

U. PORTO



FACULDADE DE DESPORTO
UNIVERSIDADE DO PORTO

Efeito Ergogénico da Suplementação de Bicarbonato de Sódio em Atletas de Alto Rendimento

Nuno Manuel Costa Mendes

Porto, 2009

Efeito Ergogénico da Suplementação de Bicarbonato de Sódio em Atletas de Alto Rendimento

Monografia realizada no âmbito da disciplina de Seminário do 5º ano da licenciatura em Desporto e Educação Física, na área de Rendimento de Remo/Canoagem, da Faculdade de Desporto da Universidade do Porto

Orientador: Prof. Doutor José Magalhães

Nuno Manuel Costa Mendes

Mendes, N. (2009). Efeito Ergogénico da Suplementação de Bicarbonato de Sódio em Atletas de Alto Rendimento. Porto: N. Mendes. Dissertação de licenciatura apresentada à faculdade de Desporto da Universidade do Porto.

Palavras-chave: EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE; BICARBONATO DE SÓDIO; LACTATO; MEIOS ERGOGÉNICOS; ALTO RENDIMENTO

Agradecimentos

Para a realização do presente trabalho, contribuíram algumas pessoas a quem desde já expressei o meu agradecimento:

Ao Professor Doutor José Magalhães pela disponibilidade sempre demonstrada na orientação do trabalho

Ao Professor Doutor António Ascensão pela ajuda e disponibilidade durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Doutor José Augusto Rodrigues dos Santos pelo apoio ao longo de todo o curso

Ao mestre Eduardo Oliveira pelo apoio e incentivo

Índice geral

Agradecimentos	V
Índice geral	VII
Índice de Quadros	IX
Resumo	XI
Abstract	XIII
Lista de Abreviaturas	XV
1. Introdução	1
2. Desenvolvimento do problema	3
2.1 Fundamentos do equilíbrio ácido-base	3
2.1.1 Sistema Tampão do bicarbonato	7
2.1.2 Acidose Metabólica e Alcalose Metabólica	9
2.1.3 Equilíbrio ácido-básico durante o exercício	10
2.2 Mecanismos de acção do bicarbonato de sódio	12
2.2.1 Efeito da ingestão de NaHCO ₃ pré-exercício	12
2.2.2 Efeito da alcalose metabólica durante o exercício	13
2.2.3 Efeito da alcalose metabólica após o exercício	15
2.2.4 Dosagens utilizadas em estudos experimentais	15
2.3 Relevância ergogénica para o alto rendimento	17
2.3.1 Exercícios curtos de alta intensidade	17
2.3.2 Exercícios em séries curtas repetidas de alta intensidade	19
2.3.3 Exercícios longos contínuos de alta intensidade	20
2.3.4 Exercícios intervalados de longa duração	21
2.3.5 Outros estudos relevantes	23
2.4 O caso particular do remo	26
3. Conclusões	29
4. Referências Bibliográficas	31

Índice de Quadros

Quadro 1: Sumário dos estudos mais significativos e representativos sobre o NaHCO ₃	25
--	----

Resumo

O uso de substâncias ergogénicas é admitido como um importante auxílio na melhoria da performance. Neste sentido, numerosos estudos investigaram a eficácia da administração de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) na melhoria da performance em diferentes tipos de exercícios. O bicarbonato de sódio é reconhecido como uma substância “tamponizante” do ácido láctico produzido durante o esforço físico. Esta substância promove uma maior capacidade de resistência ao aparecimento de fadiga pela influência no equilíbrio ácido-base intra e extra celular, mantendo os níveis de pH dentro de valores óptimos durante o exercício. No entanto, o mecanismo exacto responsável pelo efeito ergogénico não está demonstrado conclusivamente.

O bicarbonato de sódio parece ser mais efectivo em actividades com duração suficiente para gerar uma diferença no gradiente do ião hidrogénio. Estas actividades são caracterizadas por serem de alta intensidade envolvendo um grande número de grupos musculares. Não obstante, em actividades igualmente intensas mas com duração mais prolongada, os resultados aparecem inconclusivos. Na modalidade de remo, parece-nos eficaz a utilização do bicarbonato de sódio, no entanto será necessário mais estudos para o comprovar.

Palavras chave: EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE; BICARBONATO DE SÓDIO; LACTATO; MEIOS ERGOGÉNICOS; ALTO RENDIMENTO

Abstract

The use of ergogenic substances is admitted as an important way to improve performance. Several studies analyzed sodium bicarbonate efficiency (NaHCO_3) in the performance is enhancement of different types of exercise.

Sodium bicarbonate is known to act as a buffering substance to the lactic acid produced during physical effort. This substance causes a higher resistance to fatigue by influencing the acid-base balance inside and outside of the cells and keeping the pH levels at an optimal level during exercise. However the exact mechanism responsible for the ergogenic effect is not conclusively demonstrated.

Sodium bicarbonate seems to be most effective in activities long enough to cause a difference in the hydrogen ion gradient. These high intensity activities stimulate a large number of muscular groups. Nevertheless in activities with the same intensity but during a longer period of time results are inconclusive. Sodium bicarbonate seems to be effective on rowers but further study is required.

Key-words: ACID-BASE BALANCE; SODIUM BICARBONATE; LACTATE; ERGOGENIC AIDS; HIGH PERFORMANCE

Lista de Abreviaturas

ATP – Adenosina trifosfato

Ca⁺ – Ião de cálcio

CO₂ – Dióxido de carbono

g/kg⁻¹ – Gramas por quilo

h – Horas

H⁺ – Ião hidrogénio

HCO₃⁻ – Ião bicarbonato

H₂CO₃ – Ácido carbónico

H₂O – Água

Kj – Quilojoule

La⁻ - Ião lactato

Log₁₀ – Logaritmo de 10

m – Metros

mEq/L – Miliequivalentes por litro

ml - Mililitros

mmol/L – Milimol por litro

Na⁺ – Ião sódio

NaHCO₃ – Bicarbonato de sódio

O₂ – Oxigénio

PO₂ – Tensão O₂ no sangue

PCO₂ – Tensão de CO₂ no sangue

pH – Potencial Hidrogeniônico

pK – Constante de dissociação

s – Segundos

VO_{2máx} – Consumo máximo de oxigénio

%VO_{2máx} – Utilização fraccional do consumo máximo de oxigénio

W – Watts

³¹P-MRS – Ressonância magnética espectroscópica de fósforo 31

1. Introdução

Na procura do sucesso desportivo de alto rendimento, treinadores, nutricionistas, médicos e cientistas têm utilizado inúmeros recursos ergogénicos no intuito de potencializar a performance ou atenuar os mecanismos geradores de fadiga dos atletas (Maughan, 1999).

A fadiga é apontada como factor limitador da performance e constitui um fenómeno complexo ou até mesmo um conjunto de fenómenos de interacção simultânea com diferentes graus de influência, dependendo da natureza do exercício físico.

Nesse sentido, a utilização de suplementos nutricionais como recursos ergogénicos tem-se mostrado eficiente por retardar o aparecimento de fadiga e aumentar a capacidade contráctil do músculo esquelético, aprimorando a capacidade de realizar trabalho físico, ou seja, melhorando a performance desportiva (Applegate, 1999; Maughan, 2002).

Os exercícios de alta intensidade estão normalmente associados a elevadas produções de ácido láctico. Este ácido dissocia-se promovendo a libertação de iões de hidrogénio (H^+) e iões de lactato (La^-), o que acarreta uma redução do pH ao nível muscular (Costill et al., 1984; Gladen, 1989). Esta redução do pH contribui, entre outros factores, para o aparecimento da fadiga (Mainwood & Worsley-Brown, 1975), que é associada à redução dos níveis de produção de força. Durante este tipo de exercício, o músculo “reage” contra esta perda de homeostasia, na perspectiva de manter os níveis de pH dentro de valores aceitáveis, minimizando a acumulação de H^+ no interior da célula muscular através de tampões, e promovendo o movimento de iões entre a célula e o plasma (Juel, 1997).

A utilização de agentes alcalinos é sugerida como uma possível solução para retardar o aparecimento de fadiga em exercícios de alta intensidade, retardando a diminuição do pH no músculo (Hollidge-Horvat et al., 2000).

Assim sendo, o objectivo desta revisão é realizar uma análise crítica da literatura mais relevante no âmbito da suplementação com bicarbonato de sódio enquanto agente ergogénico no atraso do aparecimento da fadiga em

diferentes tipos de exercício. Será ainda abordada a utilização deste suplemento ergogénico na modalidade de remo e analisado o seu contributo para o rendimento na referida modalidade.

2. Desenvolvimento do problema

2.1 Fundamentos do equilíbrio ácido-base

A manutenção do equilíbrio ácido-base do nosso organismo está relacionada com as concentrações do ião hidrogénio (H^+). Efectivamente, podemos dizer, de uma forma geral, que quando falamos de equilíbrio ácido-base estamos a falar da capacidade de manutenção da homeostasia da concentração deste ião.

A exemplo do que acontece com a regulação da concentração de outros iões do nosso organismo, para mantermos a homeostasia é necessário ocorrer um equilíbrio entre síntese e remoção de hidrogénio (Juel, 1998; Bishop et al., 2004). Para este efeito, contribuem diversos processos químicos e fisiológicos. Os processos químicos são referidos como a primeira linha de defesa na regulação do equilíbrio ácido-base do nosso organismo, e incluem os tampões intra e extracelulares. Os processos fisiológicos regulam o equilíbrio ácido-base através de alterações no metabolismo celular excretando compostos ácidos pelos pulmões e pelos rins (Adrogué, 2001), sendo, por isso, considerados a segunda e a terceira linhas de defesa, respectivamente. A necessidade da existência de todos estes mecanismos de regulação ácido-base no nosso organismo prende-se com a extrema importância da manutenção das concentrações de H^+ , pois as actividades de quase todos os sistemas de enzimas do nosso corpo, assim como a função vital de alguns órgãos são influenciadas pela concentração deste ião (Guyton, 2006; Adrogué, 2001).

Um ião hidrogénio é um protão único livre libertado do átomo de hidrogénio. Assim sendo, às moléculas que contêm átomos de hidrogénio e que podem libertar iões de hidrogénio chamamos ácidos. Um exemplo é o ácido carbónico (H_2CO_3), que se ioniza na água, libertando iões H^+ e iões bicarbonato (HCO_3^-). Por outro lado, as substâncias capazes de receber iões hidrogénio, combinando-se com esta e, conseqüentemente, reduzirem a

concentração deste ião numa solução, são denominadas bases. Como por exemplo o HCO_3^- que se combina com o H^+ para formar H_2CO_3 .

Ao aumento da concentração dos iões de hidrogénio e conseqüente incremento de acidez nos líquidos corporais denominamos de *acidose*. Pelo contrário, a diminuição da concentração de iões de hidrogénio, normalmente causada pela remoção excessiva deste ião, promovendo um meio alcalino, denomina-se por *alcalose* (Powers, 2004).

A concentração plasmática do ião H^+ , mantém-se, normalmente, dentro de limites apertados, em torno de um valor normal de aproximadamente 0,00004mEq/L (40 nEq/L) sendo que as variações normais podem oscilar entre 3 e 5 nEq/L e as extremas entre 10 a 160 nEq/L sem, no entanto, motivar uma condição letal para o ser humano (Powers, 2004; Guyton, 2006; Horácio, 2001). Segundo Guyton, 2006, pelo facto de a concentração de H^+ ser, normalmente baixa, expressamos a concentração do ião hidrogénio numa escala logarítmica, usando unidades de pH. Assim sendo, o pH de uma solução define-se como o logaritmo negativo da concentração de iões hidrogénio $[\text{H}^+]$.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Como exemplo, se considerarmos o valor de $[\text{H}^+] = 40\text{nM}$ (0,00000004M), obtemos um pH correspondente a 7,4.

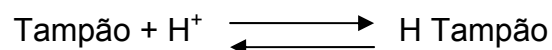
Este valor de 7,4 é o valor normal do pH do sangue arterial em repouso, enquanto o pH do sangue venoso e dos líquidos intersticiais ronda os 7,35, devido às quantidades extras de dióxido de carbono (CO_2) libertados pelos tecidos e conseqüente formação de H_2CO_3 nesses líquidos. Tendo em conta que o pH é uma variável fisiológica relativamente estável (Nielsen, 1998), quando encontramos um valor inferior a 7,4, considera-se que uma pessoa apresenta acidose. Como dissemos anteriormente, a acidose caracteriza-se pelo aumento da concentração de iões de hidrogénio e, conseqüentemente, da acidez no sangue. Pelo contrário, quando o pH sobe acima de 7,4, resultante

da diminuição da concentração de H^+ , observamos uma condição denominada por alcalose. O limite inferior de pH no qual uma pessoa pode viver por poucas horas está em torno de 6,8 e o limite superior em torno de 8,0. O pH intracelular (7,0) é, normalmente, um pouco mais baixo do que o pH do plasma, pois o metabolismo das células produz ácido, principalmente H_2CO_3 (Powers, 2004; Guyton, 2006).

Tendo como base a regulação do equilíbrio ácido-base do nosso organismo, considera-se que existem três sistemas básicos primários que regulam a concentração de H^+ nos líquidos corporais: (1) *os sistemas-tampão químicos ácido-base dos líquidos corporais*, que se combinam imediatamente com ácido ou base para evitar alterações excessivas na concentração de H^+ ; (2) *o centro respiratório*, que regula a remoção de CO_2 do líquido extracelular; e (3) *os rins*, que podem excretar tanto urina ácida como alcalina, reajustando a concentração de H^+ no líquido extracelular para níveis normais durante a acidose ou a alcalose (Guyton, 2006; McNaughton et al., 2008).

Quando o equilíbrio ácido-base sofre uma alteração, ocorrendo uma perda na homeostasia do nosso organismo, os sistemas-tampão dos líquidos corporais são a primeira linha de defesa actuando numa fracção de segundo para ajustar a concentração de H^+ . Estes sistemas-tampão não eliminam ou acrescentam iões H^+ ao nosso organismo, apenas os mantêm controlados até que o equilíbrio possa ser restabelecido, por meio dos processos fisiológicos.

Por tampão, denominamos qualquer substância capaz de se ligar reversivelmente ao ião H^+ . A forma geral da reacção de tamponamento é a seguinte:



Sendo que o H^+ livre combina-se com o tampão formando um ácido fraco que pode permanecer como uma molécula associada ou se dissociar

novamente para tampão e H^+ . Quando existe uma maior concentração de H^+ , a reacção é forçada para a direita ligando-se mais H^+ ao tampão, desde que este esteja disponível. Pelo contrário, quando a concentração de H^+ diminui, a reacção tende para a esquerda e o H^+ é dissociado do tampão. Desta forma, as alterações na concentração de H^+ são minimizadas.

A importância dos sistemas-tampão dos líquidos corporais pode ser evidenciada ao observarmos a baixa concentração de H^+ nos líquidos corporais em comparação com as quantidades relativamente elevadas de ácidos produzidos pelo nosso organismo todos os dias.

Habitualmente divide-se os sistemas-tampão em sistema do ácido carbónico-bicarbonato (sistema-tampão do bicarbonato) e sistemas-tampão não-bicarbonatos, nomeadamente o sistema-tampão do fosfato e o sistema-tampão das proteínas, que actuam predominantemente no ambiente intracelular. Por esta razão, o sistema-tampão que se apresenta qualitativamente como o mais importante no líquido extracelular é o sistema-tampão do bicarbonato (Guyton, 2006).

Reportando-nos agora à segunda linha de defesa face as alterações ácido-base, o controle da concentração de CO_2 no líquido extracelular é mediado pelos pulmões e regulado pelo centro respiratório. Assim sendo, quando aumenta a ventilação pulmonar, mais CO_2 é eliminado do líquido extracelular reduzindo a concentração de H^+ . Por outro lado, um estado de menor ventilação (hipoventilação) propicia um aumento a pressão de CO_2 elevando a concentração de H^+ no líquido extracelular. Este mecanismo actua como controlador por feedback negativo, ou seja, quando a concentração de H^+ aumenta acima do normal, o centro respiratório é estimulado e a ventilação aumenta (hiperventilação) diminuindo a concentração de CO_2 no sangue, reduzindo, conseqüentemente, a concentração de H^+ (Yunoki et al., 2008; Meyer et al., 2004). Pelo contrário, quando a concentração de H^+ é reduzida além do valor normal, o centro respiratório é inibido, diminuindo a ventilação, e aumentando a concentração de H^+ .

Os dois primeiros mecanismos de controlo do equilíbrio ácido-base referidos até aqui evitam que a concentração de H^+ se altere muito até que a resposta mais lenta dos rins, consiga eliminar o excesso de ácido ou base do nosso organismo. Segundo Guyton (2006), o mecanismo pelo qual os rins controlam este equilíbrio assenta na excreção de urina ácida ou básica. A excreção de urina ácida reduz a quantidade de ácido no líquido extracelular, enquanto a excreção de urina básica remove base do líquido extracelular. De uma forma geral, grandes quantidades de HCO_3^- são filtradas continuamente nos túbulos renais, e ao serem excretadas na urina, removem base do sangue. Também, grandes quantidades de H^+ são segregadas no lúmen tubular pelas células epiteliais tubulares, removendo, assim, ácido do sangue. Se for segregado mais H^+ do que HCO_3^- , haverá uma perda líquida de ácido do líquido extracelular. Por outro lado, se for filtrado mais HCO_3^- do que H^+ é segregado, haverá uma perda líquida de base.

Para Fox et al. (1993), a principal forma de regulação renal da concentração do ião H^+ desenrola-se pelo aumento ou diminuição da concentração de bicarbonato. Assim sendo, embora a acção dos rins seja relativamente mais lenta comparativamente com os outros mecanismos, tendo a duração de várias horas a vários dias, ela é sem dúvida um dos sistemas reguladores de ácido mais potentes (Fox et al., 1993; Guyton, 2006).

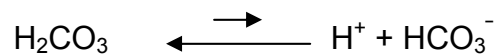
Não obstante, para o presente estudo, este mecanismo não evidencia grande importância por ser de acção lenta, não influenciando as concentrações de H^+ durante o exercício de curta duração e de alta intensidade. Desta forma, o sistema-tampão do bicarbonato será aqui considerado como o principal responsável pela manutenção do equilíbrio ácido-base neste tipo de exercício.

2.1.1 Sistema Tampão do bicarbonato

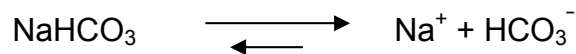
O sistema-tampão do bicarbonato, também denominado por Adrogue (2001) como sistema do ácido carbónico-bicarbonato, devido ao importante

contributo destes dois componentes na sua acção, é considerado o mais importante no líquido extracelular, consistindo numa solução aquosa contendo dois ingredientes, um ácido fraco, H_2CO_3 e um sal bicarbonato, como o NaHCO_3 .

O H_2CO_3 é formado no corpo pela reacção de CO_2 com H_2O . Esta reacção é lenta, e quantidades muito pequenas de H_2CO_3 são formadas se a enzima anidrase carbônica não estiver presente. O H_2CO_3 ioniza-se fracamente formando pequenas quantidades de H^+ e HCO_3^- .



O segundo componente do sistema, o sal bicarbonato, surge predominantemente como bicarbonato de sódio (NaHCO_3) no líquido extracelular. O NaHCO_3 ioniza-se quase completamente formando HCO_3^- e Na^+ , como se segue:



Associando todo o sistema, temos o sistema do bicarbonato representado pela seguinte fórmula:



Devido à fraca capacidade de dissociação do ácido carbónico, a concentração de H^+ é muito pequena. Por outro lado, quando se acrescenta um ácido forte (que se dissocia rapidamente e liberta grandes quantidades de H^+ na solução) à solução tampão de bicarbonato, o H^+ libertado pelo ácido é tamponado pelo ião bicarbonato. Como resultado, mais ácido carbónico é formado causando aumento na libertação de água e dióxido de carbono. Este CO_2 , por seu lado, estimula o centro respiratório aumentando a ventilação e eliminando-o do líquido extracelular.

A capacidade de o ácido carbónico (H_2CO_3) actuar como tampão é expressa por uma relação conhecida como equação de Henderson-Hasselbach.

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log_{10} \left(\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{H}_2\text{CO}_3} \right)$$

Onde a pK é a constante de dissociação do H_2CO_3 e possui um valor constante de 6,1. Em suma, a equação de Henderson-Hasselbach sugere que o pH da solução de um ácido fraco é determinado pela relação entre a concentração da base (bicarbonato) e a concentração do ácido (ácido carbónico) na solução. O pH normal do sangue arterial é de 7,4, e a relação entre o bicarbonato (HCO_3^-) e o ácido carbónico é de 20 para 1.

2.1.2 Acidose Metabólica e Alcalose Metabólica

No nosso organismo podem surgir dois tipos de acidose e alcalose: Acidose respiratória e metabólica e Alcalose respiratória e metabólica (Adrogué, 2001).

No nosso estudo, iremos somente debruçar-nos sob a acidose e alcalose metabólica, pois são estas que estão inerentes ao esforço físico e ao efeito do bicarbonato de sódio.

A acidose metabólica pode ser originada por diversas causas, entre elas a formação de quantidades excessivas de ácidos metabólicos no organismo (ex: ácido láctico). Como exemplo, esta produção pode resultar da realização de actividade física intensa. Para neutralizar o excesso de ácido no nosso corpo, clinicamente são prescritas habitualmente substância alcalinizantes como o bicarbonato de sódio. O bicarbonato de sódio é absorvido do trato gastrointestinal para o sangue e aumenta a fracção de bicarbonato (HCO_3^-) do sistema-tampão do bicarbonato, aumentando o pH no plasma. Por seu lado, a acidose metabólica é caracteristicamente associada à redução do pH e da concentração de HCO_3^- .

Relativamente à alcalose metabólica, esta ocorre por exemplo quando há excesso de retenção de HCO_3^- ou eliminação excessiva de H^+ do nosso organismo. Assim sendo, as características associadas a esta alteração metabólica são o aumento do pH e das concentrações de HCO_3^- no plasma (Guyton, 2006). No caso da investigação do efeito do NaHCO_3 no exercício, esta alcalose é induzida pela ingestão deste agente alcalino.

Segundo Adrogué, 2001, a acidose metabólica provoca a inibição da glicólise, enquanto a alcalose pelo contrário estimula-a.

2.1.3 Equilíbrio ácido-básico durante o exercício

Durante a realização de exercício físico, nomeadamente de exercício de alta intensidade (trabalho acima do limiar anaeróbio), são produzidas grandes quantidades de ácido láctico. Este ácido orgânico é formado normalmente no decurso dos processos do metabolismo dos hidratos de carbono, e como tal, em condições normais de repouso é metabolizado em CO_2 e, conseqüentemente, não influencia o pH dos líquidos corporais. No entanto, durante a execução de exercício intenso, os músculos esqueléticos em contracção produzem grandes quantidades de ácido láctico, resultando num ambiente intracelular ácido (acidose). A produção deste ácido durante o exercício intenso, representa o maior desafio na manutenção da homeostasia do pH durante este tipo de esforços, contribuindo, naturalmente, para o aparecimento de fadiga (Fitts, 1994; Mainwood & Worsley-Brown, 1975). O ácido láctico é um ácido forte que se ioniza libertando iões H^+ e iões lactato (La^-). A alteração de pH associado a este facto pode alterar a funcionalidade normal de diferentes moléculas, nomeadamente enzimas e, conseqüentemente, influenciar de forma relevante o metabolismo celular (Nattie, 1990; Spriet, 1991) e a função neuromuscular (Cady, 1989).

O aumento da concentração de H^+ intramuscular pode comprometer a execução do exercício de duas formas: (1) o aumento da concentração de H^+ reduz a capacidade da célula muscular produzir ATP pela inibição de enzimas envolvidas tanto na produção aeróbia como na anaeróbia de ATP (Forbes et

al., 2005); (2) e, os iões H^+ competem com os iões Ca^+ pelos locais de ligação da troponina e, dessa forma, impedem o processo contráctil (A.Fabiato e F. Fabiato, 1978; Allen et al.1989, Favero et al.1997).

Para contrariar esta tendência e diminuir o efeito negativo do ácido láctico no nosso organismo durante o exercício, o nosso corpo possui sistemas de controlo intra e extracelulares capazes de regular o estado ácido-base e impedir diminuições drásticas no pH. Estes sistemas, já abordados neste trabalho, denominam-se de sistemas-tampão entre os quais se encontra, como já o dissemos o sistema-tampão do bicarbonato (Edge, J. et al., 2006).

Os tampões intracelulares representam a primeira linha de defesa na alteração do pH durante o exercício, pela sua localização no interior da célula muscular, no entanto, é no ambiente extracelular que reconhecemos o sistema-tampão mais importante do nosso corpo. Entre os sistemas-tampão das proteínas e da hemoglobina, é o sistema tampão do bicarbonato que mais eficazmente desenvolve a sua função. Deriva deste facto o desenvolvimento de vários estudos, com o intuito de testar o aumento da concentração de bicarbonato no sangue, (através da sua ingestão; ex: bicarbonato de sódio), e o seu contributo para alguns tipo de exercício (Lindh et al., 2007; Yunoki et al., 2008; Edge et al. 2006; Bishop & Claudius, 2005; Forbes et al., 2005; Stephens et al., 2002).

2.2 Mecanismos de acção do bicarbonato de sódio

A administração de substâncias tampão tem sido sugerida como auxílio ergogénico na prevenção ou retardamento da fadiga em diferentes modalidades.

Desta forma, a ingestão de uma solução de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) 1-3h antes do exercício, resulta no aumento das concentrações de ião bicarbonato (HCO_3^-) no plasma e diminui as concentrações do ião H^+ antes, durante e após o exercício (Lindh et al., 2007; Yunoki et al., 2008; Edge et al., 2006; Bishop & Claudius, 2005; Forbes et al., 2005; Stephens et al., 2002; Bishop et al., 2004; Pruscino et al., 2008; McNaughton et al., 1999; Hollidge-Horvat et al., 2000). A suplementação desta substância no nosso organismo apesar de, normalmente, ser efectuada por via oral, também pode ser realizada por infusão intravenosa (Nielsen et al., 2002; Nielsen et al., 2002).

2.2.1 Efeito da ingestão de NaHCO_3 pré-exercício

O bicarbonato de sódio apresenta-se como uma substância altamente “alcalinizante”, actuando essencialmente no ambiente extracelular, devido à impermeabilidade da membrana intracelular ao ião bicarbonato (HCO_3^-) (Raymer et al., 2004; Hollidge-Horvat et al., 2000). Raymer et al., 2004, verificaram que após a ingestão de NaHCO_3 antes do início da actividade física, as alterações no ambiente extracelular não são reflectidas no ambiente intracelular, mantendo-se inalteradas as concentrações de H^+ e de HCO_3^- dentro da célula muscular.

É sugerido em alguns estudos que a ingestão de NaHCO_3 não afecta a concentração de lactato sanguíneo em repouso (Costill et al., 1984; Gaitanos et al., 1991; Stephens et al., 2002). Assim como também não se verificam alterações nas concentrações de lactato muscular nem de H^+ (Costill et al., 1984; Bishop et al., 2004). No entanto, contrastando com esta última

observação, Stephens et al., 2002, verificaram que paralelamente à redução do H^+ extracelular, também ocorreu uma redução do H^+ no músculo.

2.2.2 Efeito da alcalose metabólica durante o exercício

Segundo Bishop, 2004, a acumulação intracelular de H^+ depende da concentração extracelular deste ião. Desta forma, a sua acção no músculo será efectuada de forma indirecta (Kesi & Engen, 1998). A remoção do ião H^+ do interior da célula muscular, está comprovado cientificamente que é inibida pela acidose extracelular e estimulada por uma concentração óptima de tampão extracelular (Mainwood & Worsley-Brown, 1975). Neste sentido, a ingestão de $NaHCO_3$ resulta na melhoria da performance desportiva pelo aumento da capacidade de tamponamento do meio extracelular. Aumentando o pH extracelular (Stephens et al., 2002) e a concentração de bicarbonato (HCO_3^-), promove a remoção de H^+ e de La^- da célula em actividade. Em suma, a redução da acidose extracelular, provocada pela promoção da alcalose após a ingestão de uma solução de bicarbonato de sódio, resulta num abrupto gradiente de H^+ entre o músculo e o plasma, causando uma maior remoção de H^+ e de La^- do músculo para o plasma.

Este aumento da remoção de lactato do interior da célula para o meio extracelular, impedindo assim a redução dos níveis de pH, parece contribuir para o aumento da função muscular (Marx et al., 2002). Efectivamente, a alcalose metabólica, resultante da ingestão de $NaHCO_3$, propicia um acréscimo nas concentrações de sódio no plasma, e, conseqüentemente, no músculo durante o exercício (Stephens et al., 2002). Desta forma, será expectável que ocorra a remoção de H^+ do músculo pelo aumento do gradiente entre Na^+/H^+ , ocorrendo a troca entre estes dois iões por difusão facilitada através da membrana celular. Segundo Juel, 1998, este aumento da diferença de concentração de iões fortes nos compartimentos intracelular e extracelular após a ingestão $NaHCO_3$ tem um papel activo muito relevante na diminuição da concentração de H^+ muscular. Raymer et al., 2004, num estudo dos efeitos

metabólicos da indução de alcalose num protocolo de esforço até á exaustão verificou que a manutenção mais prologada do pH intracelular dentro de valores normais, se deveu ao aumento do transporte de Na^+/H^+ .

Outro resultado interessante obtido em vários estudos foi a observação de elevadas quantidades de lactato sanguíneo durante o exercício, após a promoção da alcalose metabólica (Stephens et al., 2002; Granier et al., 1996, Bishop et al. 2004). Esta elevada concentração de lactato sanguíneo durante o exercício resulta, provavelmente, da elevada quantidade de lactato que entra no sangue decorrente da remoção deste do músculo em contracção durante o exercício (Hollidge-Horvat et al., 2000). A maior taxa de remoção do lactato muscular é consequência da alcalose extracelular, e do gradiente gerado entre os meios intra e extracelulares (Mainwood & Worsley-Brown, 1975).

No estudo de Raymer et al., 2004, verificou-se que o incremento da taxa de remoção de lactato do meio intracelular para o plasma é provocado pelo elevado gradiente criado pelo H^+ o qual é induzido pelas baixas concentrações do mesmo no plasma durante o exercício. De facto, segundo Adrogué, 2001, a defesa activa do pH intracelular é explicada em parte pela maior concentração de HCO_3^- fora da célula, levando a célula a enviar H^+ para o meio extracelular onde existe maior capacidade de ser tamponado.

Em resumo, a melhoria da performance desportiva numa situação de alcalose metabólica parece estar relacionada com a capacidade do NaHCO_3 em manter um nível de pH óptimo face ao incremento das necessidades metabólicas. Esta constatação é mais aplicável em modalidades de esforços mais prolongados (Stephens et al., 2002). Este aspecto assume particular importância se tivermos em consideração os efeitos da redução do pH durante o exercício para a contribuição da indução de fadiga, como sejam a inibição alostérica da actividade das enzimas fosfofrutoquinase e a glicogénio fosforilase, a diminuição da libertação de Ca^{2+} do reticulo sarcoplasmático, e uma redução no número e na tensão gerada pelas pontes-cruzadas activas no músculo.

2.2.3 Efeito da alcalose metabólica após o exercício

Como já foi, igualmente, referido para os efeitos do NaHCO_3 durante o exercício, após a actividade física intensa verifica-se a acumulação de elevadas concentrações de lactato no sangue (Bishop et al., 2004; Bouissou et al., 1988; Mainwood & Worsley-Brown, 1975; Stephens et al., 2002). Num estudo de Bishop et al., 2004, foi evidenciado uma concentração de lactato no músculo aproximadamente 72% mais elevada com o NaHCO_3 do que com a substância placebo. Já Sutton et al., 1981, verificaram um aumento de ~90% na alcalose após um exercício contínuo a 95% do $\text{VO}_{2\text{max}}$, e Bouissou et al., 1988, a 125%. Estes autores pressupõem que este incremento na alcalose metabólica poderá ser devido essencialmente à maior capacidade de remoção de lactato. A elevada concentração de lactato observada no estudo de Bishop et al., 2004, após o exercício sob o efeito do bicarbonato de sódio, poderá ser devido à alta taxa de transporte de lactato para o sangue resultante do elevado gradiente entre a concentração de lactato muscular e sanguíneo.

Noutros estudos que pretenderam analisar os efeitos da suplementação de NaHCO_3 , no pH do sangue após o exercício confirma que a capacidade de tamponamento do sangue é ampliada com a ingestão de NaHCO_3 (Bishop et al., 2004).

2.2.4 Dosagens utilizadas em estudos experimentais

Analisando os estudos levados a cabo sobre o efeito da suplementação com bicarbonato de sódio, observamos que existe algum consenso metodológico. Efectivamente, referindo-nos às doses normalmente utilizadas na ingestão de NaHCO_3 , observamos que são utilizadas habitualmente dosagens por volta dos 0,3g/kg da massa corporal, quantidade esta que se parece apresentar como mais segura relativamente aos riscos de proporcionar efeitos secundários prejudiciais como perturbações gastrointestinais (Renfree, 2007). No entanto, existem estudos que utilizam outras quantidades (Costill et

al., 1984; Goldfinch et al., 1988; McKenzie et al., 1986; McNaughton & Thompson, 2001). Numa tentativa de provar qual a dose mais eficaz para produzir o efeito ergogénico desejado para o exercício físico, McNaughton, 1992, testou em 7 indivíduos activos sujeitos a 60 segundos de exercício de alta intensidade, a eficácia de 5 doses diferentes (de 0,1 a 0,5g/kg⁻¹ de massa corporal) de NaHCO₃. Os resultados deste estudo sugerem que a utilização de doses inferiores a 0,3g/kg⁻¹ de massa corporal não promove alterações da potência máxima alcançadas relativamente às obtidas com substâncias placebo. Da mesma forma, não são evidenciadas alterações positivas com o aumento da dose para valores superiores a 0,3g/kg⁻¹ de massa corporal. A ingestão de 0,3g/kg⁻¹ de massa corporal de NaHCO₃, parecendo ser um valor mais consensual, origina o incremento de aproximadamente 4 a 5 mmol.L⁻¹ de HCO₃⁻ e 0,03 a 0,06 de unidades de pH no sangue venoso 2 a 3 horas após a ingestão como nos diz Maughan & Greenhaff (cit. por Requena et al., 2005, p. 218).

Quanto ao tempo ideal da ingestão do bicarbonato antes do exercício, parece variar de estudo para estudo. Analisando os vários estudos, podemos discernir que as variações oscilam entre os 30 minutos (Webster et al., 1993), os 90 minutos (Mcnaughton & Cedaro, 1991), 105 minutos (Verbitsky et al., 1997), 120 minutos (Kozak-Collins & Schoene, 1994) e 180 minutos (Sutton et al., 1981) antes do exercício. Matson e Tran, 1993, concluíram que, a ingestão de NaHCO₃ deve ser realizada antes do exercício entre os 60 e os 90 minutos para maximizar a diminuição da concentração de H⁺ e, adicionalmente, ao longo de 30 minutos com intuito de reduzir o risco de surgimento de distúrbios gastrointestinais. Pelo contrário, no estudo de Potteiger et al., 1996, os autores demonstraram que para uma dose de 0,3g/kg⁻¹ de massa corporal, o tempo necessário para alcançar o pH óptimo é de 120 minutos, enquanto que para atingir o máximo de HCO₃⁻ são necessários entre 100 e 120 minutos.

2.3 Relevância ergogénica para o alto rendimento

O efeito ergogénico do bicarbonato de sódio durante o exercício surge na literatura com algumas divergências e equívocos quanto à sua eficácia. No entanto, muitas das discrepâncias quanto às conclusões parecem relacionar com a utilização de distintas metodologias, nomeadamente no que diz respeito às dosagens, o tempo prévio de ingestão e as diferentes características específicas de cada exercício, tornando desta forma, a comparação entre estudos numa tarefa complicada.

O bicarbonato de sódio é a substância alcalinizante mais frequentemente utilizada em todas as modalidades. Vários investigadores estudaram os seus efeitos em diferentes tipos de actividades físicas, tais como de velocidade pura (sprint's), modalidades cíclicas intervaladas, de resistência e modalidades acíclicas de intensidade intermitente.

2.3.1 Exercícios curtos de alta intensidade

Tal como referido anteriormente, os resultados obtidos e as conclusões retiradas neste tipo de exercícios são variadas.

Assim, temos alguns estudos como é o caso do levado a cabo por Lindh et al., 2007, no qual a situação de alcalose induzida pela toma de bicarbonato de sódio fez com que nadadores de 200m livres cumprissem a referida distância de forma significativamente mais rápida do que os atletas do respectivo grupo de controlo utilizando uma substância placebo. Resultados que sugerem uma mesma lógica de eficácia na utilização de bicarbonato de sódio obtiveram Goldfinch et al., 1988, nos tempos efectuados por corredores de 400m, bem como, Wilkes et al., 1983 num outro estudo com atletas dos 800. Raymer et al., 2004, realizaram um estudo em que pretenderam comparar as alterações do pH muscular e sanguíneo, por meio de uma ressonância magnética espectroscópica de fósforo 31 (³¹P-MRS). Os autores observaram

uma atenuação da acidose intracelular quando comparado com o grupo de controlo, obtendo assim um aumento da manutenção do balanço acido-base e, conseqüentemente promovendo um aumento no tempo até à exaustão, bem como um incremento de 12% na potência máxima conseguida pelos atletas. Adicionalmente, reportaram uma mais alta taxa de remoção de H^+ do meio intracelular no grupo experimental. Esta observação reforça alguns dos mecanismos habitualmente propostos e que sugerem o benefício do aumento de HCO_3^- no meio extracelular com a suplementação de $NaHCO_3$ para a remoção de H^+ (Hollidge-Horvat et al., 2000). Um caso semelhante é referido no estudo levado a cabo por Robergs et al., 2005. Neste trabalho, foi analisada a influência da acidose e alcalose pré-exercício na dinâmica da recuperação ácido-base em exercício curto de alta intensidade. Da mesma forma, McNaughton e Thompson, 2001, observaram um incremento significativo no volume total de trabalho e aumento da potência máxima em exercícios de 60 a 90 segundos a pedalar no cicloergómetro à máxima intensidade após suplementação com bicarbonato de sódio. Todos estes estudos têm em comum a confirmação da hipótese de que a ingestão de $NaHCO_3$ promove a remoção de H^+ do músculo em esforço, através da diminuição do pH intracelular retardando o aparecimento de fadiga.

Não obstante estas conclusões que sugerem o papel ergogénico do bicarbonato de sódio, alguns outros estudos constataram que a ingestão de $NaHCO_3$ apesar de interferir no equilíbrio ácido-base do sangue, não tem repercussões positivas na performance (Horswill et al., 1988; Inbar et al., 1983; Pierce et al., 1992; Tiryaki & Atterbom, 1995; Kesl & Engen, 1998). Por exemplo, num estudo conduzido por Marx et al., 2002, não se verificou melhoria na performance de 90 segundos a pedalar ao máximo em indivíduos não treinados após ingestão de bicarbonato de sódio. A ausência do efeito ergogénico do $NaHCO_3$ na performance nestes estudos pode estar relacionada com considerações metodológicas tais como, o reduzido número de atletas que compõem a amostra, as características dos participantes, as reduzidas doses de $NaHCO_3$ utilizadas, a intensidade do exercício ser insuficiente para provocar

alterações no pH intracelular e a variabilidade nas condições do ambiente onde se realiza o exercício.

2.3.2 Exercícios em séries curtas repetidas de alta intensidade

Relativamente aos exercícios realizados no formato de várias séries de curta duração (normalmente sprints), o efeito da suplementação de bicarbonato de sódio aparece-nos, igualmente controverso, sendo efectivo em alguns estudos (Gao et al., 1988; Lavender & Bird, 1989, Pruscino et al., 2008; Bishop et al., 2004; Bishop e Claudius, 2005) e sem resultados noutros (Aschenbach et al., 2000; Matsuura et al., 2007). Teoricamente, a indução da alcalose metabólica parece ser mais efectiva em actividades que provocam grandes perturbações no balanço ácido-base, por esta razão este parece ser um bom modelo de estudo. Os exercícios curtos realizados em várias séries sucessivas normalmente resultam em alterações mais significativas do equilíbrio ácido-base, comparativamente aos exercícios intensos de curta duração (Osnes & Hermansen, 1972; Robertson et al., 1987).

Quanto aos resultados dos diferentes estudos, foram observados incrementos positivos na performance em 5 séries de 91,4m (100 jardas) em natação no estilo livre com 2 minutos de intervalo (Gao et al., 1988), assim como na repetição de 10 vezes 10 segundos de ciclismo (Lavender & Bird, 1989). Também Bishop et al., 2004 e Bishop e Claudius, 2005 observaram o incremento na performance durante séries repetidas de esforço máximo. Pelo contrário, num estudo efectuado em atletas de luta livre de um colégio americano, não foram observadas melhorias significativas na performance dos atletas sujeitos a suplementação com o bicarbonato de sódio (Aschenbach et al., 2000). Este estudo consistiu na realização de 8 vezes 15 segundos de máximo esforço num ergómetro de braços, com 20 segundos de intervalo activo, após a ingestão de $0,3\text{g/kg}^{-1}$ de bicarbonato de sódio em dois períodos diferentes, aos 90 e 60 minutos antes do exercício. Os autores deste estudo, apesar de encontrarem alterações positivas no pH, bem como na concentração

de HCO_3^- antes e após o exercício no grupo suplementado, não observaram melhorias na potência máxima, no volume total de trabalho nem em indicadores de fadiga ao longo das 8 séries. Algumas justificações que poderão estar na origem destes resultados, são o extremamente curto intervalo entre as séries (20 segundos), que não permite o transporte de metabolitos do mioplasma e o reduzido tamanho da amostra (Mannion et al., 1992). Em concordância com este estudo, Matsuura et al., 2007, não observou incrementos nos valores de potência, em indivíduos moderadamente treinados e suplementados com bicarbonato de sódio na realização de 10 sprints de 10 segundos a pedalar com 30 segundos de recuperação passiva.

2.3.3 Exercícios longos contínuos de alta intensidade

A fadiga em exercícios com duração igual ou superior a 15 minutos não é considerada ser significativamente influenciada pelas mudanças ácido-base, mas sim mais associada a insuficiências metabólicas relacionadas com a depleção de glicogénio muscular, e também a variações electrólitas e à desidratação (Fitts, 1994). Para Edwards (cit. McNaughton et al., 1999), pelo contrário, o exercício aeróbio de alta intensidade está aliado uma alta produção de lactato no sangue, sugerindo que o metabolismo anaeróbio desempenha um papel importante neste tipo de actividade. Desta forma, concentrações eventualmente elevadas de ácido láctico no sangue, poderão resultar na diminuição do pH no músculo e do plasma, contribuindo também para o aparecimento da fadiga. Assim, também nestes exercícios, a manutenção de níveis óptimos de pH proporciona ao atleta a capacidade para competir a altas intensidades e suportar um grande volume de esforço.

Considerando o estudo de McNaughton et al., 1999, como representativo deste tipo de esforço, os autores investigaram os efeitos produzidos pela ingestão prévia de $0,3 \text{ g.kg}^{-1}$ de massa corporal de bicarbonato de sódio na realização de 1h de esforço máximo num cicloergómetro por 10 ciclistas treinados (200 a 300 km por semana). Os resultados revelaram um

incremento de 14% no total de trabalho realizado no grupo experimental relativamente ao grupo controlo. Em contraste com este trabalho, Stephens et al. 2002, investigou os efeitos da ingestão de NaHCO_3 em exercício de resistência com duração aproximada de 60 minutos, em seis ciclistas e triatletas treinados e um esquiador. Os resultados evidenciaram uma redução na concentração muscular de H^+ , não sendo, no entanto, observadas alterações nas concentrações de fosfocreatina ou na utilização de glicogénio e, consequentemente também não ocorrendo melhoria da performance. Ambos os grupos, sob o efeito do bicarbonato de sódio e o de controlo, pedalarão durante 30 minutos a 77% do $\text{VO}_{2\text{max}}$ após a completar 469kj de trabalho no menor tempo possível (correspondendo aproximadamente a 30 minutos a uma intensidade média equivalente a 80% do $\text{VO}_{2\text{max}}$). Não obstante, a diferença no tempo de execução do exercício pode ser uma das causas que contribui para este conflito de resultados, ou ainda o uso de um número reduzido de participantes (< 5) na realização de biópsias musculares para posterior análise do metabolismo intracelular durante a realização de exercício contínuo. Quanto à performance, a razão para os divergentes resultados entre este estudo e o estudo de McNaughton et al., parece dever-se às diferenças entre os protocolos aplicados (60 minutos vs 30 minutos após 30 minutos a 75-80% $\text{VO}_{2\text{max}}$) ou às características dos atletas envolvidos nas investigações.

2.3.4 Exercícios intervalados de longa duração

Os exercícios intervalados de longa duração caracterizam-se por uma associação entre exercícios de alta intensidade e exercícios longos. No estudo conduzido por Price et al., 2003, os autores pretenderam compreender o efeito da suplementação de bicarbonato de sódio em esforços típicos de modalidades acíclicas, como os desportos de equipa (ex. Futebol). Desta forma, foi investigado o efeito da ingestão de $0,3\text{g}/\text{kg}^{-1}$ de massa corporal de bicarbonato de sódio em 8 atletas treinados, durante um período de 30 minutos a pedalar com alterações acíclicas de intensidade. O protocolo de esforço consistiu na

repetição de 3 blocos de 3 minutos compreendendo 90 segundos a 40% do VO_{2max} , 60 segundos a 60% do VO_{2max} e 14 segundos em esforço máximo (sprint) seguidos por 16 segundos de recuperação activa. Foram observados valores elevados de pH e de lactato no sangue durante o exercício nos atletas submetidos a suplementação com $NaHCO_3$. Comparado com os atletas do grupo controlo, o grupo experimental manifestou uma elevada potência relativa durante os sprints finais e um reduzido índice de fadiga. Estes incrementos constatados na performance, ocorreram durante os 15 minutos iniciais de exercício, que é consistente com o período de tempo em que o pH do sangue se altera mais vivamente. Num outro estudo muito idêntico ao de Price et al., 2003, Bishop e Claudius, 2005, sujeitaram atletas de hóquei à realização de dois blocos de 36 minutos em ciclo-ergómetro. O protocolo deste estudo consistiu em séries de aproximadamente 2 minutos (4s sprint, 100s a 35% do VO_{2max} , 20s de recuperação passiva com duas séries de sprints repetidos adicionais [5 x 2s separados por 35s a 35% do VO_{2max}]) ao longo de cada bloco de 36 minutos. Tal como o estudo de Price et al, 2003 Bishop e Claudius não observaram alterações no VO_{2max} durante o exercício, no entanto ocorreu um aumento do pH e HCO_3^- sob o efeito da suplementação de $NaHCO_3$, bem como, uma melhoria significativa na performance no grupo suplementado com bicarbonato de sódio.

Um outro estudo desenvolvido por Kozak-Collins et al. (1994) investigou o efeito da ingestão de $0,3g/kg^{-1}$ de massa corporal de $NaHCO_3$, 120 minutos antes do exercício, na performance de pedalar repetidamente com 1minuto a $95\%VO_{2max}$ ($\approx 277W$) intercalado com 1minuto de recuperação a 60W. Em concordância com o estudo anterior desenvolvido por Bishop e Claudius, 2005, não foram encontradas diferenças significativas no volume total de trabalho no grupo submetido ao efeito do bicarbonato de sódio em relação ao grupo placebo.

Fazendo uma análise geral aos três artigos citados, apuramos que o estudo que apresenta o efeito mais significativo no pH durante o exercício sob o efeito do bicarbonato de sódio é o estudo que exhibe o pH mais inferior durante o exercício na situação placebo (Price et al., 2003). A observação de

efeitos não significativos nos restantes estudos, talvez se deva à insuficiente intensidade anaeróbia atingida durante o exercício para que o bicarbonato de sódio evidenciasse o seu efeito.

2.3.5 Outros estudos relevantes

Vários estudos foram desenvolvidos com o intuito de testar o efeito do NaHCO_3 na melhoria do trabalho de força (Coombes & McNaughton, 1993; Marsit et al., 1993; Portington et al., 1998; Verbitsky et al., 1997; Webster et al., 1993). Nos estudos de Portington et al., 1998 e Webster et al., 1993, não foram observadas diferenças significativas no volume total de exercício (número total de repetições até à exaustão) nas 5 séries executadas a 85% de uma repetição máxima (1RM) na prensa. Estes investigadores sugeriram que a reduzida taxa de produção de lactato e H^+ no exercício de força, em contraste com outras actividades desportivas, tais como pedalar a alta intensidade, minimiza os possíveis benefícios do incremento do pH e do HCO_3^- extracelular associados à suplementação de bicarbonato de sódio. No entanto, outros estudos obtiveram resultados positivos. Marsit et al., 1993, observaram um aumento na realização de 10 repetições na prensa a 67,5% de 1RM. Assim como Coombes e McNaughton, 1993, que observaram o incremento no volume total de trabalho e na força máxima, na execução da flexão e extensão isocinética das pernas durante 85 segundos à máxima intensidade voluntária. Igualmente, Verbitsky et al., 1997, observaram a eficácia do NaHCO_3 na melhoria da força máxima durante contracções isométricas provocadas por estímulos eléctricos subcutâneos no músculo quadricípite femoral, tanto ao nível da atenuação da fadiga como no incremento da recuperação. Outro exemplo da utilização da suplementação de bicarbonato de sódio em diferentes modalidades surge do judo. De facto, um estudo recente investigou o efeito da ingestão de $0,3\text{g/kg}^{-1}$ de massa corporal de bicarbonato de sódio numa simulação da performance de judo (Artioli et al., 2007). Os 9 atletas de elite participantes neste estudo conseguiram uma significativa melhoria da performance, na medida em que foi

observado um maior número de arremessos pelos atletas suplementados com bicarbonato de sódio relativamente à condição placebo. No mesmo estudo, foi ainda observado um significativo aumento relativo na potência média na terceira e quarta série de quatro testes Wingates efectuados para os braços, cada um separado por 3 minutos de recuperação. Na quarta série, o valor máximo da potência foi significativamente mais alto no grupo de atletas submetido ao efeito do bicarbonato de sódio comparativamente ao controlo.

Quadro 1: Sumário dos estudos mais significativos e representativos sobre o efeito ergogénico do bicarbonato de sódio (NaHCO₃)

Autores	Estudo	Dose (g.kg⁻¹)	Tempo antes da ingestão	Efeito ergogénico
Lindh et al., 2007	200m Natação Crawl	0,3	60-90min	Redução dos tempos médios de performance
Robergs et al., 2005	Pedalar até a atingir exaustão a 110% do VO _{2max}	0,2 de NaHCO ₃ + 0,2 NaCitrato	60min	Sem diferença no tempo até atingir a exaustão
Raymer et al., 2004	Exercício do antebraço até atingir exaustão	0,3	90 min	Aumento do tempo até atingir a exaustão
Lavender e Bird, 1989	10 X 10s a pedalar ao máximo com 50s intervalo	0,3	60min	Aumento da média da distância percorrida e da potência máxima produzida
Aschenbach et al., 2000	8 x 15s Máx c/ 20s recuperação activa no ergómetro de braços	0,3	90 e 60min	Não foram observadas melhorias na performance
McNaughton et al., 1999	1h de intensidade máxima de ciclo-ergómetro	0,3	90min	Incremento na performance de 14% em relação ao teste de controlo
Bishop e Claudius, 2005	2 x 36min descontínuos de hóquei	2 x 0,2	90 e 20min	Não foram observadas melhorias no volume total de exercício; melhoria da performance
Price et al., 2003	2 x 30min a pedalar descontínuo	0,3	60min	Incremento da média de potência em sprints máximos
Stephens et al., 2002	30 min pedalar contínuo a ≈77% VO _{2máx}	0,3	90 min	Não foram observadas melhorias na performance
Artioli et al, 2007	3 X teste específico de judo e 4 x teste Wingate braços	0,3	120min	Aumento da performance

2.4 O caso particular do remo

O remo é uma modalidade em que a performance é determinada em grande medida por factores fisiológicos. Segundo Hagerman (1990), é das modalidades mais exigentes do ponto de vista fisiológico, relativamente às outras modalidades aeróbias. Numa competição de 2km, são mobilizados de forma maximal todos os sistemas energéticos, contudo é manifesta a predominância do metabolismo aeróbio para a produção de energia necessária para o esforço competitivo, como é comprovado pelos 80% atribuídos pela literatura (Hartmann e Mader, 1993; Peltonen et al., 1995)

Analisando de uma forma mais detalhada uma regata de 2km, podemos discernir que numa primeira fase ocorre uma redução drástica, num curto espaço de tempo, das reservas de ATP e fosfocreatina (CP). Como as necessidades energéticas excedem em grande parte a produção da mesma através do metabolismo aeróbio, a contracção muscular só pode continuar como resultado da glicólise anaeróbia. No entanto, o fornecimento energético via glicólise resulta numa rápida acumulação de ácido láctico nos músculos. Este ácido láctico produzido diminui o pH intracelular a um nível tal que a glicólise anaeróbia é limitada contribuindo para o aparecimento da fadiga. Se a duração da prova fosse de cerca de um minuto, o ácido láctico acumulado não causaria, necessariamente o mesmo tipo de constrangimento fisiológico, no entanto, numa prova de 2km, com uma duração entre 5 minutos e 30 segundos e os 8 minutos, os remadores terão de gerir o esforço de maneira a que o ácido láctico produzido seja tolerado até ao final da mesma. Desta forma, na parte intermédia da prova ocorre uma diminuição da intensidade por parte dos atletas, entrando predominantemente numa fase aeróbia em que as concentrações de ácido láctico produzido são mantidas num nível suportável. Já na fase final da regata, a taxa de consumo de energia aumenta novamente, assim como a produção de ácido láctico (Hartmann, Mader, Wasser & Klauer, 1993).

Quanto aos estudos realizados no âmbito do remo relativamente ao efeito da suplementação de bicarbonato de sódio estes são muito escassos. McNaughton e Cedaro, 1992, investigaram o efeito da ingestão de $0,3\text{g/kg}^{-1}$ de

massa corporal de NaHCO_3 em 5 atletas de remo altamente treinados. O protocolo experimental consistiu na realização de duas avaliações físicas em remo-ergómetro com 6 minutos cada. Neste estudo, foi possível observar-se uma significativa diferença na distância média percorrida, a favor do grupo suplementado com bicarbonato de sódio, entre os dois grupos. Foi ainda constatado que os valores de pH sanguíneo antes e após o exercício eram claramente superiores no grupo NaHCO_3 comparativamente ao controlo, o que parece sugerir que a suplementação com bicarbonato de sódio parece ter uma relevância positiva no remo. Outro estudo levado a cabo nesta modalidade investigou o efeito da infusão intravenosa de bicarbonato de sódio na alteração do ambiente ácido-base a nível sanguíneo (Nielsen et al, 2002). Os 5 remadores masculinos participantes neste estudo cumpriram dois testes de 2km máximos (distância oficial da modalidade), um sobre o efeito da suplementação com bicarbonato de sódio (200-350ml) e outro sujeitos à ingestão de substância placebo. Os resultados obtidos, à semelhança do estudo anterior, foram igualmente satisfatórios quanto ao efeito do bicarbonato de sódio. De facto, observou-se uma redução menos acentuada do pH, da saturação arterial de O_2 e da PO_2 arterial durante exercício sob o efeito do NaHCO_3 em relação ao grupo placebo. Constatou-se ainda um incremento na PCO_2 no último minuto do teste no grupo suplementado com NaHCO_3 , não sendo o mesmo evidente no grupo controlo. Os autores concluíram que a infusão de bicarbonato de sódio aumenta significativamente a capacidade de tamponamento do sangue diminuindo a acidose gerada pelo exercício de alta intensidade e melhorando a performance no remo.

3. Conclusões

Apesar de já existir um grande leque de trabalhos dedicados ao estudo do efeito ergogénico do bicarbonato de sódio durante o exercício, as conclusões dos mesmos parecem-nos muito divergentes. Estas diferenças são normalmente associadas: (1) à metodologia utilizada, tal como diferenças na dosagem utilizada, bem como no momento da ingestão antes do início do exercício (Matson & Tran, 1993); (2) às necessidades metabólicas inerentes à modalidade seleccionada; (3) à variabilidade individual dos sujeitos da amostra relativamente às respostas à ingestão de NaHCO_3 (Aschenbach et al., 2000); (4) ao nível de preparação física dos indivíduos participantes, ou seja, atletas bem treinados apresentam maior capacidade de produzir elevadas quantidades de ácido láctico durante o exercício, beneficiando de um forma mais expressiva do efeito da ingestão de um agente alcalino na execução de exercício de alta intensidade (McNaughton, 1992); (5) e ao nível de familiarização dos indivíduos com os protocolos escolhidos, pois um bom conhecimento do esforço a realizar produz resultados mais consistentes, principalmente em exercícios de longa duração como pedalar (Schabort et al., 1998). No entanto, parece ser mais ao menos consistente o benefício ergogénico desta substância nos diferentes tipos de esforço. A grande maioria dos estudos sustenta a ideia de que a suplementação com NaHCO_3 estabelece e mantém elevados os valores de pH durante o exercício. Este pH elevado promove a remoção de H^+ e La^- do músculo activo, permitindo o aumento da contractilidade do músculo durante o esforço físico.

Analisando a literatura podemos constatar que tanto a performance nos exercícios curtos como nos longos pode beneficiar dos efeitos ergogénicos deste substância tamponizante. No entanto, surgem algumas excepções, como é o caso de exercícios inferiores a 30-40 segundos onde os agentes alcalinos parecem ter uma reduzida influência na performance (Ibañes et al., 1995; McNaughton, 1992; McNaughton & Cedaro 1992). Estes tipos de exercício não promovem grandes alterações no pH e, conseqüentemente, o usufruto da capacidade de tamponamento é nula, limitando o potencial benefício de

ingestão de substâncias tamponizantes. Também os resultados obtidos em exercícios de duração muito prolongada parecem ser inconclusivos (Marx et al., 2002; Stephens et al., 2002), sendo necessário mais trabalho para perceber até que ponto é benéfica a ingestão de bicarbonato de sódio neste tipo de actividade.

Concluindo, a suplementação com bicarbonato de sódio parece-nos ser uma estratégia bastante efectiva, no que diz respeito às melhorias na performance, no entanto a sua utilização deve ser sempre testada antes das competições, devido a variabilidade individual da resposta ao seu efeito na performance e mesmo aos efeitos secundários que dela podem resultar, nomeadamente, distúrbios gastrointestinais, embora esteja descrito que apenas 10% dos atletas não tolere esta substância (McNaughton et al., 2008). No caso particular do remo, devido a escassez de artigos, não poderemos afirmar de forma conclusiva que a ingestão de NaHCO_3 promove o incremento da performance nesta modalidade. No entanto, com os resultados positivos apresentados nos estudos realizados na modalidade e outros estudos em que as características fisiológicas são semelhantes a esta modalidade e comprovam a eficácia desta substância, podemos antever que a administração de bicarbonato de sódio poderá promover melhoria na performance no remo, apesar de ser necessária mais investigação para concretizar esta afirmação.

4. Referências Bibliográficas

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

Allen D.G., Lee J.A. e Westerblad H. (1989). Intracellular calcium on tension during fatigue in isolated single muscle fibres from *xenopus laevis*. *J. Physiol.*, 415, 433-458.

Applegate E. (1999). Effective nutritional ergogenic aids. *Int. J. Sports Nutr.*, 9, 229-39.

Artoli G.G., Gualano B., Coelho D.F., Benatti F.B., Gailey A.W. e Lancha A.H. (2007). Does sodium-bicarbonate ingestion improve simulated judo performance? *Int. J. Sport Nutr. Ex. Metab.*, 17, 206-217.

Aschenbach W., Ocel J., Craft L. e Ward C. (2000). Effect of oral sodium loading on high-intensity arm ergometry in college wrestlers. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32, 669-675.

Bishop D., Edge J., Davis C. e Goodman C. (2004). Induced metabolic alkalosis affects muscle metabolism and repeated-sprint ability. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 36, 807-813.

Bishop D. e Claudius B. (2005). Effects of induced metabolic alkalosis on prolonged intermittent-sprint performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 35, 759-767.

Bouissou P., Deber G., Guiezennec C.Y., Estrade P.Y. e Sierrurier. (1988). Metabolic and blood catecholamine responses to exercise during alkalosis. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 20, 228-232.

Brooks G.A. (2000). Intra- and extra-cellular lactate shuttles. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 32, 790-799.

Cady E.B., Jones D.A., Lynn J. e Newhan D.J. (1989). Changes in force and intracellular metabolites during fatigue of human skeletal muscle. *J. Physiol.*, 418, 311-325.

Coombes J. e McNaughton L. (1993). Effects of bicarbonate ingestion on length strength and power during isokinetic knee flexion and extension. *J. Strength Cond. Res.*, 7, 241-249.

Cosgrove M.J., Wilson J., Watt D. e Grant S.F. (1999). The relationship between selected physiological variables of rowers and rowing performance as determined by a 2000 m ergometer test. *J. Sports Sci.*, 17, 845-852.

Costill D.L., Verstappen H., Kuipers H., Janssen E. e Fink W. (1984). Acid-base balance repeated bouts of exercise: Influence of HCO_3^- . *Int. J. Sports Med.*, 5, 228-231.

Edge J., Bishop D. e Goodman C. (2006). 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.

Fabiato A., e Fabiato F., (1978). Effects of pH on the myofilaments and sarcoplasmic reticulum of skinned cell from cardiac and skeletal muscle. *J. Physiol.*, 276, 233-235

Favero, Terence G., Anthony C. Zable, David Colter, and Jonathan J. Abramson (1997). Lactate inhibits Ca^{2+} -activated Ca^{2+} -channel activity from skeletal muscle sarcoplasmic reticulum. *J. Appl. Physiol.* 82(2): 447–452,.

Fitts R.H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiol. Rev.*, 74, 49-94.

Forbes S.C., Raymer G.H., Kowalchuk J.M. e Marsh G.D. (2005). NaHCO₃ induced alkalosis reduces the phosphocreatine slow component during heavy-intensity forearm exercise. *J. Appl. Physiol.*, 99, 1668-1675.

Fox E., Bowers R. e Foss M. (1993). *The Physiological Basis of Physical education and athletics*. Dubuque, IA: Brown & Benchmark

Gaitanos G.C., Nevill M.E., Brooks S. e Williams C. (1991). Repetead bouts of sprint running after induced alkalosis. *J. Sports Sci.*, 9, 355-370.

Gao J., Costill D.L., Horswill C.A. e Park S.H. (1988). Sodium bicarbonate ingestion improves performance in interval swimming. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 58, 171-174.

Goldfinch J., McNaughton L.R. e Davies P. (1988). Bicarbonate ingestion and its effects upon 400m. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 57, 45-48.

Gladden L. (1989). Lactate uptake by skeletal muscle. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 17, 115-155.

Granier P.L., Dubouchaud H., Mercier B.M., Mercier J.G., Ahmaidi S. e Préfaut C.H. (1996). Effect of NaHCO₃ on lactate kinetics in forearm muscles during leg exercise in man. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 28, 692-697.

Guyton A.C. e Hall J. E. (1991). *Textbook of medical physiology*. Phyladelphia: W.B. Saunders.

Hagerman e Hagerman (1990). A comparison of energy output and input among elite rowers. *FISACoach*, 1(1), 5-8.

Hartmann U. e Mader A. (1993). Modeling metabolic conditions in rowing through post-exercisesimulation. *FISACoach*, 4(4), 1-11.

Hartmann U., Mader A., Wasser K. e Klauer I. (1993). Peak force, velocity and power during five and ten maximal rowing ergometer strokes by world class female and male rowers. *Int. J. Sports Med.*, 14 (suppl 1), S42-S45.

Hollidge-Horvat, M.G., Parolin M.L., Wong D., Jones N.L. e Heigenhauser G.J. (2000). Effect of induced metabolic alkalosis on human skeletal muscle metabolism during exercise. *Am. J. Physiol.*, 278, E316-E329.

Horswill C.A., Costill D.L., Fink W.J., Flynn M.G., Kirwant J.P., Mitchell J.B. e Houmard J.A. (1998). Influence of sodium bicarbonate on sprint performance: Relationship to dosage. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 20, 566-569.

Ibañes J., Pullinen T., Gorostiaga E., Postigo A. e Mero A. (1995). Blood, lactate and ammonia in short-term anaerobic work following induced alkalosis. *J. Sports Med.*, 35, 187-193.

Ingham S.A., Whyte G.P., Jones K. e Nevill A.M. (2002). Determinants of 2,000 m rowing ergometer performance in elite rowers, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 88, 243-246.

Inbar O., Rotsein A., Jacobs I., Kaiser P., Dlin R. e Dotan R. (1983). The effect of alkaline treatment on short-term maximal exercise. *J. Sports Sci.*, 12, 95-104.

Juel C. (1998). Muscle pH regulation: role of training. *Acta. Physiol. Scand.*, 162, 359-362

Kozak-Collins K., Burke E. e Schoene R.B. (1994). Sodium bicarbonate ingestion does not improve cycling performance in women cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26, 1510-1515.

Kesi L.D. e Engen R.L. (1998). Effects of NaHCO₃ loading on acid-base balance, lactate concentration and performance in racing greyhounds. *J. Appl. Physiol.*, 85, 1037-1043.

Lavender G. e Bird S.R. (1989). Effect of sodium bicarbonate ingestion upon repeated sprints. *British J. Sports Med.*, 23, 41-42.

Lindh A.M., Peyrebrune M.C, Ingham S.A., Bailey D.M. e Folland J.P. (2007). Sodium bicarbonate improves swimming performance. *Int. J. Sports Med.*, 29, 519-523.

Mainwood G., Worsley-Brown P. (1975). The effects of extracellular pH and buffer concentration on the efflux of lactate from frog sartorius muscle. *J. Appl. Physiol.*, 250, 1-22.

Mannion A.F., Jakeman P.H., Dunnet M., Harris R. e Willan P. (1992). Carnosine and anserine concentrations in the quadriceps femoris muscle of healthy humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 64, 47-50.

Marsit J.L., Conley M.S. e Stone M.H. (1993). The effect of different doses of sodium bicarbonate on performance of the leg press exercise. *J. Strength Cond. Res.*, 7, 184.

Marx J.O., Gordon S.E., Vos N.H., Nindl B.C., Gómez A.L., Volek J.S., Pedro J., Ratamess N., Newton R.U., French D.N., Rubin M.R., Hakkinen K. e Kraemer W.J. (2002). Effect of alkalosis on plasma epinephrine responses to high intensity cycle exercise in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 87, 72-77.

Matson L.G. e Tran Z.U. (1993). Effect of sodium bicarbonate ingestion on anaerobic performance: A meta-analytic review. *Int. J. Sports Nutr.*, 3, 2-28.

Matsuura R., Arimitsu T., Kimura R. (2007). Effect of oral administration of sodium bicarbonate on surface EMG activity during repeated cycling sprints. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 101, 409-417.

Maughan R.J. (1999). Nutritional ergogenics aids and exercise performance. *Nutr. Res. Rev.*, 12, 255-280.

Maughan R. (2002). The athlete's diet: nutritional goals and dietary strategies. *Proc. Nutr. Soc.*, 61, 87-96.

McKenzie D.C., Coutts K.D., Stirling D.R., Hoeben H.H. e Kubara G. (1986). Maximal work production following two levels of artificially induced metabolic alkalosis. *J. Sports Sci.*, 4, 35-38.

McNaughton L.(1992). Bicarbonate ingestion: Effects of dosage on 60s cycle ergometry. *J. Sports Sci.*, 10, 415-423.

McNaughton L.(1992). Sodium bicarbonate ingestion and its effects on anaerobic exercise of various durations. *J. Sports Sci.*, 10, 425-435.

McNaughton L. e Cedaro R. (1991). The effect of sodium bicarbonate on rowing ergometer performance in elite rowers. *Australian J. Sci. Med. Sport*, 23, 66-69.

McNaughton L., Dalton B. e Palmer G.(1999). Sodium bicarbonate can be used as an ergogenic aid high-intensity, competitive cycle ergometry of 1h duration. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 80, 64-49.

McNaughton L. e Thompson D. (2001). Acute versus chronic sodium bicarbonate ingestion and anaerobic work and power output. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 41, 456-462.

McNaughton L.R., Siegler J. e Midgley A. (2008). Ergogenic effects of sodium bicarbonate. *Curr. Sports Med. Rep.*, 7, 4, 230-236.

Meyer T., Faude O., Scharhag J., Urhausen A., Kindermann W. (2004). Is lactic acidosis a cause of exercise induced hyperventilation at the respiratory compensation point? *Br. J. Sports Med.*, 38, 622-625.

Nattie E. (1990). The alphastat hypothesis in respiratory control and acid-base balance. *J. Appl. Physiol.*, 69, 305-310.

Nielsen H.B. (1999). Ph after competitive rowing: the lower physiological range? *Acta Physiol. Scand.*, 165, 113-114.

Nielsen H.B., Bredmose P.P., Stromstad M., Volianitis S., Quistorf B. e Secher N.H. (2002). Bicarbonate attenuates arterial desaturation during maximal exercise in humans. *J. Appl. Physiol.*, 93, 724-731.

Nielsen H.B., Hein L., Svendsen L.B., Secher N.H. e Quistorff B. (2002). Bicarbonate attenuates intracellular acidosis. *Acta Anaesthesiol Scand.*, 46, 579-584.

Osnes J.B. e Hermansen L. (1972). Acid-base balance after maximal exercise of short duration. *J. Appl. Physiol.*, 32, 59-63

Peltonen J.E., Rantamaki J., Niittymaki S.P.T., Sweins K., Viitasalo J.T. e Rusko H.K. (1995). Effects of oxygen fraction in inspired air on rowing performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24 (4), 573-579.

Pierce E.F., Eastman N.W., Hammer W.H. e Lynn T.D. (1992). Effect of induced alkalosis on swimming time trials. *J. Sports Sci.*, 10, 255-259.

Portington K.J., Pascoe D.D., Webster L.H., Rutland R.R. e Gladden B. (1998). Effect of induced alkalosis on exhaustive leg press performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 30, 523-528.

Potteiger J.A., Webster M.J., Nickel G.L., Haub M.D. e Palmer R.J. (1996). The effects of buffer ingestion on metabolic factors related to distance running performance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 72, 365-371.

Powers S.K. e Howley E.T. (2004). *Exercise physiology: theory and application to fitness and performance*, 5th ed. Mcgraw-Hill companies, New York. Cap. 11, 222-228.

Price M., Moss P. e Rance S. (2003). Effects of sodium bicarbonate ingestion on prolonged intermittent exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 35, 1303-1308.

Pruscino C. L., Ross M.L.R., Gregory J. R., Savage B. e Flanagan T. R. (2008). Effects of sodium bicarbonate, caffeine, and their combination on repeated 200m freestyle performance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Met.*, 18, 116-130.

Raymer G.H., Marsh G.D., Kowalchuk J.M. e Thompson R.T. (2004). Metabolic effects of induced alkalosis during progressive forearm to fatigue. *J. Appl. Physiol.*, 96, 2050-2056.

Renfree A. (2007). The time course for changes in plasma $[H^+]$ after sodium bicarbonate ingestion. *Int. J. Sports Physiol. Performance*, 2, 323-326.

Requena B.M., Zabala M., Padial P. e Feriche B. (2005). Sodium bicarbonate and sodium citrate: Ergogenic aids? *J. Strength Cond. Res.*, 19, 213-224.

Robergs R. (2002). Blood Acid-base buffering: explanation of the effectiveness bicarbonate and citrate ingestion. *J. Exerc. Physiol.*, (5) 3, 1-5.

Robergs R., Hutchinson K., Hendee S. (2005). Influence of pre-exercise acidosis and alkalosis on the Kinetics of acid-base recovery following intense exercise. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, 14, 1-16.

Santalla A., Perez M., Montilla M., Vicente L., Davison R., Earnest C. e Lucia A. (2003). Sodium bicarbonate ingestion does not alter the slow component of oxygen uptake kinetics in professional cyclist. *J. Sports Sci.*, 21, 39-47.

Schabert E.J., Hawley J.A., Hopkins W.J., Mujika I. e Noakes T.D. (1998). A new reliable test of endurance performance for road cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 30, 1744-1750.

Spriet L.L., Lindinger M.I., Heigenhauser G.J. e Jones N.L. (1986). Effects of alkalosis on skeletal muscle metabolism and performance during exercise. *Am. J. Physiol.*, 251, R833-R839.

Spriet L. (1991). Phosphofructokinase activity and acidosis during short-term tetanic contractions. *Can. J. Physiol. Pharmacology*, 69, 298-304.

Stephens T.J., McKenna M.J., Canny B.J., Snow R.J. e McConell G.K. (2002). Effect of sodium bicarbonate on muscle metabolism during intense endurance cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 34, 614-621.

Sutton J.R., Jones N.L. e Toews C.J. (1981). Effect of pH on muscle glycolysis during exercise. *Clin. Sci.*, 61, 1862-1867.

Tiryaki G.R., e Atterbom H.A. (1995). The effects of sodium bicarbonate and sodium citrate on 600m running time of trained females. *J. Sports Med.*, 35, 194-198.

Verbitsky O., Mizrahi J., Levin M. e Izakov E. (1997). Effect of ingested sodium bicarbonate on muscle force, fatigue and recovery. *J. Appl. Physiol.*, 83, 333-337.

Webster M.J., Webster M.N., Crawford R. e Gladen L. (1993). Effect of sodium bicarbonate ingestion on exhaustive resistance exercise performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 25, 960-965.

Wilkes D., Gledhill N. e Smyth R. (1983). Effect of acute induced metabolic alkalosis on 800m racing time. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 15, 277-280.

Yunoki T., Matsuura R., Arimitsu T., Kimura T., e Yano T. (2008). Effects of sodium bicarbonate ingestion on hyperventilation and recovery of blood pH after a short-term intense exercise.