempo de consumo de $NaHCO_3$ retratado na literatura, que pode variar de uma única dose de $NaHCO_3$ dissolvido em 500 ml de bebida isotônica de baixas calorias (CAMERON et al., 2010), a sete doses de $NaHCO_3$ consumidas em cápsulas (PRUSCINO et al., 2011), totalizando em ambos os casos o consumo de 0,3 g/kg de $NaHCO_3$. Em virtude dessa grande variedade metodológica faz-se necessário uma sistematização do conhecimento produzido até o presente momento, principalmente quando a quantidade, forma e tempo de consumo do suplemento. Essas informações são essenciais para a intervenção profissional, pois o uso adequado desse suplemento pode reduzir a FMA, aumentando a intensidade e/ou duração do exercício, além de minimizar os possíveis desconfortos gastrointestinais relatados em alguns estudos. Nesse sentido, o primeiro objetivo dessa revisão de literatura é apresentar os principais achados envolvendo a utilização do $NaHCO_3$ durante a realização de exercícios intermitente e de alta intensidade. O segundo objetivo é apresentar uma sugestão

acerca de uso desse suplemento alimentar, de forma a maximizar os efeitos ergogênicos do NaHCO_3

MÉTODOS

A literatura foi pesquisada nas bases de dados do PUBMED, SPORTDiscus e SciELO, e os termos utilizados para pesquisa (em inglês e português) foram “sodium bicarbonate and exercise” e “bicarbonato de sódio e exercício”; “sodium bicarbonate and intermittent exercise” e “bicarbonato de sódio e exercício intermitente”; “metabolic alkalosis and exercise” e “alcalose metabólica e exercício”; “metabolic acidosis and fatigue” e “acidose metabólica e fadiga”; “ H^+ ions and muscle fatigue” e “íons H^+ e fadiga muscular”. Foram incluídos nessa revisão artigos completos, sendo eles artigos experimentais, metaanálises e artigos de revisão, publicados até dezembro de 2012, na língua inglesa e portuguesa. Trabalhos que realizaram a combinação de NaHCO_3 com outros suplementos (cafeína e citrato de sódio) também foram analisados (PRUSCINO et al., 2008; CARR et al., 2011a; KILDING, OVERTON & GLEAVE, 2012), porém, apenas os resultados do NaHCO_3 isoladamente, ou a combinação com citrato de sódio (por também ser alcalina) foram levados em consideração. Foram excluídos os artigos que não tinham os termos utilizados na busca como objeto principal de estudo e artigos incompletos.

RESULTADOS

Na primeira busca foram encontrados 137 artigos com potencial de inclusão. Deste total, 41 artigos foram excluídos após a leitura dos títulos. Com a leitura dos resumos, mais 18 artigos foram excluídos, restando 78 artigos para fazer parte dessa revisão. Desse total, 67 são artigos experimentais, 10 artigos de revisão e 1 artigo de metaanálise.

DISCUSSÃO

Acidose metabólica e fadiga

Durante a realização de exercícios intermitentes de alta intensidade, uma grande demanda de energia advinda da glicólise anaeróbia é necessária para a ressíntese de ATP. Em atividades intensas com duração de aproximadamente seis segundos, a maior parte do ATP produzido é fornecido pela degradação da creatina fosfato (PC), sendo o restante do exercício altamente dependente da glicólise anaeróbia (GAIANOS et al. 1993). As altas taxas de hidrólise de ATP e glicólise durante a realização de exercícios de alta intensidade, produzem metabólitos como os íons H^+ , fosfato inorgânico (P_i) e ADP que podem ser prejudiciais ao mecanismo de contração muscular. Nesse sentido, os íons H^+ é o metabólito que mais desperta a atenção da comunidade científica, haja vista a quantidade de publicações a esse respeito (para revisão, FITTS, 2008). A alta taxa de glicólise 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 de enzimas envolvidas no processo contrátil da musculatura esquelética e na produção de ATP (DEBOLD, BECK & WARSHAW, 2008; KOWALCHUCK & SCHEUERMANN, 1995; MAINWOOD & RENAUD, 1985).

Um dos possíveis agravantes de fadiga em condição de baixo pH, é a redução do cálcio livre disponível para o processo contrátil, e isso ocorre em função da diminuição do retorno do cálcio (Ca^{2+}) para a cisterna do retículo sarcoplasmático (CHIN & ALLEN, 1997). Para que o cálcio retorne ao retículo, é necessária a presença de ATP, principalmente próximo a banda I (local da cisterna do retículo sarcoplasmático), e em situação de acidose, e a consequente diminuição na capacidade de produção de ATP ocorre uma queda na capacidade de reabsorção do Ca^{2+} (CHIN & ALLEN, 1997). Segundo Chin e Allen (1997), mesmo que dificilmente os níveis de ATP diminuam mais do que 30 a 50% dos valores de repouso, na célula como um todo, as concentrações de glicogênio e ATP próximas ao retículo sarcoplasmático podem ter uma diminuição muito mais drástica. Em alta concentração no sarcoplasma, o Ca^{2+} tende a ligar-se ao P_i , formando fosfato de cálcio ($CaHPO_4$), diminuindo a quantidade de cálcio livre disponível para a contração muscular (FULCERI et al., 1993; CHIN & ALLEN, 1998; LAVER, LENZ & DULHUNTY, 2001; DUTKA, COLE & LAMB, 2005). Apesar disso, a precipitação do cálcio não é totalmente prejudicial para o

mecanismo contrátil, isso porque ele estimula a reabsorção de cálcio para dentro do retículo sarcoplasmático. O aumento da quantidade de cálcio livre no retículo sarcoplasmático, caso o Pi não estivesse presente, poderia resultar em queda na reabsorção desse íon na zona de ligação actina-miosina, aumentando o risco de toxicidade intracelular (LANNERGREN, WESTERBLAND, 1991; FRYER et al., 1995).

Outro importante aspecto relacionado à queda do pH é a diminuição na atividade de enzimas responsáveis pela glicólise. Por exemplo, a acidose metabólica pode inibir a transformação da enzima glicogênio fosforilase do tipo *b* (não fosfatada), para a sua forma mais ativa *a*. Isso ocorre porque a glicogênio fosforilase só pode ser fosfatada pelo Pi na sua forma monoprotonada, e em condições de acidose metabólica, há predominância de Pi diprotonado, com isso a fosforilação e conseqüentemente a atividade da glicogênio fosforilase fica comprometida (CHASIOTIS, HULTMAN & SAHLIN, 1983). A inibição da enzima fosfofrutoquinase (PFK) em condição de acidose metabólica é um dos aspectos relatados na literatura (FITTS, 1994; RAYMER et al., 2004). A inibição dessa enzima impede a degradação de glicose-6-fosfato até piruvato, e com isso, diminui a ressíntese de ATP. Além disso, a queda do pH também pode exercer importante influência sobre o potencial de ação da célula muscular. Isso porque, em situação de acidose metabólica, parece ocorrer diminuição de atividade da enzima Na⁺-K⁺-ATPase, diminuindo o retorno do potássio (K⁺) para o interior da célula, e conseqüentemente, o potencial de ação da fibra muscular (CAIRNS & LINDINGER, 2008; CLAUSEN & EVERTS, 1991; LEPIK et al., 2004). A queda da atividade dessa enzima pode ocorrer em virtude da diminuição de ATP disponível, ocasionando uma queda na excitabilidade das fibras musculares (JUEL, 2007; CLAUSEN et al., 2003; DUTKA & LAMB, 2007).

Apesar dos diversos estudos terem constatados os efeitos deletérios da queda do pH sobre o desempenho muscular, ainda permanece incerto o quanto a acidose metabólica pode influenciar nesse mecanismo (SPRIET et al. 1987 e 1989; FITTS, 2008; MESSONNIER et al., 2006). Em estudo realizado com fibra muscular de ratos in vitro, Pate et al. (1995) relatam que o impacto da diminuição do pH, e a conseqüente acidose metabólica, só teria influência negativa no mecanismo contrátil da musculatura esquelética em temperaturas baixo das condições fisiológicas (< 30°C). Da mesma forma, Bruton, Lannergren e

Westerbland (1998) constataram que a acidose em fibras musculares isoladas de ratos não resultou em maior fadiga durante repetida estimulação tetânica a 28°C. No entanto, em um estudo mais recente conduzido por Knuth et al. (2006) foi encontrado uma diminuição no pico de força de 12% nas fibras de contração lenta e de 11% nas fibras de contração rápida de ratos em condições de pH de 6.2 a temperatura de 30°C. Os autores destacam que mesmo em temperaturas próximas das condições fisiológicas, a queda do pH pode influenciar negativamente a contração muscular (KNUTH et al., 2006). Embora evidências científicas tem constatado que o impacto da queda do pH intramuscular sobre o mecanismo contrátil e de produção de ATP não é tão grande quanto se pensava, não se pode negligenciar a relação entre acidose metabólica e queda no desempenho, tendo em vista os inúmeros estudos que relataram aumento no desempenho muscular após a ingestão de substância alcalina (BISHOP et al. 2004 e 2005; EDGE et al. 2006; PRICE et al., 2003).

Mecanismo de ação do bicarbonato de sódio (NaHCO₃)

Um dos principais sistemas controladores da relação ácido-base do organismo é exercido pelo tamponamento do bicarbonato (HCO₃⁻) presente na corrente sanguínea. O efluxo de íons H⁺ do músculo para o sangue causado pelo aumento na concentração de bicarbonato (HCO₃⁻) através do consumo de NaHCO₃, diminui a quantidade de H⁺ íons na musculatura, e conseqüentemente a FMA (COSTILL et al., 1984; HOOD et al., 1988). Uma vez que a membrana intracelular é impermeável ao HCO₃⁻ (COSTILL et al., 1984), o controle do pH se dá pelo efluxo dos íons H⁺ do músculo para o sangue. O aumento da contração de íons H⁺ dentro do músculo durante o exercício, e a diminuição desses íons no sangue com o consumo de NaHCO₃, desencadeia a difusão (efluxo) de íons H⁺ do músculo. Os íons H⁺ reagem com HCO₃⁻, formando H₂CO₃ (ácido carbônico), que por sua vez se dissocia em H₂O e CO₂, como exemplificado na equação abaixo:



Diversos estudos têm constatado aumento no HCO_3^- plasmático em torno de aproximadamente 5,5 a 6,5 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de sangue, seguido pelo aumento do pH ($\sim 0,6$), com o consumo de 0,3 a 0,4 g de NaHCO_3 por quilo de peso corporal (BISHOP & CLAUDIUS, 2005; PRUSCINO et al., 2008; HOLLIDGE-HORVAT et al., 2000). Stephens et al. (2002) também observaram que, paralelamente a redução da concentração dos íons H^+ extracelular, ocorreu também a queda desse íon dentro da célula muscular. Isso indica que apesar da membrana intracelular ser impermeável ao HCO_3^- , o aumento plasmático dessa substância é altamente eficaz no efluxo dos íons H^+ , e na manutenção do pH intracelular. Outro aspecto interessante relatado em alguns estudos é a modulação iônica aumentada com o consumo do NaHCO_3 e o consequente aumento do pH (SIEGLER et al., 2010a; STREET et al., 2005; SOSTARIC et al., 2006). A diminuição dos íons H^+ circulante e o aumento do pH com o consumo de NaHCO_3 parece melhorar o retorno do potássio (K^+) para o interior da fibra muscular, provavelmente pelo aumento da atividade da bomba $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$, mantendo a excitabilidade celular (SIEGLER et al., 2010a; STREET et al., 2005; SOSTARIC et al., 2006; ALLEN, 2004).

Bicarbonato de sódio e exercícios intermitentes

A suplementação com substância alcalina tem sido amplamente estudada, principalmente em exercícios de alta intensidade (IBANEZ et al., 1995; BISHOP et al., 2004 e 2005; EDGE et al., 2006; SIEGLER et al., 2010a). Apesar de diversos estudos apontarem para o efeito ergogênico dessas substâncias, outros relataram resultados contraditórios (PARRY-BILLINGS & MACLAREN, 1986; ZABALA et al., 2008 e 2011), o que pode explicar a baixa utilização dessas substâncias por parte dos atletas (REQUENA et al., 2005).

O NaHCO_3 e o citrato de sódio são as substâncias que despertam mais interesse da comunidade científica na atualidade. Em um interessante estudo, Van Montfoort et al. (2004) compararam o desempenho em teste de corrida de alta intensidade com velocidade fixa até a exaustão (1-2 minutos) após a ingestão NaHCO_3 , citrato de sódio, lactato de sódio ou placebo. Esses autores encontraram maior aumento no desempenho com a ingestão de NaHCO_3 (82,3 segundos, contra 80,2; 78,2 e 77,4, do lactato, citrato e placebo respectivamente).

Apesar do pH e HCO_3^- serem maiores após a suplementação com citrato, isso não resultou em melhora do desempenho com o consumo dessa substância. Uma possível explicação para isso é que o citrato tem efeito inibitório sobre a fosfofrutoquinase, o que conseqüentemente inibe a formação de ATP pela via glicolítica (HORSWILL, 1995). Em uma recente metaanálise, Carr et al. (2011b) também constataram uma maior eficiência do NaHCO_3 em comparação com contra substância alcalina (citrato de sódio) e uma substância ácida (cloreto de amônio), podendo esse suplemento aumentar a performance em aproximadamente 2% em exercícios de alta intensidade e com duração próxima a 1 minuto.

Alguns trabalhos têm constatado o aumento no desempenho em atividades intermitentes após o consumo de NaHCO_3 , especialmente em exercícios com predominância anaeróbia (ZINNER et al., 2011; SIEGLER et al., 2010a; PEART et al., 2012). Zinner et al., (2011) encontraram aumento na potência média em 4 testes máximos de 30 segundos em bicicleta ergométrica, seguidos por 5 minutos de repouso, após a suplementação de 0,3 g/kg de NaHCO_3 . Da mesma forma, Pruscino et al., (2008) observaram que a queda no desempenho em duas séries de 200 metros de nado livre contra o relógio (com 30 minutos de intervalo) foi menor após o consumo de NaHCO_3 isoladamente, ou combinado com cafeína. Segundos os autores desses dois estudos, o efluxo de íons H^+ causado pelo aumento do HCO_3^- sanguíneo e a conseqüente diminuição do pH intramuscular, foram os responsáveis pelo aumento (manutenção) do desempenho (ZINNER et al., 2011; PRUSCINO et al., 2008).

Em contrapartida, Zabala et al. (2011) não encontraram aumento na potência média e potência de pico em três testes de Wingate, com intervalo de 15 minutos entre eles, mesmo com um aumento substancial do HCO_3^- e do pH sanguíneo após a ingestão de NaHCO_3 . Segundos os autores, talvez o tipo de teste utilizado e o grande período de intervalo entre os testes, não tenham induzido a uma grande produção de íons H^+ , e que esforços intermitentes de intervalos mais curtos se beneficiariam mais com a suplementação de NaHCO_3 . Esse resultado corrobora com outros estudos que também utilizaram protocolos de testes constantes (VANHATALO et al., 2010; ROSBERG et al., 2005; PARRY-BILLINGS & McLAREN, 1986). Apesar de algumas evidências apontarem para o benefício da suplementação de NaHCO_3 durante a realização de exercícios

intermitentes, poucos estudos buscaram analisar os efeitos desse suplemento nesse tipo de tarefa.

Em um desses estudos, Artioli et al. (2006) também não encontraram aumento no desempenho em três simulações de luta de judô (cinco minutos), seguidos por 15 minutos de recuperação passiva, após o consumo de 0,3 g/kg de NaHCO_3 . Segundo os autores, apesar do teste utilizado apresentar uma grande validade ecológica, ele pode não ter sensibilidade para detectar mudança no desempenho, além disso, o baixo número de atletas pode ter influenciado os resultados. Em outro estudo Bishop et al. (2004) encontraram aumento no trabalho total e no pico de potência em mulheres, durante sprints repetidos (5 x 6 segundos, com 30 segundos de pausa) em ciclo ergômetro para membros inferiores, após a suplementação com 0,3 g/kg de NaHCO_3 . Resultados semelhantes foram encontrados pelo mesmo autor em sete dos 18 sprints em ciclo ergômetro de quatro segundos (com 100 segundos de recuperação ativa) com a suplementação de duas doses de 0,2 g/kg de NaHCO_3 (total de 0,4 g/kg) (BISHOP & CLAUDIUS, 2005). Interessante notar que o aumento na performance ocorreu na segunda metade do teste, quando a acidose foi mais acentuada. Da mesma forma, Lavender et al. (1989) também encontraram maior potência média e potência de saída em oito de 10 sprints de 10 segundos em ciclo ergômetro (50 segundos de pausa). Segundo os autores, diferença na potência média entre NaHCO_3 e placebo foi aumentando a medida em que o teste se encaminhava para final.

Artioli et al. (2007), ao estudar o efeito do NaHCO_3 sobre o desempenho de judocas, também encontraram resultados semelhantes aos estudos supracitados. O estudo foi realizado com atletas de judô, que realizaram três séries de um teste intermitente específico para esse esporte, com cinco minutos de pausa, e quatro séries do teste de Wingate (três minutos de pausa). Foi observado aumento no desempenho nas séries dois e três, além de um aumento na potência de pico nas séries três e quatro e potência média na série quatro do teste de Wingate. Uma possível explicação para esse aumento do desempenho da metade para o final do teste pode ser o tempo de oferta do NaHCO_3 . Bishop e Claudius (2005) observaram que o pico de HCO_3^- foi atingido na metade dos testes, o que possivelmente pode ter aumentado a capacidade de tamponamento e diminuindo a fadiga apenas do meio para o final dos testes. Com exceção de Bishop et al.

(2004), que ofertaram o NaHCO_3 em um único momento (90 minutos antes do teste), os outros estudos citados dividiram a dosagem. Artioli et al. (2007) ofertaram o NaHCO_3 em sete doses (totalizando 0,3 g/kg), dentro de um período de 90 minutos, sendo a última dose a 30 minutos antes dos testes. Da mesma forma, Bishop e Claudius (2005) utilizaram duas doses de NaHCO_3 a 90 e 20 minutos antes dos testes. Considerando que o pico de HCO_3^- ocorre entre 120 a 60 minutos após a ingestão (CARR et al., 2011b; BISHOP et al., 2004), os testes realizados nos três estudos podem ter começado sem que ocorresse o pico de HCO_3^- no sangue, possivelmente ocorrendo no meio do teste (BISHOP & CLAUDIUS, 2005; CARR et al., 2011c).

Assim como nos estudos anteriores, Price, Moss e Rance (2003) também observaram aumento na potência média com o consumo de 0,3 g/kg de NaHCO_3 durante a realização de protocolo de teste intermitente, composto por 10 séries de três minutos de exercício em cicloergometro (90 s a 40% do $\text{VO}_{2\text{máx}}$, 60 s a 60% do $\text{VO}_{2\text{máx}}$ e 14 s de sprint máximo), com 16 segundos de intervalo ativo. Interessante observar que nesse estudo os sujeitos apresentaram aumento ou manutenção na potência máxima nos sprints na primeira metade do teste na situação NaHCO_3 . Já na situação placebo, esses mesmos sujeitos apresentaram redução na potência. Esses resultados, diferem do encontrado por Bishop e Claudius (2004), Bishop et al. (2005) e Artioli et al. (2007), uma vez que esses autores observaram aumento na performance do meio para o final do teste. Uma possível explicação para a divergência é o tempo de consumo do suplemento, já que Price et al. (2003) ofertaram o NaHCO_3 60 minutos antes do início do teste, contra 30 e 20 minutos da última dose oferecida por Artioli et al. (2007) e Bishop et al. (2004), respectivamente. Sendo assim, os sujeitos podem ter começado o teste no estudo de Price et al. (2003) com maiores valores de HCO_3^- e pH sanguíneo.

Corroborando esses achados, Wu et al. (2010) observaram aumento na performance em teste intermitente específico para tenistas, após a suplementação com NaHCO_3 . Importante destacar que os testes aplicados nesse estudo mensuraram aspectos técnicos específicos desse esporte (número de acerto no serviço, backhand, forehand e voleio). Da mesma forma, Siegler et al. (2010b) também observaram aumento no número de golpes de boxeadores, suplementados com NaHCO_3 . Segundo esses autores, a manutenção da

transmissão dos impulsos nervosos via sistema nervoso central, e o aumento da contratilidade da fibra muscular causados pela diminuição da acidose, podem ser os responsáveis pelo aumento na eficiência de deslocamento e efetividade dos golpes desses tenistas e boxeadores. Essa hipótese também é apoiada por Hunter et al. (2009) que observaram maior atividade eletromiográfica em três contrações voluntária máximas de sete segundos (com 50 segundos de intervalo) do quadríceps após o consumo de 0,3 g/kg de NaHCO_3 . Entretanto, alguns estudos que buscaram investigar a influência da acidose metabólica sobre a contratilidade muscular, não observaram influência significativa da queda do pH sobre esses mecanismos, principalmente em condições fisiológicas (PATE et al., 1995; MATSUURA et al. 2007).

Em contraste com esses resultados, Tan et al. (2010) não observaram aumento no desempenho em teste intermitente especificamente desenvolvido para atletas de polo aquático, após o consumo de 0,3 g/kg de NaHCO_3 , mesmo com o significativo aumento do pH e HCO_3^- sanguíneo. O teste consistia em oito blocos de cinco minutos de exercícios variados, como natação (intensidade moderada e sprints de 10 metros), passes longos e curtos, saltos e fuga da marcação do adversário, seguido por um período de intervalo de três e cinco minutos entre os blocos. Segundos os autores talvez a melhora no desempenho não tenha ocorrido em razão do protocolo realizado não causar acidose acentuada. Essa justificativa está de acordo com o relatado por Carr et al. (2011b), onde foi constatado um maior efeito ergogênico em atividade de alta intensidade com duração aproximada de um minuto.

NaHCO_3 e sintomas gastrointestinais

Um dos problemas na interpretação dos resultados dos estudos envolvendo o NaHCO_3 é a variedade metodológica utilizada, principalmente quanto ao tempo de oferta e quantidade de doses do suplemento. Em relação aos exercícios intermitentes, principalmente em atividades esportivas de curta duração, é importante ofertar o suplemento de modo que esses atletas atinjam o pico de HCO_3^- plasmático durante o exercício, e evitem (ou diminuam) os possíveis distúrbios gastrointestinais (GI) que possam prejudicar o desempenho.

Os distúrbios GI são frequentemente associados ao consumo de NaHCO_3 . No entanto, estudos revelam que esse desconforto está ligado a forma e a quantidade de NaHCO_3 ingerida (McNAUGHTON, 1992; STEPHENS et al., 2002; VAN MONTFOORT et al., 2004; CARR et al., 2011c). Carr et al. (2011c) investigaram o desconforto gastrointestinal em nove diferentes protocolos de suplementação de NaHCO_3 (total de 0,3 g/kg de peso corporal), com variação na quantidade de água ingerida (7 ou 14 ml/kg de peso corporal), na combinação com citrato de sódio ou lanche contendo 1,5 g de carboidrato (CHO) por quilo de peso corporal, tempo de ingestão diferentes (15 ou 30 min. de intervalo) e formas diferentes de suplementação (cápsula ou solução). A coleta das variáveis sanguíneas e de desconforto GI foi realizada antes de suplementação, e a cada 30 minutos após a ingestão da última dose do suplemento, sendo a primeira a 30 e a última a 240 minutos. Os autores constataram que o maior desconforto GI ocorreu a 90 minutos após a suplementação de NaHCO_3 ingerido em dose única, dissolvido em baixo volume de água (7 ml/kg de peso corporal). O menor desconforto GI foi relatado com a ingestão de NaHCO_3 em cápsulas a cada 15 minutos (três doses), consumido com 7 ml/kg corporal de água, com o consumo prévio de um lanche com CHO. Além disso, a suplementação junto com o lanche de CHO resultou em valores mais elevados de HCO_3^- e pH sanguíneo. Apesar dos resultados observados, o estudo não avaliou o desempenho, e deste modo não podemos saber se o desconforto GI ocorrido seria suficiente para afetar negativamente o desempenho desses sujeitos.

Como supracitado, uma das principais causas dos distúrbios causados pela ingestão de NaHCO_3 é a sua forma de consumo. Assim como Carr et al. (2011c), outros estudos também relataram transtornos GI como o consumo de NaHCO_3 dissolvido em água (CAMERON et al., 2010; PRICE et al., 2003). Entre os desconfortos relatados por Cameron et al. (2010), os mais comuns são náuseas, dor de estômago, flatulências, diarreias e vômitos. Esses efeitos adversos encontrados por Cameron et al. (2010) podem ter sido os principais responsáveis pela não melhora do desempenho em teste de sprint específico para jogadores de rugby. Apesar dos resultados encontrados por Carr et al. (2011c) e Cameron et al. (2010), a maior parte dos estudos não encontraram diferença significativa no desconforto GI após a suplementação com NaHCO_3 comparado ao placebo, quando utilizado a dosagem recomendada pela literatura (0,3 g/kg por

peso corporal) (JOYCE et al., 2011; KILDING, OVERTON & GLEAVE, 2012; KOZAC-COLLINS et al., 1994; TAN et al., 2010). Entretanto, Van Montfoort et al. (2004) observaram que apesar do maior desconforto GI com o consumo de NaHCO_3 em comparação com citrato de sódio, o desempenho também foi maior. Esses resultados corroboram outros estudos que indicam que talvez o desconforto não tenha um impacto tão significativo sobre o desempenho (JOYCE et al., 2011; KILDING et al., 2012).

A quantidade de NaHCO_3 consumida também parece ter grande impacto sobre o distúrbio GI. McNaughton (1992) ao comparar o efeito de diferentes doses de NaHCO_3 (100, 200, 300, 400 e 500 mg), observou que com o consumo de 300 mg, os atletas obtiveram maior potência de pico e trabalho total, além de menor distúrbio GI comparados a doses mais alta. Além disso, grande parte dos estudos tem observado efeito benéfico sobre o desempenho e menores desconforto GI em doses que variam de 0,3 a 0,4 g/kg de peso corporal (BISHOP & CLAUDIUS, 2005; MATSON & TRAN, 1993; EDGE et al., 2006). De fato, a concentração de HCO_3^- e o aumento no pH sanguíneo são muito semelhantes quando consumido 0,3 ou 0,4 g/kg corporal de NaHCO_3 , e doses acima dessas parece não oferecer benefícios adicionais, além de aumentarem a possibilidade de distúrbios GI (McNAUGHTON, 1992). Carr et al. (2011c) constataram um aumento de $6,6 \text{ mmol/L}^{-1}$ na concentração de HCO_3^- plasmático com o consumo de 0,3 g/kg de NaHCO_3 , resultado semelhante ao encontrado por Bishop & Claudius (2005) com a suplementação de duas doses contendo 0,2 g/kg de NaHCO_3 (0,4 g/kg no total). Apesar dos relatos de sintomas GI com o consumo de NaHCO_3 , poucos estudos buscaram investigar os distúrbios GI através da utilização de questionários específicos, como utilizado por Jeukendrup et al. (2002) e Bovenschen et al. (2006), o que justifica a realização de mais estudos para esclarecer esses aspectos.

Sugestão de consumo do NaHCO_3

Com base no levantamento bibliográfico realizado, apresentamos abaixo sugestões para o consumo de NaHCO_3 (Tabela 1), com objetivo de maximizar o efeito ergogênico desse suplemento, bem como evitar, ou diminuir os possíveis distúrbios GI.

Tabela 1 – Recomendações sobre o consumo de NaHCO₃.

Tempo de consumo antes do início do exercício	120 a 60 minutos
Dosagem	0,3 a 0,4 g/kg corporal no total dividida em 2 ou 3 doses
Intervalo entre as doses	15 a 30 minutos
Forma de consumo	Cápsulas consumidas com água

CONCLUSÃO

Com base na literatura revisada, pode-se concluir que o aumento do efluxo de ions H⁺ do músculo para o sangue, e a consequente manutenção do equilíbrio acido-base intramuscular ocasionado pela suplementação de NaHCO₃, pode melhorar a performance em exercícios intermitentes de alta intensidade. O uso de altas dose de NaHCO₃ (> 0,4 g/kg) parece promover maior distúrbio gastrointestinal, além de não resultar benefícios adicionais ao desempenho. O distúrbio GI pode ser agravado pelo consumo do NaHCO₃ diluído em líquido (água ou bebida de baixas calorias), e consumida em uma única dose, sendo recomendado o seu uso em cápsulas e divididas em doses iguais, a cada 15 ou 30 minutos. O consumo de 1,5 g/kg de CHO ingeridos junto com a primeira dose de NaHCO₃ parece diminuir o distúrbio GI e aumentar a concentração plasmática de HCO₃⁻ e o pH, no entanto, ainda não é clara se essa estratégia pode resultar em aumento do desempenho. Em exercícios intermitentes de curta duração, é recomendado que a última dose do suplemento seja ingerida a 60 minutos antes do início da atividade, já que o pico de HCO₃⁻ e pH ocorrem durante esse período.

REFERÊNCIAS

ADROGUÉ, H.E., ADROGUÉ, H.J. Acid-base physiology and disorders. *Respiratory Care*. 46(4), 328-341, 2001.

ALLEN, D.G. Skeletal muscle function: role of ionic changes in fatigue, damage and disease. **Clin Exp Pharmacol Physiol**. 31(8):485-93, 2004.

ALLEN, D.G., LAMB, G.D., WESTERBLAD, H. Impaired calcium release during fatigue. **J Appl Physiol**. 104: 296–305, 2008.

ARTIOLI, G.G., COELHO, D.F., BENATTI, F.B., GAILEY, A.C., GUALANO B., LANCHÁ JUNIOR, A.H. A ingestão de bicarbonato de sódio pode contribuir para o desempenho em lutas de judô? **Rev Bras Med Esporte**. 12, (6), 2006.

ARTIOLI, G.G., GUALANO, B., COELHO, D.F., BENATTI, F.B., GAILEY, A.W., LANCHÁ JR, AH. Does sodium-bicarbonate ingestion improve simulated judo performance? **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**. 17: 206-217, 2007.

BISHOP, D., CLAUDIUS, B. Effects of induced metabolic alkalosis on prolonged intermittent-sprint performance. **Med Sci Sports Exercise**. 37:759-767, 2005.

BISHOP, D., EDGE, J., DAVIS, C., GOODMAN, C., Induced metabolic alkalosis affects muscle metabolism and repeated-sprint ability. **Med Sci Sports Exercise**. 36:807-813, 2004.

BOVENSCHEN, H.J., JANSSEN, M.J., OIJEN, M.G., LAHEIJ, R.J., ROSSUM, L.G., JANSEN, J.B. Evaluation of a gastrointestinal symptoms questionnaire. **Dig Dis Sci**. 51:1509–1515, 2006.

BRUTON, J.D., LÄNNERGRÉN, J., WESTERBLAD, H. Effects of CO₂-induced acidification on the fatigue resistance of single mouse muscle fibers at 28 degrees C. **J Appl Physiol**. 85(2):478-83. 1998.

CAIRNS, S.P., LINDINGER, M.I. Do multiple ionic interactions contribute to skeletal muscle fatigue? **J Physiol**. Sep 1;586 (Pt 17):4039-54, 2008.

CAMERON, S.L., MCLAY-COOKE, R.T., BROWN, R.C., GRAY, A.R., FAIRBAIRN, K.A. Increased blood pH but not performance with sodium bicarbonate supplementation in elite rugby union players. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**. 20: 307-321, 2010.

CARR, A.J., GORE, C.G., DAWSON, B. Induced alkalosis and caffeine supplementation: Effects on 2,000-m rowing performance. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**. 21, 357 -364, 2011a.

CARR, A.J., HOPKINS, W.G., GORE, C.G. Effects of acute alkalosis and acidosis on performance: A Meta-Analysis. **Sports Med**. 41(10); 801-814, 2011b.

CARR, A.J., SLATER, G.J., GORE, C.J., DAWSON, B., BURKE, L.M. Effect of sodium bicarbonate on $[\text{HCO}_3^-]$, pH, and gastrointestinal symptoms. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**. 21, 189-194, 2011c.

CHASIOTIS, D., HULTMAN, E., SAHLIN, K. Acidotic depression of cyclic amp accumulation and phosphorylase b to a transformation in skeletal muscle of man. **J Physiol**. 335: 197-204, 1983.

CHIN, E.R., ALLEN, D.G. The contribution of pH-dependent mechanisms to fatigue at different intensities in mammalian single muscle fibres. **J Physiol**. 512 (3):831-40, 1998.

CLAUSEN, T. $\text{Na}^+\text{-K}^+$ pump regulation and skeletal muscle contractility. **Physiol Rev**. 83: 1269–1324, 2003.

CLAUSEN T., EVERTS M.E. K^+ -induced inhibition of contractile force in rat skeletal muscle: role of active $\text{Na}^+\text{-K}^+$ transport. **Am J Physiol Cell Physiol**. 261, 799–807, 1991.

COSTILL, D.L., VERSTAPPEN, F., KUIPERS, H., JANSSEN, E., FINK, W. Acid base balance during repeated bouts of exercise: influence of HCO_3^- . **Int J Sports Med**. 5: 228-231, 1984.

DEBOLD, E.P., BECK, S.E., WARSHAW, D.M. Effect of low pH on single skeletal muscle myosin mechanics and kinetics. **Am J Physiol Cell Physiol**. 295(1), 2008.

DEBOLD, E.P., LONGYEAR, T.J., TURNER, M.A. The effects of phosphate and acidosis on regulated thin-filament velocity in an in vitro motility assay. **J Appl Physiol**. 113(9):1413-22, 2012.

DUTKA, T.L., COLE, L., LAMB, G.D. Calcium phosphate precipitation in the sarcoplasmic reticulum reduces action potential-mediated Ca^{2+} release in mammalian skeletal muscle. **Am J Physiol Cell Physiol**. 289: 1502–1512, 2005.

DUTKA, T.L., LAMB, G.D. Na^+ - K^+ pumps in the transverse tubular system of skeletal muscle fibers preferentially use ATP from glycolysis. **Am J Physiol Cell Physiol**. 293: 967–977, 2007.

EDGE, J., BISHOP, D., GOODMAN, C. Effects of chronic NaHCO_3 ingestion during interval training on changes to muscle buffer capacity, metabolism, and short-term endurance performance. **J Appl Physiol**. 101: 918–925, 2006.

FITTS, R.H. Cellular mechanisms of fatigue muscle. **Physiological Reviews**. 74: 49-93, 1994.

FITTS, R.H. The cross-bridge cycle and skeletal muscle fatigue. **J Appl Physiol**. 104: 551-558, 2008.

FRYER, M.W., OWEN, V.J., LAMB, G.D., STEPHENSON, D.G. Effects of creatine phosphate and Pi on Ca^{2+} movements and tension development in rat skinned skeletal muscle fibres. **J Physiol**. 482: 123–140, 1995.

FULCERI, R., BELLOMO, G., GAMBERUCCI, A., ROMANI, A., BENEDETTI, A. Physiological concentrations of inorganic phosphate affect MgATP-dependent Ca^{2+} storage and inositol trisphosphate-induced Ca^{2+} efflux in microsomal vesicles from non-hepatic cells. **Biochem J**. 289: 299–306, 1993.

GAITANOS, G.C., WILLIAMS, C., BOOBIS, L.H., BROOKS, S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. **J Appl Physiol.** 75: 712-719, 1993.

HERMANSEN, L., OSNES, J. Blood and muscle pH after maximal exercise in man. **J Appl Physiol.** 32: 304–308, 1972.

HOLLIDGE-HORVAT, M.G., PAROLIN, M.L., WONG, D., JONES, N.L., HEIGJENHAUSER, G.J. Effect of induced metabolic alkalosis on human skeletal muscle metabolism during exercise. **Am J Physiol.** 278: 316-329, 2000.

HOOD, V.L., SCHUBERT, C., KELLER, U, MULLER, S. Effect of systemic pH on pHi and lactic acid generation in exhaustive forearm exercise. **Am J Physiol.** 255: 479–485, 1988.

HORSWILL, C.A. Effects of bicarbonate, citrate and phosphate loading on performance. **Int J Sport Nutr.** 5: 111-119, 1995.

HUNTER, A.M., de VITO, G., BOLGER, C., MULLANY, H., GALLOWAY, S.D.R. The effect of induced alkalosis and submaximal cycling on neuromuscular response during sustained isometric contraction. **Journal of Sports Sciences**, October. 27(12): 1261–1269, 2009.

IBANEZ, J., PULLINEN, T., GOROSTIAGA, E., POSTIGO, A., MERO, A. Blood lactate and ammonia in short-term anaerobic work following induced alkalosis. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness.** 35(3): 187–193, 1995.

JEUKENDRUP, A.E., VET-JOOP, K., STURK, A., STEGEN, J.H.J.C., SENDEN, J., SARIS, W.H.M., WAGENMAKERS, A.J.M. Relationship between gastrointestinal complaints and endotoxaemia, cytokine release and the acute-phase reaction during and after a long-distance triathlon in highly trained men. **Clin Sci.** 98(1): 47–55, 2000.

JOYCE, S., MINAHAN, C., ANDERSON, M., OSBORNE, M. Acute and chronic loading of sodium bicarbonate in highly trained swimmers. **Eur J Appl Physiol.** 112(2): 461-469, 2011.

JUEL, C. Changes in interstitial K⁺ and pH during exercise: implications for blood flow regulation. **Appl Physiol Nutr Metab.** 32(5):846-51, 2007.

KILDING, A.E., OVERTON, C., GLEAVE, J. Effects of caffeine, sodium bicarbonate and their combined ingestion on high-intensity cycling performance. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism.** 22: 175 - 183, 2012.

KNUTH, S. T., DAVE, H., PETERS, J.R., FITTS, R.H. Low cell pH depresses peak power in rat skeletal muscle fibres at both 30°C and 15°C: implications for muscle fatigue. **J Physiol.** 575 (3): 887–899, 2006.

KOWALCHUCK, J.M., SCHEUERMANN, B.W. Acid-base balance: Origin of plasma [H⁺] during exercise. **Can J Appl Physiol.** 20: 341-356, 1995.

KOZAC-COLLINS, K., BURKE, E.R., SCHOENE, R. Sodium bicarbonate ingestion does not improve performance in women cyclists. **Med Sci Sports Exercise.** 26(12): 1510-1515, 1994.

LÄNNERGRÉN, J., WESTERBLAD, H. Force decline due to fatigue and intracellular acidification in isolated fibres from mouse skeletal muscle. **J Physiol.** 434:307-22, 1991.

LAVER, D.R., LENZ, G.K.E., DULHUNTY, A.F. Phosphate ion channels in the sarcoplasmic reticulum of rabbit skeletal muscle. **J Physiol.** 537: 763–778, 2001.

LAVENDER, G., BIRD, S.R. Effect of sodium bicarbonate ingestion upon repeated sprints. **Br J Sports Med.** 23(1): 41-45, 1989.

LEPPIK, J.A., AUGHEY, R.J., MEDVED, I., FAIRWEATHER, I., CAREY, M.F., MCKENNA, M., J. Prolonged exercise to fatigue in humans impairs skeletal muscle Na⁺-K⁺-ATPase activity, sarcoplasmic reticulum Ca²⁺ release, and Ca²⁺ uptake. **J Appl Physiol.** 97: 1414–1423, 2004.

MAINWOOD, G.W., RENAUD, J.M. The effect of acid-base balance on fatigue of skeletal muscle. **Can J Physiol Pharmacol.** 63(5): 403-16, 1985.

MATSON, L.G., TRAN, Z.V. Effects of sodium bicarbonate ingestion on anaerobic performance: A meta-analytic review. **International Journal of Sport Nutrition.** 3(1): 2–28. 1993.

MATSUURA, R., ARIMITSU, T., KIMURA, T., YUNOKI, T., YANO, T. Effect of oral administration of sodium bicarbonate on surface EMG activity during repeated cycling sprints. **Eur J Appl Physiol.** 101:409–417, 2007.

McNAUGHTON L.R. Bicarbonate ingestion: effects of dosage on 60 s cycle ergometry. **J Sports Sci.** 10: 415–423, 1992.

McNAUGHTON, L.R, SIEGLER, J., MIDGLEY, A. Ergogenic effects of sodium bicarbonate. **Curr Sports Med Rep.** 7, 230 – 236, 2008.

MESSONNIER, L., KRISTENSEN, M., JUEL, C., DENIS, C. Importance of pH regulation and lactate/H⁺ transport capacity for work production during supramaximal exercise in humans. **J Appl Physiol.** 102: 1936–1944, 2006.

METZGER, J.M., MOSS, R.L. pH modulation of the kinetics of a Ca²⁺-sensitive cross-bridge state transition in mammalian single skeletal muscle fibres. **J Physiol.** 428: 751–764, 1990.

PARRY-BILLINGS, M., MACLAREN, D. P. M. The effect of sodium bicarbonate and sodium citrate ingestion on anaerobic power during intermittent exercise. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol.** 55: 524-529, 1986. 55: 524-529, 1986.

PATE, E., BHIMANI, M., FRANKS-SKIBA, K., COOKE, R. Reduced effect of pH on skinned rabbit psoas muscle mechanics at high temperatures: implications for fatigue. **J Physiol.** 486: 689–694, 1995.

PEART, D.J., KIRK, R.J., HILLMAN, A.R., MADDEN, L.A., SIEGLER, J.C., VINCE, R.V. The physiological stress response to high-intensity sprint exercise following the ingestion of sodium bicarbonate. **Eur J Appl Physiol.** 113: 127-134., 2013.

PRICE, M., MOSS, P., RANCE, S. Effects of sodium bicarbonate ingestion on prolonged intermittent exercise. **Med Sci Sports Exercise.** 35:1303-1308, 2003.

PRUSCINO, C.L., ROSS, M.L.R., GREGORY, J.R., SAVAGE, B., FLANAGAN, T.R. Effects of sodium bicarbonate, caffeine, and their combination on repeated 200-m freestyle performance. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism.** 18: 116-130, 2008.

RAYMER, G.H., MARSH, G.D., KOWALCHUK, J.M., THOMPSON, R.T. Metabolic effects of induced alkalosis during progressive forearm exercise to fatigue. **J Appl Physiol.** 96: 2050–2056, 2004.

REQUENA, B., ZABALA, M., PADIAL, P., FERICHE, B. Sodium bicarbonate and sodium citrate: Ergogenic aids? **Journal of Strength and Conditioning Research.** 19(1):213–224, 2005.

ROBERGS, R., HUTCHINSON, K., HENDEE, S., MADDEN, S., SIEGLER, J. Influence of pre-exercise acidosis and alkalosis on the kinetics of acid-base recovery following intense exercise. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism.** 14: 5-74, 2005.

SAHLIN, K., EDSTRÖM, L., SJÖHOLM, H. Fatigue and phosphocreatine depletion during carbon dioxide-induced acidosis in rat muscle. **Am J Physiol.** 245(1):C15-20, 1983.

SIEGLER, J.C., MCNAUGHTON, L.R., MIDGLEY, A.W., KEATLEY, S., HILLMAN, A. Metabolic alkalosis, recovery and sprint performance. **Int J Sports Med.** 31: 797– 802, 2010a.

SIEGLER, J.C., HIRSCHER, K. Sodium bicarbonate ingestion and boxing performance. **J Strength Cond Res.** 24:103-8, 2010b.

SOSTARIC, S.M, SKINNER, S.L, BROWN, M.J, SANGKABUTRA, T., MEDVED, I., MEDLEY, T., SELIG, S.E., FAIRWEATHER, I., RUTAR, D., MCKENNA, M.J. Alkalosis increases muscle K⁺ release, but lowers plasma [K⁺] and delays fatigue during dynamic forearm exercise. **J Physiol.** 570:185–205. 2006

SPRIET, L.L., SODERLUND, K., BERGSTROM, M., HULTMAN, E. Skeletal muscle glycogenolysis, glycolysis, and pH during electrical stimulation in men. **J Appl Physiol.** 62: 616-621, 1987.

SPRIET, L.L., LINDINGER, M.I., MCKELVIE, R.S., HEIGENHAUSER, G.J., JONES, N.L. Muscle glycogenolysis and H⁺ concentration during maximal intermittent cycling. **J Appl Physiol.** 66: 8-13, 1989.

STEPHENS, T.J., M.J. MCKENNA, B.J. CANNY, R.J. SNOW, AND G.K. MCCONELL. Effect of sodium bicarbonate on muscle metabolism during intense endurance cycling. **Med Sci Sports Exercise.** 34: 614-621, 2002.

STREET, D., NIELSEN, J.J., BANGSBO, J., JUEL, C. Metabolic alkalosis reduces exercise-induced acidosis and potassium accumulation in human skeletal muscle interstitium. **J Physiol.** 15; 566 (Pt 2): 481-9, 2005.

TAN, F., POLGLAZE, T., COX, G., DAWSON, B., MUJIKA, I., CLARK. S. Effects of induced alkalosis on simulated match performance in elite female water polo players. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**, 20, 198-205, 2010.

VAN MONTFOORT, M.C.E., VAN DIEREN, L., HOPKINS, W.G., SHEARMAN, J.P. Effects of ingestion of bicarbonate, citrate, lactate and chloride on sprint running. **Med Sci Sports Exercise**. 36(7): 1239–1243, 2004.

VANHATALO, A., MCNAUGHTON, L.R., SIEGLER, J., JONES, A.M. Effect of induced alkalosis on the power–duration relationship for “all-out” exercise. **Med Sci Sports Exercise**. 42: 563–570, 2010.

WESTERBLAD, H., ALLEN, D.G., LANNERGREN, J. Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? **News in Physiological Science**, Baltimore. 17: 17-21, 2002.

WU, C-L., SHIH, M-C., YANG, C-C., HUANG, M-H., CHANG, C-K. Sodium bicarbonate supplementation prevents skilled tennis performance decline after a simulated match. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**. 7:33, 2010.

ZABALA, M., PEINADO, A.B., CALDERÓN, F.J., SAMPEDRO, J., CASTILLO, M.J., BENITO, P.J. Bicarbonate ingestion has no ergogenic effect on consecutive all out sprint tests in BMX elite cyclists. **Eur J Appl Physiol**. 111: 3127–3134, 2011.

ZABALA, M., REQUENA, B., SÁNCHEZ-MUÑOZ, C., GONZÁLEZ-BADILLO, J.J., GARCÍA, I., OOIPIK, V., PAASUKE, M. Effects of sodium bicarbonate ingestion on performance and perceptual responses in a laboratory simulated BMX cycling qualification series. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 22(5): 1645-1653, 2008.

ZINNER, C., WAHL, P., ACHTZEHN, S., SPERLICH, B., MESTER, J. Effects of bicarbonate ingestion and high intensity exercise on lactate and H⁺-ion distribution in different blood compartments. **Eur J Appl Physiol**. 111(8): 1641-1648. 2011.

2º artigo: artigo de resultados

FELIPPE, LJC; LIMA-SILVA, AE. Separate and combined effects of caffeine and sodium bicarbonate intake on judo performance. Será submetido a International Journal of Sports Physiology and Performance

RESUMO

Objetivo: Investigar o efeito isolado e combinado da suplementação com cafeína (CAF) e bicarbonato de sódio (NaHCO₃) no desempenho de judocas. *Design:* O estudo foi conduzido de maneira duplo-cego, randomizado e contrabalanceando usando o design Quadrado Latino Parcial. *Métodos:* Dez judocas realizaram quatro formas de suplementação (i) NaHCO₃, (ii) CAF, (iii) NaHCO₃ + CAF e (iv) placebo, e em seguida realizaram três Special Judo Fitness Test (SJFT) seguidos por cinco minutos de repouso. *Resultados:* No primeiro SJFT, a combinação NaHCO₃ resultou em maior número de arremessos em comparação com o placebo (24,4 ± 1,6 e 23,2 ± 1,5 arremessos, respectivamente, p < 0,05). Não houve diferença significativa entre as condições no segundo SJFT (p > 0,05). No terceiro SJFT as condições NaHCO₃ e NaHCO₃ + CAF resultaram em maior número de arremessos em comparação ao placebo (23,7 ± 1,6; 24,4 ± 1,0; e 22 ± 1,6 arremessos respectivamente, p < 0,05). A soma total de arremessos foi maior apenas na condição NaHCO₃ + CAF em comparação com o placebo (68,8 ± 4,4 e 72,7 ± 3,1 arremessos, respectivamente, p < 0,05). O pico de lactato após cada SJFT foi maior em todas condições experimentais (p > 0,05) comparado ao placebo. Não houve diferença significativa na PSE entre as condições (p > 0,05). *Conclusão:* Os resultados do presente estudo mostram que a suplementação combinada de bicarbonato de sódio e cafeína resulta em aumento da performance quando comparado a com o placebo.

PALAVRAS-CHAVE

Acidose, alcalose, capacidade de tamponamento, arte marcial, estimulador do sistema nervoso central, equilíbrio ácido-base

ABSTRACT

Objective: Investigate the isolated and combined effect of caffeine (CAF) and sodium bicarbonate (NaHCO₃) on judo performance. *Design:* Double-blinded, randomized, and counterbalanced design using a Partial Latin Square experimental design. *Methods:* Ten judokas performed four supplementation protocols (i) NaHCO₃, (ii) CAF, (iii) NaHCO₃ plus CAF and (iv) placebo followed by

three Special Judo Fitness Tests (SJFT) interspaced with 5-min rest. *Results:* In the first SJFT, the combined supplement (NaHCO₃ + CAF) resulted in a higher number of throws compared to placebo (24.4 ± 0.9 and 23.2 ± 1.5 throws respectively, $p < 0.05$). There was no significant difference between conditions for the second SJFT ($p > 0.05$). In the third SJFT, NaHCO₃ and NaHCO₃ + CAF resulted in increased throws when compared to placebo (23.7 ± 1.6, 24.4 ± 1.0, and 22 ± 1.6 throws respectively, $p < 0.05$). When the total throws performed in the three SJFT were summed, they were higher than placebo only for NaHCO₃ + CAF (68.8 ± 4.4 and 72.7 ± 3.1 throws, respectively, $p < 0.05$). Peak plasma lactate after each SJFT was higher in all experimental conditions compared to placebo ($p < 0.05$). There was no significant difference in RPE across the conditions ($p > 0.05$). *Conclusions:* The results of the current study show that the combined supplementation of caffeine and sodium bicarbonate increases judo performance when compared to placebo.

KEYWORDS

Acidosis, alkalosis, buffer capacity, martial arts, central nervous system stimulants, acid-base equilibrium

INTRODUCTION

Judo is an intermittent sport with actions lasting between 15 and 30 seconds, which are interspaced with short pauses lasting from five to 10 seconds.¹ Because of this, anaerobic glycolysis contributes highly to total energy expenditure.² Increased anaerobic glycolysis is responsible for an increase in both muscle and blood H⁺ and potentially inducing fatigue.³ It is essential therefore for success during the competitions that athletes delay the inhibitory effects provoked by acidosis during judo combats.

Several studies have reported that sodium bicarbonate (NaHCO₃) ingestion is able to reduce acidosis during exercises in which anaerobic glycolysis contribution is large.⁴⁻⁶ It is believed that the reduction in extracellular acidosis caused by NaHCO₃ ingestion allows a greater H⁺ efflux from the muscle to the blood and enables an increase in exercise intensity and/or duration.^{4,5} In particular, Artioli et al.⁶ conducted a study investigating the effects of NaHCO₃ on a specific

test to measure judo performance (Special Judo Fitness test, SJFT) and found that athletes performed a greater number of throws (improved performance) after NaHCO_3 administration, when compared with placebo. Therefore, it seems that the consumption of NaHCO_3 might be a relevant nutritional strategy to improve the judo performance.

Another supplement potentially able to improve performance during high-intensity exercise with a high anaerobic contribution might be caffeine.^{7,8} Some studies have shown that caffeine enhances performance during high-intensity exercises due to a reduced perceived exertion for a given exercise workload.^{8,9} A few studies have also suggested that caffeine causes a direct action on muscle fibers. Caffeine would increase calcium mobilization from the sarcoplasmic reticulum, although this effect has only been demonstrated *in vitro*, when toxic doses of caffeine were utilized.⁹ On the other hand, an increased catecholamine release can be obtained even with physiological caffeine doses ($3\text{-}6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$),^{10,11} which in turn stimulates the muscle anaerobic glycolysis *in vivo*.¹² While caffeine might be a potentially interesting supplement for improving judo performance due to its ability to increase anaerobic glycolysis, this increased anaerobic glycolysis might contribute to a higher exercise-induced pH disturbance. NaHCO_3 presents a reasonable ergogenic aid to act synergistically with caffeine to improve the judo performance.

In this regard, an important point to be taken into account is that few studies have examined the combined effect of NaHCO_3 and caffeine supplementation on performance, and their synergistic effects on judo performance is unknown. In addition, these studies were conducted using continuous tasks, in which the anaerobic contribution may be lower than during intermittent exercises as judo.^{10,13,14} It could be hypothesized that NaHCO_3 and caffeine might have a more positive effect on judo performance, where anaerobic glycolysis may be more activated and consequently acid-base equilibrium more disturbed.¹⁵

Therefore, the aim of this study was to compare the isolated and combined administration of NaHCO_3 and caffeine on performance during multiple, judo-specific test. We hypothesized that the combined consumption of NaHCO_3 and caffeine would increase judo performance to a greater magnitude than when NaHCO_3 and caffeine were administered individually.

METHODS

Participants

Ten experienced male judo athletes (15 ± 5 years of judo practice; seven black belts and three brown belts; 23 ± 5 years; 66.0 ± 5.3 kg; 169.4 ± 6.1 cm; and 6.9 ± 2.7 % of body fat), who were actively competing at regional or national level, participated in this study. Before starting the procedures, participants were informed of the requirements, benefits and risks of the study and signed a consent form. This investigation was approved by the Ethics and Research Committee of the Federal University of Alagoas.

Experimental design

The following anthropometric measurements were firstly taken: body mass, height, and skinfold thickness (triceps, abdomen and thigh). Body density was determined using the equation proposed by Jackson and Pollock,¹⁶ and converted to body fat percentage by the Siri's equation.¹⁷ Then, the athletes performed four supplementation protocols [placebo (PLA), NaHCO_3 , caffeine (CAF), and NaHCO_3 plus CAF], with a 1-week period between them for washout. This study adopted a double-blinded, randomized, and counterbalanced design using a Partial Latin Square experimental design.

Participants were instructed not to consume alcoholic beverages or foods and beverages containing caffeine within 48 hours of each test, and not to perform strenuous exercise in the last 24 hours. The athletes performed the tests hydrated and fed, with the last meal taken two hours before the start of the supplementation protocol. The athletes were instructed to record their diet 24 hours before the first experimental session and to repeat it prior to the subsequent experimental sessions.

Experimental procedures

Before starting the supplementation, the athletes completed a questionnaire of gastrointestinal discomfort¹⁸, and then a first capillary blood sample (25 μL) was

taken from the ear lobe for measurement of plasma lactate (Figure 1). Thereafter, NaHCO_3 was given in three doses spaced 30 minutes apart ($0.1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ of body weight at -120, -90 and -60 min, equating to $0.3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ of body weight). Caffeine ($6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ of body weight) was administered 60 min before the test. The placebo (cellulose) was given at the same time points to maintain participants blinded from the supplementation schedule. The supplements and placebo were presented in gelatin capsules of the same color and shape, consumed with water *ad libitum* in the first session. The total water consumed was then recorded and replicated in the next subsequent sessions.

A second blood sample was taken at -10 min. Then, three bouts of tsurikomi-goshi technique (i.e. lifting and pulling hip throw, a most common exercise technique for warm up judo) applied on a partner was performed as a warm up (10, 20 and 30 s for the first, second and third bouts, respectively). The bouts were interspaced by a 10-s recovery. Immediately after the warm up, a blood sample (-5 min) was taken and participants had up a 5-min rest. Then, a pre first SJFT blood sample was taken and the athletes performed three bouts of SJFT, spaced by 5 min rest between them. Additional blood samples was collected after one and five minutes and rating of perceived exertion was assessed after each SJFT. At the end, athletes again completed the gastrointestinal discomfort questionnaire.

Figure 1a

Condition

Placebo	P	P	P+P
NaHCO_3	B	B	B+P
Caffeine	P	P	P+C
NaHCO_3 +Caffeine	B	B	B+C



Figure 1b

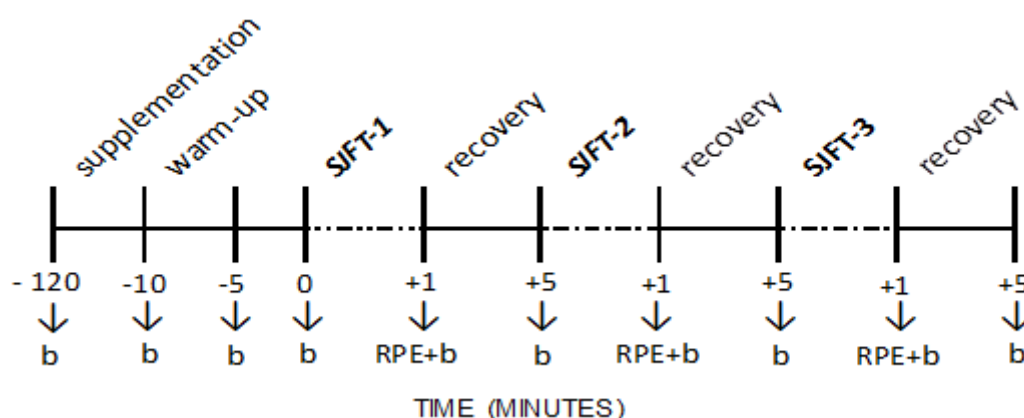


Figure 1. Supplementation protocol (a) and Experimental procedures (b). P = placebo, B = sodium bicarbonate, C = caffeine, b = blood sample, RPE = rating of perceived exertion.

Special Judo Fitness test

The SJFT procedures,¹⁹ and its reliability and reproducibility to measure judo performance have been described in detail elsewhere.⁶ Briefly, the TORI (attacker, i.e. evaluated athlete) began the test between two UKEs (defender, i.e. non-evaluated athlete), 3 m from one another. The UKEs were of similar body weight and height than TORI, and were always the same for a particular TORI throughout the study. After a sound signal, the TORI ran to one UKE and applied a throwing technique (ippon-seoi-nage, i.e. full shoulder throw). Then, the TORI immediately ran to another UKE and applied a new throw. The TORI was asked to complete as many throws as possible in a given time. Each SJFT bout comprised 3 series (1 x 15 s, and 2 x 30 s) separated by 10-s recovery. Performance was determined by the total throws completed during each SJFT and the sum of the three SJFT.^{6,20}

Blood analysis and RPE measurement

Blood samples were immediately transferred to micro tubes containing 25µL of fluoride at 1%, and subsequently centrifuged for 10 min at 3,000g for plasma separation. Plasma was analyzed for lactate concentration using the enzymatic colorimetric method (lactate kit, Biotechnica, Brazil). Peak lactate concentration was

determined as the highest value reached after each SJFT. The RPE was measured using the 15-point Borg scale²¹.

Gastrointestinal side effects

To check possible symptoms of gastrointestinal discomfort a questionnaire was used.¹⁸ The questionnaire consisted of 19 items containing questions regarding heartburn, dizziness and headache. The athletes attributed values ranging from 1 to 10, where 1 is “*no problem at all*” and 10 “*the worst it has ever been*”. The symptoms were considered severe when the score was equal to or greater than 5.

Statistical analysis

Data were tested for normality using Kolmogorov-Smirnov tests. Once normality was confirmed, a two-way analysis of variance with repeated measures (treatment x time) was used to explore differences between supplements and the SJFTs for RPE, lactate and performance. In order to explore simple effects of supplements on a particular SJFT and on overall performance (summed throws during the three SJFT), one-way analysis of variance were also performed. A LSD post hoc test was used to localize where differences occurred. The Cohen's d effect size (ES) for simple effects was also calculated to verify the magnitude of effect of each supplement on performance, assuming values of 0.2, 0.6, 1.2, 2.0, 4.0 and >4.0 as trivial, small, moderate, large, very large and extremely large, respectively.²² Statistical analysis was carried out using SPSS for Windows (Release 17.0.0, Standard Version), while ES was calculated using means and pooled standard deviations (SD) on online Effect Size Calculators website (<http://www.uccs.edu/~lbecker/>). Statistical significance was reported when $p < .05$. Data are reported as mean \pm SD.

RESULTADOS

Performance

There was a main effect of treatment on performance ($P = .030$), with the athletes performing more throws after $\text{NaHCO}_3 + \text{CAF}$ compared to PLA. However, there was no main effect for time ($P = .465$) or treatment \times time interaction ($P = .153$).

The performance for each SJFT during the four supplements are shown in Figure 2a. In the first SJFT, athletes performed more throws during $\text{NaHCO}_3 + \text{CAF}$ (24.4 ± 1.5 throws) than PLA (23.2 ± 1.5 throws, $P = .018$; $\text{ES} = .80$). However, there was no statistically significant difference between PLA and CAF (24.0 ± 1.7 throws, $P = .182$, $\text{ES} = .50$) or PLA and NaHCO_3 (23.8 ± 0.9 throws, $P = .217$, $\text{ES} = .48$). In the second SJFT, there was no difference between the conditions ($P > .05$). In the third SJFT, the number of throws was higher after both $\text{NaHCO}_3 + \text{CAF}$ (24.4 ± 1.0 throws, $P = .001$, $\text{ES} = 1.42$) and NaHCO_3 (23.7 ± 1.1 throws, $P = .030$, $\text{ES} = 0.87$) than PLA (22.5 ± 1.6 throws). However, there was no statistically significant difference between PLA and CAF (23.5 ± 2.0 throws, $P = .170$, $\text{ES} = .55$). When summed (total throws in the three SJFTs), the athletes performed more throws only after $\text{NaHCO}_3 + \text{CAF}$ compared to PLA (72.7 ± 3.1 versus 68.8 ± 4.2 throws, respectively, $P = .003$; $\text{ES} = 1.05$; Figure 2b).

Figure 2a

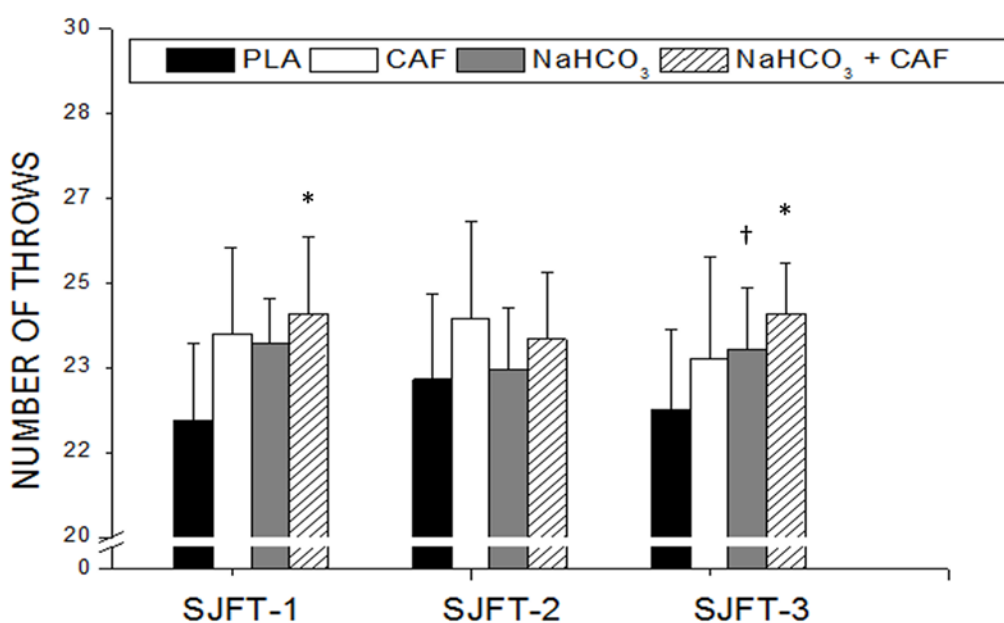


Figure 2b

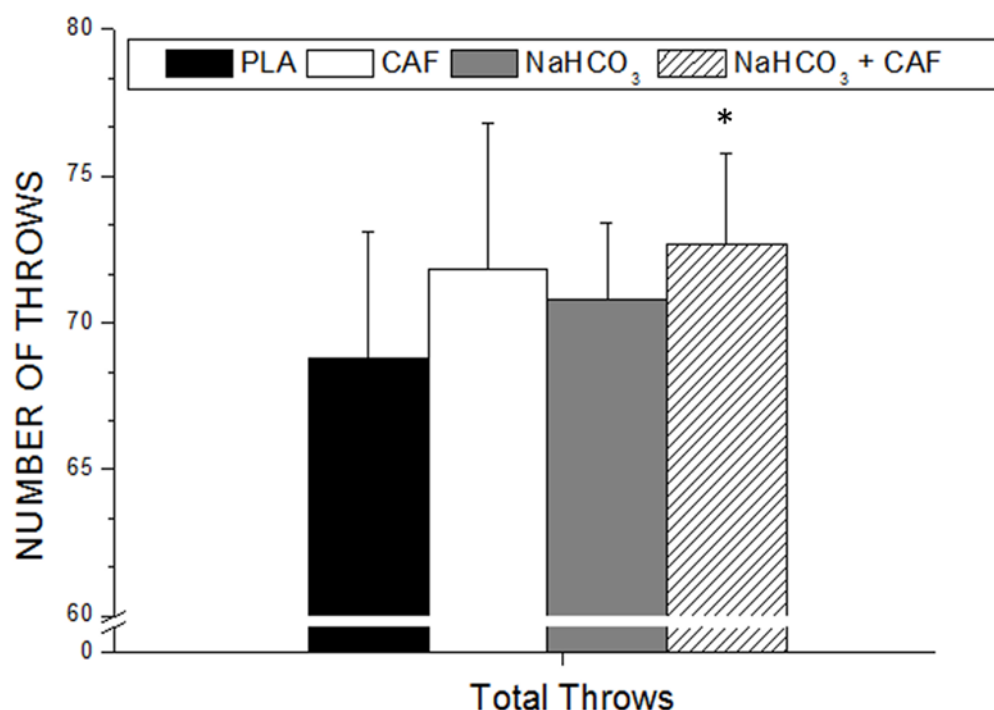


Figure 2. Number of throws performed in each bout of the Special Judo Fitness Test (a) and the total number of throws performed during the three tests (b). Caffeine (CAF), sodium bicarbonate (NaHCO₃), sodium bicarbonate + caffeine (NaHCO₃ + CAF) and placebo (PLA). Data are presented as the mean ± SD. *NaHCO₃ + CAF is significantly higher than PLA; †NaHCO₃ is significantly higher than PLA.

RPE and plasma lactate

For RPE, there was no main effect of treatment ($P = .177$) or treatment x time interaction ($P = .247$). However, there was a main effect for time ($P = .009$), with RPE increasing progressively from SJFT-1 to SJFT-3.

For plasma [La], there was a main effect of treatment ($P = .001$), with values being higher for the three supplements compared to PLA (Figure 3). The lactate peak for SJFT-1 was significantly higher in CAF compared to PLA ($P = .001$). For SJFT-2 and SJFT-3 bouts, higher peak lactate levels were found in CAF ($P = .005$ and $P = .004$, respectively), NaHCO₃ ($P = .003$ and $P = .005$, respectively) and NaHCO₃ + CAF ($P = .014$ and $P = .010$, respectively) compared to PLA. There was also a main effect of time ($P = .008$), with values increasing progressively

throughout the SJFTs. However, there was no interaction treatment x time effect ($P = .554$).

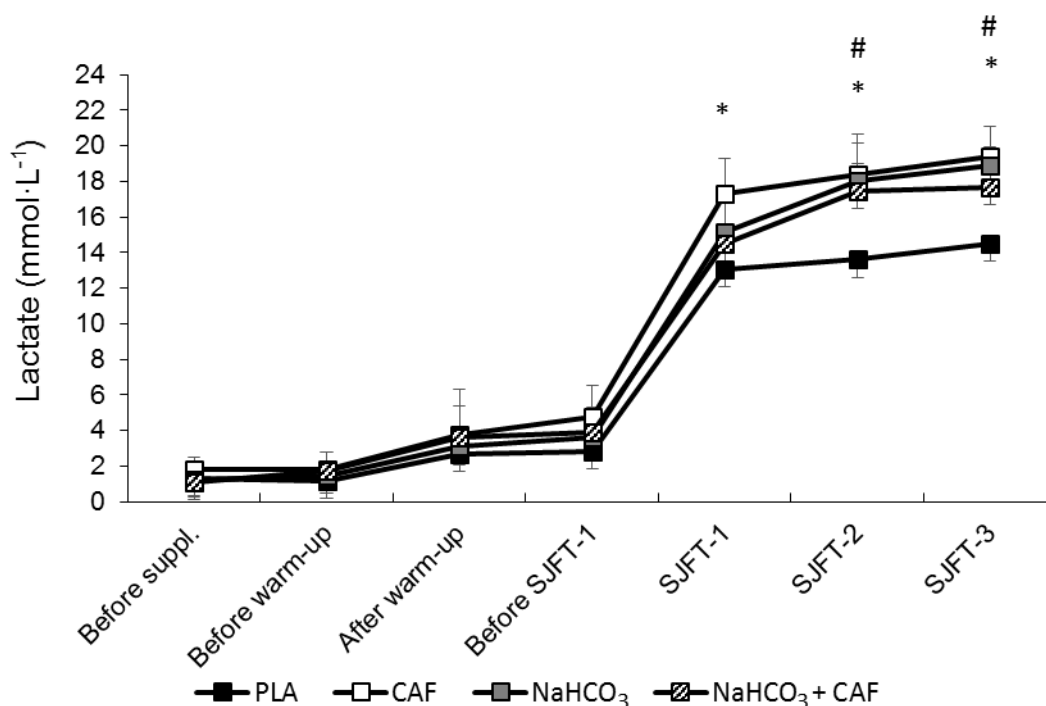


Figure 3. Plasma lactate concentration before supplementation, before the warm up, after the warm up, before Special Judo Fitness Test 1 (SJFT-1), and at the peak after each bout of the SJFTs. Data are presented as mean \pm SD. *CAF is significantly higher than PLA at the same moment. #CAF, NaHCO₃ and NaHCO₃ + CAF are significantly higher than PLA at the same moment.

Gastrointestinal symptoms

No athlete reported gastrointestinal discomfort before supplementation. Similarly, after the test no athlete showed gastrointestinal discomfort in the PLA and CAF conditions. However, two athletes reported flatulence (6 and 9 points) and one urge to defecate (7 point) after the test in the NaHCO₃ condition. When NaHCO₃ was combined to CAF (NaHCO₃ + CAF), one of these three athletes reported again flatulence (10 point), but the other two athletes did not present any gastrointestinal discomfort.

DISCUSSION

The purpose of this study was to investigate the individual and combined effect of NaHCO₃ and caffeine ingestion on performance, RPE, and lactate responses during repeated tests specific to measure judo performance. Our results demonstrate that the combined use of NaHCO₃ and caffeine improved the overall performance of judo athletes during three successive SJFT. However, when administered in isolated form (caffeine or NaHCO₃ alone), the performance improvement either was not significant or was of lower magnitude (i.e. lower effect size).

Some studies have investigated the effect of isolated and combined caffeine and sodium bicarbonate intake on athletic performance.^{10,13,14} These studies produced conflicting results considering the supplementation effects on performance. For example, Pruscino et al.¹³ found increased performance in two series of 200 meters swimming freestyle (30 minutes between them) when NaHCO₃ was provided either separately or combined with caffeine, suggesting that any ergogenic effect may have been generated by NaHCO₃ alone. On the other hand, Carr et al.¹⁴ and Christensen et al.¹⁰ found increased performance in elite rowers (2000-m rowing time-trial and 6-min maximal performance test on a rowing ergometer, respectively) only when caffeine was consumed separately, but not when combined with NaHCO₃, suggesting that caffeine may be a more powerful supplement and its combination with NaHCO₃ may offset its ergogenic effects. In our study, we found that when these two supplements were combined, overall performance during a judo task was improved to a higher magnitude than when they were consumed individually. Together, these results suggest that the combined and separate effects of caffeine and NaHCO₃ might be task-dependent.¹³

It is interesting to note that the form by which NaHCO₃ is administered may positively or negatively affect performance. Carr et al.²³ reported that all of their participants felt gastrointestinal discomfort when NaHCO₃ was administered in a single dose (individually or combined with caffeine). In the present study, in which NaHCO₃ was administered in three doses, only three participants experienced gastrointestinal discomfort, and only one of these athletes still felt flatulence when NaHCO₃ was combined with caffeine. These findings underline the importance of the NaHCO₃ supplementation protocol and suggest that divided doses as

performed in our study appears to attenuate gastrointestinal discomfort caused by NaHCO_3 .²³

Improved performance with NaHCO_3 alone was found only during the SJFT-3 in the present study, but this was of lower magnitude compared to NaHCO_3 combined with caffeine, and performance during SJFT-1 and SJFT-2 or summed SJFTs were not improved with NaHCO_3 alone. Similarly, a previous study showed an improved performance with NaHCO_3 alone only during the last two sets of a 3-set SJFT.⁶ These results underline the importance of H^+ buffering from the middle to the end of repeated, high-intensity-exercise bouts, when acidosis increases.⁵ However, in the present study, the improvement in the overall performance was of higher magnitude when NaHCO_3 was combined with caffeine. This suggests that mechanisms other than those associated with H^+ buffer (e.g. central effects) are important to improve the performance during repeated-intermittent exercise specific to judo.

Several studies demonstrated that caffeine intake improves performance during continuous high-intensity exercises.^{7,8,10} However, in the present study, in which we used intermittent, repeated high-intensity bouts of judo movements, caffeine consumption did not result in a significant improvement on performance. In support of this finding, Green et al.¹¹ observed no improvement in performance during four bouts of Wingate test (separated by 4-min rest) after participants had ingested $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ of caffeine. Similarly, Lee et al.²⁴ reported no increase on performance during ten blocks of 5 repeated sprints of 4 s duration and 20 s of active rest after participants had ingested $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ of caffeine. These results suggest that the effect of caffeine on performance during intermittent exercises may be limited. Particularly for judo, only one study was conducted testing caffeine as an ergogenic supplement.²⁰ These authors found no effect of caffeine intake on performance during three consecutive SJFTs performed after 5 days on a weight-loss protocol. Although a direct comparison between our findings and those is not possible because our participants performed SJFTs after a 24-h rest period, whereas in Lopes-Silva et al.²⁰ athletes performed the SJFT after a 5-day body weight reducing protocol, these results might indicate that caffeine alone does not improve judo performance.

In the current study, the ingestion of NaHCO_3 and caffeine alone or in combination increased plasma lactate. Some other studies reported an increased

plasma lactate after either caffeine alone,²⁰ or NaHCO₃ alone,⁵ or both.¹³ One reason for the increased plasma lactate with NaHCO₃ supplementation is that the increased H⁺ efflux is associated with a larger lactate transport to the extracellular environment.²⁵ Furthermore, the increased H⁺ efflux after NaHCO₃ may have prevented a decrease in the activity of glycolytic enzymes (e.g. glycogen phosphorylase and phosphofructokinase), and thus increasing lactate production.²⁶ Caffeine increases catecholamine release and consequently increases glycolytic activity.²⁷ Caffeine also inhibits the phosphodiesterase, increasing glycogen phosphorylase activity.⁹ However, even with increased plasma lactate after both separate and combined NaHCO₃ and caffeine consumption, only the combination resulted in an improved performance. This suggests that a mechanism other than increased glycolytic activity may be related to the increase in performance. One possible explanation for increased performance is that both NaHCO₃ and caffeine increase the reuptake of K⁺ by the muscle fibers, and it may have greater magnitude when both are combined.^{8,27} Further studies should be performed to test this supposition.

The isolated and combined supplementation did not result in a reduction in RPE. However, despite combined supplementation not decreasing the RPE in absolute terms, participants performed a greater number of throws, with participants performing more effort for a given perceived exertion. The mechanism by which the combination of NaHCO₃ and caffeine reduces the RPE for a given effort is not fully understood but may be caused by a summing of distinct effects of caffeine and NaHCO₃ on the CNS.^{8,28} Caffeine acts as an antagonist of adenosine in the CNS, a neuromodulator responsible for the sensation of pain and sleepiness.⁹ On the other hand, the extracellular H⁺ accumulation caused by the high-intense exercise activates afferent nerves III and IV²⁹, which in turn stimulates areas of the brain responsible for pain sensation.³⁰

CONCLUSION

In the present study we found that the combined supplementation of NaHCO₃ and caffeine caused a significant improvement in performance during a specific, intermittent-judo performance test, when compared with placebo. However, when these supplements were consumed individually, the performance

was not improved. From a practical viewpoint, these results support the effectiveness of combined NaHCO₃ and caffeine supplementation rather than consumption of either individually to improve the judo performance.

Practical implications

- The combined NaHCO₃ + caffeine supplementation increases performance during multiple, judo-specific intermittent test.
- The NaHCO₃ and caffeine administered individually were not efficient to improve significantly the judo performance.
- Consumption of NaHCO₃ in divided doses may decrease the incidence of gastrointestinal discomfort.

REFERENCES

1. Van Malderen K, Jacobs C, Ramon K. Time and technique analysis of a judo fight: a comparison between males and females. *Annals of the 11th Annual Congress of the European College of Sport Science. Cologne: Sportverlag Strauss* 2006; 101.
2. Franchini E, Bertuzzi RCM, Takito MY et al. Effects of recovery type after a judo match on blood lactate and performance in specific and non-specific judo task. *Eur J Appl Physiol* 2009; 107:377-383.
3. Nelson CR, Fitts RH. Effects of low cell pH and elevated inorganic phosphate on the pCa-force relationship in single muscle fibers at near-physiological temperatures. *Am J Physiol Cell Physiol* 2014; 306:670–678.
4. Street D, Nielsen JJ, Bangsbo J et al. Metabolic alkalosis reduces exercise-induced acidosis and potassium accumulation in human skeletal muscle interstitium. *J Physiol* 2005; 566:481–489.

5. Bishop D, Edge J, Davis C, Goodman C. Induced metabolic alkalosis affects muscle metabolism and repeated-sprint ability. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36:807-813.
6. Artioli GG, Gualano B, Coelho DF et al. Does sodium-bicarbonate ingestion improve simulated judo performance? *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2007; 17:206-217.
7. Santos RA, Kiss MA, Silva-Cavalcante MD et al. Caffeine alters anaerobic distribution and pacing during a 4000-m cycling time trial. *PLoS One* 2013; 8(9):e75399.
8. Simmonds MJ, Minahan CL, Sabapathy S. Caffeine improves supramaximal cycling but not the rate of anaerobic energy release. *Eur J Appl Physiol* 2010. 109: 287-295.
9. Fredholm BB, Bättig K, Holmén J et al. Actions of caffeine in the brain with special reference to factors that contribute to its widespread use. *Pharmacol Rev* 1999; 51: 83–133.
10. Christensen PM, Petersen MH, Friis SN et al. Caffeine, but not bicarbonate, improves 6 min maximal performance in elite rowers. *Appl Physiol Nutr Metab* 2014; 39:1-6.
11. Greer F, McLean C, Graham TE. Caffeine, performance, and metabolism during repeated Wingate exercise tests. *J Appl Physiol* 1998; 85:1502-1508.
12. Bell DG, Jacobs I, Ellerington K. Effect of caffeine and ephedrine ingestion on anaerobic exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* 2000. 33:1399-1403.
13. Pruscino CL, Ross MLR, Gregory JR et al. Effects of sodium bicarbonate, caffeine, and their combination on repeated 200-m freestyle performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2008; 18:116-130.

14. Carr AJ, Gore CJ, Dawson B. Induced alkalosis and caffeine supplementation: Effects on 2,000-m rowing performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2011; 21:357-364.
15. Mears SA, Shirreffs SM. The effects of high-intensity intermittent exercise compared with continuous exercise on voluntary water ingestion. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2013. 23(5):488-497.
16. Jackson AS, Pollock ML. 1978. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr* 1978; 40(3):497-504.
17. Siri WE. Body composition from fluid space and density. In *Techniques for Measuring Body Composition*; Brozek J, Hanschel A, Eds. National Academy of Science: Washington, DC, 1961.
18. Jeukendrup AE, Vet-joop K, Sturk A et al. 2000. Relationship between gastrointestinal complaints and endotoxaemia, cytokine release and the acute-phase reaction during and after a long-distance triathlon in highly trained men. *Clin Sci (Printed in Great Britain)* 2000; 98: 47-55.
19. Sterkowicz S, Zuchowicz A, Kubica R. Levels of anaerobic and aerobic capacity indices and results for the Special Judo Fitness Test in judo competitors. *J Hum Kinetics* 1992; 2:115-135.
20. Lopes-Silva J.P, Felipe LJC, Silva-Cavalcante MD et al. Caffeine ingestion after rapid weight loss in judo athletes reduces perceived effort and increases plasma lactate concentration without improving performance. *Nutrients* 2014; 6:2931-2945.
21. Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehab Med* 1970; 2(2).92-98.
22. Hopkins WG. How to Interpret Changes in an Athletic Performance Test. *Sportscience* 2004; 8:1-7.

23. Carr AJ, Slater GJ, Gore CJ et al. Effect of sodium bicarbonate on $[\text{HCO}_3^-]$, pH, and gastrointestinal symptoms. *Inter J Sport Nutr Exerc Metab* 2011; 21:189-194.
24. Lee LC, Cheng CF, Astorino TA et al. Effects of carbohydrate combined with caffeine on repeated sprint cycling and agility performance in female athletes. *J Int Soc Sports Nutr* 2014; 1:11-17.
25. Thomas C, Bishop DJ, Lambert K et al. Effects of acute and chronic exercise on sarcolemmal MCT1 and MCT4 contents in human skeletal muscles: current status. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2012; 302:R1–R14.
26. Hollidge-Horvat MG, Parolin ML, Wong D et al. Effect of induced metabolic alkalosis on human skeletal muscle metabolism during exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2000; 278(2): E316-329.
27. Mohr M, Nielsen JJ, Bangsbo J. Caffeine intake improves intense intermittent exercise performance and reduces muscle interstitial potassium accumulation. *J Appl Physiol* 2011; 111:1372–1379.
28. Swank AM, Robertson RJ. Effect of induced alkalosis on perception of exertion during exercise recovery. *J Strength Cond Res* 2002; 16:491–499.
29. Amann M, Proctor LP, Sebranek JJ et al. Opioid-mediated muscle afferents inhibit central motor drive and limit peripheral muscle fatigue development in humans. *J Physiol* 2009; 587(1):271–283.
30. Marchettini P, Simone DA, Caputi G, Ochoa JL. Pain from excitation of identified muscle nociceptors in humans. *Brain Res* 1996; 18(740):109-116.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diferentemente do observado em estudos anteriores, onde o consumo combinado de cafeína e NaHCO_3 não resultou em aumento do desempenho em exercícios constante, o resultado do presente estudo corrobora com a hipótese inicial do benefício adicional que a suplementação combinada pode oferecer em exercícios intermitentes como o judô. No entanto, ao contrário do esperado o lactato plasmático não foi significativamente diferente entre as condições CAF, NaHCO_3 e NaHCO_3 + cafeína, o que enfraquece a hipótese de aumento da glicogenólise como o consumo combinado. Da mesma forma o PSE não foi diferente entre as condições, porém o maior número de arremessos totais com a suplementação combinada pode indicar uma menor percepção de força global, já que houve um aumento na quantidade de trabalho (número de arremessos) sem que houvesse um aumento nessa percepção. Além disso, uma outra possível explicação para aumento do desempenho é o aumento do retorno do K^+ para o interior da fibra muscular, já observado com a suplementação isolada dos dois suplementos. Futuros estudos são necessários para esclarecer o efeito da suplementação combinada de NaHCO_3 e cafeína sobre a modulação iônica da fibra muscular.

4 REFERÊNCIAS

ARTIOLI, G.G. et al. Does sodium-bicarbonate ingestion improve simulated judo performance? **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**, v. 17, p. 206-217, 2007.

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

BISHOP, D; CLAUDIUS, B. Effects of induced metabolic alkalosis on prolonged intermittent-sprint performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 37, p. 759-767, 2005.

BISHOP, D. et al. Induced metabolic alkalosis affects muscle metabolism and repeated-sprint ability. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 36, p. 807-813, 2004.

CARR, A.J; GORE, C.J; DAWSON, B. Induced alkalosis and caffeine supplementation: Effects on 2,000-m rowing performance. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**, v. 21, p. 357-364, 2011.

DOHERTY, M. The effects of caffeine on the maximal accumulated oxygen deficit end short-term running performance. **International Journal of Sport Nutrition**, v. 8, p. 35-104, 1998.

DOHERTY, M. et al. Caffeine lowers perceptual response and increases power output during high-intensity cycling. **Journal of Sports Science**, v. 22, p. 637–643, 2004.

FRANCHINI, E. et al. Effects of recovery type after a judo match on blood lactate and performance in specific and non-specific judo task. **European Journal of Applied Physiology**, v. 107, p. 377-383, 2009.

GLIOTTONI, R.C; MOTL, R.W. Effect of caffeine on leg-muscle pain during intense cycling exercise: Possible role of anxiety sensitivity. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**, v. 18, p. 103-115, 2008.

GREER, F; MCLEAN, C; GRAHAM, T.E. Caffeine, performance, and metabolism during repeated Wingate exercise tests. **Journal Applied of Physiology**, v. 85, p. 1502-1508,1998.

KILDING, A.E; OVERTON, C; GLEAVE, J. Effects of caffeine, sodium bicarbonate and their combined ingestion on high-intensity cycling performance. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**, v. 22, p. 175 -183, 2012.

LINDINGER, M.I. et al. Blood ion regulation during repeated maximal exercise and recovery. **American Journal of Physiology**, v. 262, n. 1, p. R126–R136, 1992.

McNAUGHTON, L.R; SIEGLER, J; MIDGLEY, A. Ergogenic effects of sodium bicarbonate. **Current Sports Medicine Reports**, v. 7, p. 230 – 236, 2008.

METZGER, J.M; MOSS, R.L. pH modulation of the kinetics of a Ca^{+2} -sensitive cross-bridge state transition in mammalian single skeletal muscle fibres. **Journal of Physiology**, v. 428, p. 751–764, 1990.

PATE, E. et al. Reduced effect of pH on skinned rabbit psoas muscle mechanics at high temperatures: implications for fatigue. **The Journal of Physiology**, v. 486, p. 689–694, 1995.

PRUSCINO, C.L. et al. Effects of sodium bicarbonate, caffeine, and their combination on repeated 200-m freestyle performance. **International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism**, v. 18, p. 116-130, 2008.

RAYMER, G.H. et al. Metabolic effects of induced alkalosis during progressive forearm exercise to fatigue. **Journal Applied Physiology**, v. 96, p. 2050–2056, 2004.

REQUENA, B. et al. Sodium bicarbonate and sodium citrate: Ergogenic aids? **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 19, n. 1, p. 213–224, 2005.

SANTOS, L. et al. 2010. A new individual and specific test to determine the aerobic-anaerobic transition zone (Santos Test) in competitive judokas. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24, n. 9, p. 2419-2428, 2010.

SIEGLER, J.C. et al. Metabolic alkalosis, recovery and sprint performance. **International Journal of Sports Medicine**, v. 31, p. 797– 802, 2010.

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

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

STEPHENS, T.J. et al. Effect of sodium bicarbonate on muscle metabolism during intense endurance cycling. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 34, p. 614-621, 2002.

TARNOPOLSKY, A.M. Effect of caffeine on the neuromuscular system - potential as an ergogenic aid. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 33, p. 1284-1289, 2008.

TRICE, I; HAYMES, E.M. Effects of caffeine ingestion on exercise-induced changes during high-intensity, intermittent exercise. **International Journal of Sport Nutrition**, v. 5, p. 37-44, 1995.

VAN MALDEREN, K; JACOBS, C; RAMON, K. **Time and technique analysis of a judo fight: a comparison between males and females**. Annals of the 11th Annual Congress of the European College of Sport Science. Cologne: Sportverlag Strauss, ed. 101, 2006.