

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA**

**INFLUÊNCIA DO ESTADO DE HIDRATAÇÃO SOBRE A CAPACIDADE DE
PRODUÇÃO DE FORÇA DO MÚSCULO ESQUELÉTICO APÓS EXERCÍCIO
PROLONGADO NO CALOR**

RODRIGO RODRIGUES

**PORTO ALEGRE
2011**

RODRIGO RODRIGUES

**INFLUÊNCIA DO ESTADO DE HIDRATAÇÃO SOBRE A CAPACIDADE DE
PRODUÇÃO DE FORÇA DO MÚSCULO ESQUELÉTICO APÓS EXERCÍCIO
PROLONGADO NO CALOR**

*Monografia apresentada à Escola de
Educação Física da Universidade Federal
do Rio Grande do Sul como pré-requisito
para a obtenção do grau de Bacharel em
Educação Física.*

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Vaz

Co-orientador: Prof. Ms. Bruno Manfredini
Baroni

PORTO ALEGRE

2011

Rodrigo Rodrigues

**INFLUÊNCIA DO ESTADO DE HIDRATAÇÃO SOBRE A CAPACIDADE DE
PRODUÇÃO DE FORÇA DO MÚSCULO ESQUELÉTICO APÓS EXERCÍCIO
PROLONGADO NO CALOR**

Conceito final:

Aprovado em.....de.....de.....

BANCA EXAMINADORA

Avaliador: Prof. Dr. Álvaro Reischak de Oliveira - UFRGS

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Vaz - UFRGS

AGRADECIMENTOS

- À minha família pelo apoio e suporte para que eu pudesse desenvolver com tranquilidade minha graduação, especialmente **minha mãe**, por ser a grande responsável pela educação e valores adquiridos na minha criação;
- Aos meus grandes amigos de longa data, especialmente **Renata Barcelos, Ananda Cardoso, Pâmela Wienskoski, Juliana Matos, Renan Giacomelli, Glaucia Damazio, Leandro Winter, Ronaldo Silveira, William Castro, Jederson Barbosa, Henrique Martins, Yuri Ferreira, Vinicius Bernardoni e Bruno Campos** por todas as histórias, festas, jantares, filmes, jogos, campeonatos, praias ao longo destes vários anos. Muito ainda está por vir;
- Aos meus colegas e amigos que foram fundamentais no início do curso, especialmente **Renan Borba, Amanda Benites, Vivian Portela e Marina Meneghel**. Fica meu agradecimento e o pedido de desculpa por hoje não ser como era há quatro anos;
- Ao **PET Educação Física**, pelos dois anos e meio de aprendizado, companheirismo e amizade com todos os bolsistas que passaram pelo grupo. Meu agradecimento especial à **Francine Menegotto**, por ter sido a pessoa que me iniciou no grupo quando eu ingressei. Além disso, pela oportunidade de conhecer cidades (Curitiba e Natal) e pelos amigos de outros grupos, especialmente **Roger Junges e Marcos Cavinato**;
- Ao **Grupo de Pesquisa em Biomecânica e Cinesiologia (GPBIC)** do LAPEX, pela recepção, aprendizado e todas as oportunidades desde meu ingresso no grupo, especialmente a **Jeam Geremia, Caroline Dias, Eduardo Onzi e Natália Goulart**, por terem me ajudado e ensinado algumas técnicas utilizadas pelo grupo, e aos demais colegas de outros grupos do LAPEX;
- A todos os professores pelo conhecimento transmitido e oportunidades durante a graduação, especialmente à **Janice Zarpellon Mazo, Wania Partata, Cláudia Silveira Lima, Ronei Silveira Pinto, Flávio Castro, Flávia Martinez, Adriane Vieira e Álvaro Reischak de Oliveira**;
- Ao meu orientador e mestre, **professor Marco Vaz**. Obrigado pela oportunidade e por ter confiado no meu trabalho. Se não fosse a chance dada, certamente metade do que eu conquistei nesta graduação não teria ocorrido.

Espero que o senhor ainda me ature por alguns anos. Obrigado pelos ensinamentos e por todo o aprendizado, tanto profissional, quanto pessoal;

- Aos funcionários da ESEF que sempre me ajudaram quando precisei em todos os momentos da minha graduação, especialmente **Luciano e Dani** no LAPEX, **Cíntia e Ivone** na biblioteca, **Márcia** da COMGRAD, entre outros, meu muito obrigado;

- Aos meus colegas e amigos que aceitaram o convite e aos que se ofereceram a participar como sujeitos do meu trabalho sem citar nomes por motivos óbvios. Sem vocês, eu não teria trabalho. Desculpem qualquer coisa e saibam que nunca me esquecerei do que vocês fizeram. Muito obrigado;

- Aos amigos que se dispuseram a me ajudar durante a coleta de dados. Sem vocês certamente seria muito complicado. Muito obrigado **Marcelo Gava, Raquel Lupion, Jeam Geremia e Bruno Baroni**;

- Foram quatro anos de muita história junto com vocês. Um pouco de cada um de vocês me ajudou a chegar até aqui e finalizar esta etapa da minha vida. Quero vocês sempre comigo. Meu agradecimento especial a **Maurício Maia, Geison Garcia, Felipe Silveira, Felipe Marchetti, Gabriel Aimi, Patrícia Barbosa, Fábio Neves, Gabriela Padilha, Tirzah Souza, Marcelo Gava, Joana Magni, Daniele da Silva Gomes, Jéferson Dickel, Luís Fernando**, entre outros;

- À **Kelly Andara**, minha amiga, companheira, entre outros atributos. Obrigado por estar comigo em muitos momentos desde que nos conhecemos. Tu és uma pessoa muito especial na minha vida por tudo que tu representaste, representa e ainda vai representar. Ainda teremos muita história juntos. Obrigado por tudo;

- À **Patrícia Bartz**, que desde o primeiro momento que nos conhecemos me mostrou e me ensinou muita coisa. Tenho muito orgulho destes quatro anos juntos. Obrigado pelas conversas, dicas, apoio em vários momentos importantes para mim. Tu és fundamental;

- Ao meu mestre, amigo e exemplo de pessoa e profissional, **Bruno Baroni**. Obrigado por tudo que tu me ensinaste dentro do grupo. Tenha certeza que se não fosse tu, eu não estaria aqui hoje e não teria a oportunidade de seguir teus passos daqui pra frente. Tenho muito orgulho de te ter como amigo e 'chefe'. Torço muito pelo teu sucesso porque tu és um dos caras que conheço que mais merece isso pelo teu esforço e dedicação. Tu é o cara bruxo;

- Aos meus eternos companheiros de indiada, noite, janta, passeio no gasômetro, jogar pedrinha na água, conversas até o amanhecer e principalmente, muita risada, **Camila Mello, Élton Fraga, Susana Portot e Graciele Rossau**. Tenho muito orgulho de ser amigo de vocês. Estiveram comigo desde o início e certamente estarão por muitos e muitos anos. Obrigado por tudo e que venham mais histórias. Amo vocês;

- Grande **Rodrigo Franke**, meu afilhado de faculdade, meu amigo, meu parceiro, meu irmão. Tu foste um dos grandes presentes que a ESEF me deu, desde quando te conheci, quando tu tava perdido e tremendo no trote de matrícula. Tenho muito orgulho de tudo que passamos juntos, muita história cara. Conversas, conselhos, vídeo-game, futebol. Tu estiveste comigo em praticamente todos os momentos da minha vida, dos piores aos melhores, com aquele teu jeito único, com a palavra certa (ou não), no momento adequado (ou não). Temos muito ainda pela frente cara e tu vai estar comigo, certamente. Valeu por tudo bestão, mesmo. Espero que o futuro aí nos reserve grandes parcerias juntos, tanto pessoal, quanto profissional. Tu és um exemplo pra mim cara. Meu irmão mais novo. Te amo.

- Meu irmão **Felipe Magno**. Apesar de o cara achar que eu fazia a ‘social forçada’ com todo mundo, eu gosto desse cara. Já te disse isso uma vez, e falando aqui é oficial, porque todo mundo vai acessar esse documento. Muito obrigado por tudo mano. Tu és um exemplo pra mim, pela tua tranquilidade no dia-a-dia e loucura total na noite (brincadeira). Obrigado por sempre acreditar em mim, me apoiar, me incentivar, me aconselhar, me abrir os olhos em todos os momentos. Certamente é uma das pessoas que mais me conhecem e sabem como eu realmente estou sem precisar que eu fale uma palavra. Cara, valeu pelas noites, por todos os jogos juntos no Beira-Rio, as grandes vitórias (Sul-Americana 2008, Libertadores 2010) e nas derrotas também. Tu sabes realmente o significado da palavra amizade. Temos muito ainda pela frente mano. O resto tu tem em papel. Te amo cara.

- E por fim, fica uma das maiores lições que eu aprendi na graduação:

O homem deve criar as oportunidades e não somente encontrá-las.

Francis Bacon

RESUMO

Introdução: A hipohidratação implica em uma série de alterações fisiológicas no organismo que promovem déficit no desempenho. Entretanto, seu efeito sobre a produção de força carece de evidências científicas. **Objetivo:** Verificar a influência do estado de hidratação decorrente de um protocolo de exercício físico no calor sobre a capacidade de produção de força dos músculos extensores de joelho e flexores de cotovelo. **Materiais e métodos:** Dez sujeitos do sexo masculino ($22,5 \pm 2,21$ anos; $75,9 \pm 7,35$ kg; $176 \pm 6,46$ cm; $18,85 \pm 3,01$ % GC) foram submetidos a exercício físico em uma câmara ambiental ($36-37^{\circ}\text{C}$ – 45% UR) até que 2% de hipohidratação (HI) fosse atingido, havendo reposição hídrica proporcional na situação euhidratada (EU). Mensurações da gravidade específica da urina (GEU) e da temperatura retal (Tre) foram realizadas previamente à avaliação da força, que consistiu em 3 contrações isométricas máximas de extensores de joelho e de flexores de cotovelo em um dinamômetro isocinético, antes e após o exercício no calor nas duas situações de hidratação. A atividade eletromiográfica dos músculos vasto lateral (VL), reto femoral (RF) e bíceps braquial (BB) foi mensurada durante as contrações voluntárias. **Resultados:** Nas avaliações de força pré-exercício de ambas as situações os sujeitos estavam euhidratados ($\text{GEU} < 1,020$). Já no momento pós-exercício, a situação HI foi confirmada ($\text{GEU} = 1,024 \pm 0,005$), bem como a situação EU ($\text{GEU} = 1,013 \pm 0,010$). Além disso, em nenhuma avaliação da produção de força os sujeitos estavam em hipertermia ($\text{Tre} > 38^{\circ}\text{C}$). Houve redução significativa (15,8%) do torque isométrico máximo de extensores de joelho na situação HI ($p < 0,05$) quando comparado à situação EU (2,98%) ($p > 0,05$). Quando a comparação foi realizada entre as situações após o exercício, foram encontrados valores significativamente inferiores na situação HI ($p < 0,05$). Quanto ao torque isométrico máximo de flexores de cotovelo, houve redução significativa (6,3%) após o exercício na situação HI ($p < 0,05$) quando comparado à situação EU (0,7%) ($p > 0,05$). Após o exercício, foram encontrados valores de torque significativamente inferiores na situação HI quando comparado à situação EU ($p < 0,05$). Nenhuma alteração significativa foi encontrada na ativação dos músculos VL, RF e BB ($p > 0,05$). **Conclusão:** Os resultados mostram que a ingestão de líquidos durante o exercício no calor pode auxiliar na manutenção da capacidade de produção de força do músculo esquelético.

Palavras-chave: hipohidratação; produção de força; desempenho

ABSTRACT

Introduction: Hypohydration involves a series of physiological changes in the body that promote deficit in performance. However, its effect on muscular strength production lacks of scientific evidence. **Purpose:** To investigate the influence of hydration state after exercise in the heat on knee extensor and elbow flexors muscular strength. **Methods:** Ten male subjects (22.5 ± 2.21 years, 75.9 ± 7.35 kg, 176 ± 6.46 cm, $18.85 \pm 3.01\%$ body fat) performed exercise in an environmental chamber ($36-37^{\circ}\text{C}$ - 45% relative humidity) until hypohydration (2% body weight) was reached. Proportional water intake as that lost during hypohydration was determined in the euhydrated condition. Maximal isometric knee extension and elbow flexion contractions were assessed before and after exercise in the heat. EMG activity (VL, RF and BB) was recorded during maximal voluntary contractions. Urine specific gravity (USG) and rectal temperature (T_{re}) was assessed before all muscular strength protocols. **Results:** The subjects were euhydrated before exercise in the two conditions (USG < 1020). After exercise the hypohydrated condition was confirmed (USG = 1.024 ± 0.005), as well as euhydrated condition (USG = 1.013 ± 0.010). Subjects did not show hyperthermia during muscular strength protocols ($T_{re} > 38^{\circ}\text{C}$). A significant reduction (15.8%) in the maximal isometric knee extension in the hypohydrated condition ($p < 0.05$) was observed compared to the euhydrated condition (2.98%) ($p > 0.05$). When the comparison was made between the conditions after exercise values were significantly lower in the hypohydrated ($p < 0.05$). There was a significant reduction (6.3%) in maximal isometric elbow flexion, there was after exercise in the hypohydrated condition ($p < 0.05$) when compared to the euhydrated condition (0.7%) ($p > 0.05$). After exercise, values were significantly lower in the hypohydrated condition when compared to the euhydrated condition ($p < 0.05$). No significant change was found in the activation of VL, RF and BB muscles ($p > 0.05$). **Conclusion:** The results show that fluid intake during exercise in the heat may contribute for the maintaining the muscular strength production.

Keywords: hypohydration; muscular strength; performance

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

%GC – percentual de gordura corporal
°.seg⁻¹ – graus por segundo
°C – graus Celsius
ADH – hormônio antidiurético
ANOVA – análise de variância
ATP – adenosina trifosfato
BB – bíceps braquial
Ca - cálcio
Cl – cloro
cm – centímetro
CP – creatina fosfato
CVM – contração voluntária máxima
Dc – densidade corporal
EU - euhidratado
EMG – eletromiografia
g.ml⁻¹ – gramas por mililitro
g/mm² - gramas por milímetro quadrado
H⁺ - íon hidrogênio
HCO₃⁻ íon bicarbonato
HI – hipohidratado
Hz – Hertz
K⁺ - íon potássio
Kcal/min – kilocalorias por minuto
l – litro
LAPEX – Laboratório de Pesquisa do Exercício
m.seg⁻¹ – metros por segundo
Mg – magnésio
mg.l⁻¹ – miligramas por litro
MHz – Mega Hertz
min – minutos
ml – mililitros

ml/kg – mililitros por quilograma

mmHg – milímetros de mercúrio

ms – milissegundos

Na – sódio

OVLT – órgão vascular da lâmina terminal

P_i – fosfato inorgânico

RF – reto femoral

s – segundos

SENIAM – Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles

SNC – sistema nervoso central

SO₄⁻ - íon sulfato

TPE – taxa de percepção ao esforço

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UR – umidade relativa do ar

V – Volts

VL – vasto lateral

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1	EXERCÍCIO NO CALOR	17
2.1.1	Mecanismos de termorregulação	17
2.1.2	Desidratação	18
2.1.3	Diagnóstico do estado de hidratação	21
2.2	ESTADO DE HIDRATAÇÃO E CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE FORÇA	22
2.2.1	Possíveis mecanismos de ação da hipohidratação na capacidade de produção de força	25
3	OBJETIVOS	29
3.1	Objetivo Geral	29
3.2	Objetivos Específicos	29
4	MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1	Aspectos éticos	30
4.2	Amostra	30
4.3	Critérios de inclusão/exclusão	30
4.4	Desenho experimental	31
4.4.1	Avaliação antropométrica	32
4.4.2	Registro alimentar	33
4.4.3	Estado de hidratação e temperatura central	33
4.4.4	Avaliação da capacidade de produção de força isométrica	33
4.4.5	Avaliação da ativação muscular	34
4.4.6	Protocolo de exercício no calor	34
4.5	Análise estatística	35
5	RESULTADOS	37
5.1	Registro alimentar	37
5.2	Exercício no calor	37
5.3	Estado de hidratação e temperatura central	37
5.4	Avaliação da capacidade de produção de força isométrica	38
5.5	Avaliação da ativação muscular	39
6	DISCUSSÃO	41

6.1	Produção de força	41
6.2	Ativação muscular	43
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
9	APÊNDICES	52
9.1	Apêndice A – Termo de consentimento livre e esclarecido	52
9.2	Apêndice B – Registro alimentar	55
10	ANEXOS	59
10.1	Anexo A – Carta de aprovação do comitê de ética em pesquisa da UFRGS	59

1 INTRODUÇÃO

Grande parte das funções do organismo depende da produção de energia para seu funcionamento de forma adequada. Segundo Wilmore e Costill (2001), cerca de 60% desta energia produzida é dissipada em forma de calor, levando à elevação na temperatura central. Para que a temperatura se mantenha constante, é necessário que a produção e a perda de calor se mantenham em equilíbrio. Durante o repouso, grande parte da dissipação do calor gerado pelo metabolismo acontece por condução, radiação, convecção e, com menor importância, pela evaporação (MCARDLE et al, 1998; WILMORE e COSTILL, 2001). Entretanto, durante a atividade física, com conseqüente elevação da taxa metabólica basal, a evaporação torna-se de grande importância para o controle da temperatura. Essa evaporação ocorre através da transpiração e é caracterizada pela eliminação de água na superfície da pele (MCARDLE et al, 1998; SAWKA et al, 2000; WILMORE e COSTILL, 2001). Esta forma de dissipação do calor se torna ainda mais importante durante o exercício em ambientes quentes, nos quais a temperatura externa supera a temperatura interna, elevando a taxa de transpiração, o que pode levar à desidratação (MCARDLE et al, 1998; SAWKA et al, 2000; ASTRAND et al, 2006).

A desidratação é um processo de perda da água corporal que pode levar a um quadro de hipohidratação (JUDELSON et al, 2007a), caso não haja uma reposição hídrica à altura da quantidade perdida (MARESH et al, 2004). Durante o exercício no calor, o organismo necessita dividir seus esforços em duas frentes importantes para manter o bom desempenho: fornecimento de sangue à musculatura ativa e à pele, visando a termorregulação (WILMORE e COSTILL, 2001; GONZÁLEZ-ALONSO et al, 2008). Outro fator agravante é que com a progressiva perda de água corporal, há uma redução no volume plasmático, levando a alterações cardiovasculares consideráveis, como redução no volume diastólico final e de ejeção. Porém, o mesmo débito cardíaco pode ser mantido por determinado período de tempo devido ao aumento reflexivo da frequência cardíaca (CASA, 1999; WILMORE e COSTILL, 2001; GONZÁLEZ-ALONSO et al, 2008) até determinado ponto, no qual o organismo não consegue mais manter as demandas que estão sendo impostas pelo exercício, reduzindo drasticamente o desempenho (SAWKA E PANDOLF, 1990; JUDELSON et al, 2007a; NYBO, 2008). Outras alterações decorrentes do processo de desidratação dizem respeito ao sistema hormonal

(MARESH et al, 2006; JUDELSON et al, 2008; KANIKOWSKA et al, 2009), ao metabolismo energético (JUDELSON et al, 2008) e à cinética do lactato (SAUNDERS et al, 2001; JENTJENS et al, 2002).

Existe uma vasta literatura sobre os efeitos do estado de hidratação no desempenho, com os primeiros registros em meados de 1800 (Murray et al, 2007), sendo bem descritos os efeitos que a desidratação causa no desempenho aeróbio (MCARDLE et al, 1998; WILMORE e COSTILL, 2001; JUDELSON et al, 2007a). O estado de hidratação pode ser avaliado por meio de alterações na massa corporal, além de respostas fisiológicas consequentes como alteração na osmolaridade plasmática, gravidade específica e coloração da urina (KAVOURAS, 2002; ARMSTRONG, 2007). Alguns estudos mostram que perdas hídricas mínimas (inferiores a 2% da massa corporal) já promovem reduções no desempenho aeróbio durante atividades no calor (CHEUVRONT et al, 2003; MURRAY et al, 2007), porém este efeito não é visto quando a perda ocorre em atividades em ambiente temperado com duração inferior a 90 minutos (SHIRREFFS et al, 2009). Apesar de descritos na literatura estes efeitos em atividades aeróbias, os efeitos da desidratação sobre a capacidade de produção de força são inconclusivos (JUDELSON et al, 2007a).

A grande maioria dos estudos não encontrou alteração (WEBSTER et al, 1990; MONTAIN et al, 1998; GREIWE et al, 1998; EVETOVICH et al, 2002; HEDLEY et al, 2002; CHEUVRONT et al, 2006; JUDELSON et al, 2007b) ou encontrou redução na capacidade de produção de força nesta condição (WEBSTER et al, 1990; SCHOFFSTALL et al, 2001; KRAEMER et al, 2001; FTAITI et al, 2001; HEDLEY et al, 2002; VALLIER et al, 2005; HAYES E MORSE, 2009).

A inconclusividade dos resultados deve-se basicamente à utilização de diversas técnicas de desidratação, como exercício, exposição em sauna e técnicas combinadas, o que dificulta uma melhor análise comparativa dos resultados. Além disso, a ausência de controle sobre variáveis intervenientes que também afetam o desempenho acaba contribuindo para a inconclusividade dos resultados (JUDELSON et al, 2007a). Dentre estas variáveis podemos destacar: (1) a temperatura central e muscular no momento da avaliação (FTAITI et al, 2001), já que um aumento da temperatura além do limite específico reduz a função neuromuscular e a capacidade de realizar trabalho (THOMAS et al, 2006; NYBO, 2008); (2) o tipo de exercício utilizado no protocolo (WEBSTER et al, 1990; FTAITI et al, 2001; VALLIER et al, 2005; HAYES E MORSE, 2009); (3) a restrição calórica imposta aos

sujeitos (KRAEMER et al, 2001). Todas essas variáveis podem afetar os resultados de modo que se torna impossível saber se o resultado encontrado na capacidade de produção de força se deve realmente à desidratação (JUDELSON et al, 2007a). A população estudada também pode mascarar o resultado. A utilização de atletas de longa distância como sujeitos do estudo (VALLIER et al, 2005), uma vez que as adaptações hemodinâmicas decorrentes da prática sistemática aumentam a reserva hídrica, mesmo fenômeno encontrado em mulheres, devido às alterações hormonais decorrentes do ciclo menstrual (MONTAIN et al, 1998; EVETOVICH et al, 2002)

Não há um consenso na literatura sobre por quais mecanismos o estado de hidratação interfere na capacidade de produção de força. Muitos estudos afirmam que a perda de água corporal afetaria algum mecanismo neuromuscular (MONTAIN et al, 1998; FTAITI et al, 2001; YOSHIDA et al, 2002). Para esta verificação, a grande maioria dos estudos utilizou a eletromiografia (EMG), e, devido à limitação desta técnica e a controvérsia dos resultados encontrados (FTAITI et al, 2001; HUNTER et al, 2002; EVETOVICH et al, 2002; VALLIER et al, 2005; HAYES E MORSE, 2009), torna-se necessária a utilização de outras técnicas mais fidedignas para quantificar o grau de ativação das unidades motoras de um grupo muscular frente às alterações no estado de hidratação. Nesta perspectiva, Judelson et al (2007a) apontam que a forma mais adequada para se verificar se existe realmente uma redução na atividade neural e conseqüente redução na geração de força seria através de técnicas como taxa de ativação central e interpolação de um abalo.

De acordo com a literatura revisada, vários estudos apresentam limitações nos resultados encontrados no que diz respeito aos efeitos do estado de hidratação na produção de força muscular, principalmente por ser extremamente necessário o controle sobre variáveis importantes como a técnica de desidratação utilizada, o estado de hidratação pré-avaliação, o tempo entre o protocolo de desidratação e as avaliações da capacidade de produção de força, o tipo de exercício utilizado e a população estudada (JUDELSON et al, 2007a). Uma vez que a fadiga muscular, que pode ser definida como a incapacidade de manter determinados níveis de força (TAYLOR e GANDEVIA, 2008), decorrente do protocolo de desidratação que envolve exercício físico já promove decréscimo na produção de força da musculatura envolvida, a soma deste quadro com a hipohidratação pode potencializar este déficit. Por outro lado, a ação isolada da hipohidratação carece de evidências na literatura. Desta forma, o problema de pesquisa do presente estudo é determinar quais as

alterações provocadas pelo estado de hidratação decorrente de um protocolo de exercício físico no calor sobre a capacidade de produção de força dos músculos extensores de joelho e flexores de cotovelo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 EXERCÍCIO NO CALOR

A prática de atividade física, sendo ela de forma estruturada ou não, vem crescendo no mundo inteiro, pois já são bem discutidos os riscos que a inatividade física causa na saúde da população. Entretanto, em alguns locais do mundo, esta prática ocorre em ambientes quentes e úmidos, o que pode prejudicar o desempenho e levar a sérios riscos à saúde (ACSM, 1996).

2.1.1 Mecanismos de Termorregulação

A temperatura corporal encontra-se em constante equilíbrio e o sistema nervoso central procura manter essa homeostase térmica pela integração de mecanismos dirigidos a balancear a quantidade de calor produzido pela quantidade de calor eliminado (MCARDLE et al, 1998; WILMORE e COSTILL, 2001).

Termorregulação implica em uma série de processos fisiológicos dirigidos a manter constante a temperatura interna do corpo, de maneira que esse não sofra mudanças extremas ao ser exposto a condições de diferentes cargas térmicas metabólicas ou ambientais, sendo todos estes esforços para proteger o corpo do superaquecimento (MCARDLE et al, 1998). Em condições ambientais neutras de 28°C a 30°C e 40 a 60% de umidade relativa (UR), a temperatura interna se encontra em aproximadamente 37°C (entre 36,1°C e 37,8°C), enquanto a da pele oscila entre 32°C e 35,5°C (MCARDLE et al, 1998).

Quando a temperatura interna começa a aumentar, o corpo une seus esforços para transferir este calor produzido para o ambiente, a fim de manter a temperatura interna na faixa considerada ideal. O principal mecanismo responsável pelo aumento da temperatura interna é o calor proveniente das reações do metabolismo energético. Durante uma atividade física intensa, a taxa metabólica basal pode aumentar de 20 a 25 vezes ou para aproximadamente 2 kcal/min. Outra forma de aumento da temperatura é a absorção do meio ambiente, devido ao calor solar e o contato com objetos mais quentes que o corpo (MCARDLE et al, 1998). Em contrapartida, os mecanismos responsáveis pela eliminação do calor produzido são:

condução, convecção, radiação e evaporação (WILMORE e COSTILL, 2001; ASTRAND et al, 2006).

A condução envolve a transferência de calor de um material para o outro, a partir de um contato molecular direto, enquanto a convecção envolve a mobilização do calor de um lugar para o outro através do movimento de um gás ou fluido. Apesar de removerem o calor corporal, estes dois métodos são responsáveis por cerca de 20% do resfriamento (WILMORE e COSTILL, 2001). Já a radiação é a primeira forma de eliminação do calor em repouso. Quando a temperatura ambiente aumenta, estas três formas de eliminação do calor passam a agir de forma contrária, ou seja, levando o calor do ambiente para o corpo, o que potencializa o aumento da temperatura. Nestas condições, a única forma efetiva de eliminação do calor corporal excessivo é através da evaporação do suor eliminado na pele, causando o resfriamento da mesma (MCARDLE et al, 1998; ASTRAND et al, 2006).

Para que haja um controle adequado da temperatura interna, são necessários mecanismos que percebam alterações na temperatura corporal. A sequência de acontecimentos que engloba o controle da temperatura central é: (1) aumento da temperatura interna e do sangue é percebido pelos termorreceptores; (2) impulsos são enviados ao hipotálamo; (3) vasodilatação dos vasos sanguíneos cutâneos de modo que mais calor é perdido por incremento do volume sanguíneo que chega à pele; (4) glândulas sudoríparas tornam-se mais ativas, aumentando a perda de calor por evaporação; (5) temperatura corporal diminui (WILMORE e COSTILL, 2001).

Após ser secretado na superfície da pele, o suor precisa ser evaporado para causar o resfriamento da pele e posterior resfriamento do sangue para o controle da temperatura. Existem alguns fatores que são fundamentais para o sucesso da evaporação do suor. A umidade do ar ou umidade relativa (UR) é definida como a relação da água no ar ambiente a uma determinada temperatura com a quantidade total de umidade que poderia ser carregada nesse ar, sendo este o fator mais importante para a evaporação do suor (MCARDLE et al, 1998). Quando a umidade é alta, a pressão do ambiente se aproxima daquela da pele úmida (40 mmHg) e a evaporação diminui consideravelmente. Assim, o suor forma gotas sobre a pele que não são utilizadas para resfriar o corpo, sendo uma perda de água inútil e perigosa para o organismo.

Além da umidade, a quantidade de superfície corporal em contato com o meio ambiente também é um fator importante. Em um estudo realizado por Armstrong et

al (2010) sobre os efeitos do uniforme completo para futebol americano sobre a temperatura retal e o desempenho em exercício, os resultados mostraram um aumento na temperatura retal e redução no tempo até a exaustão significativo quando comparado ao uniforme parcial e uma roupa comum. Além disto, outro fator importante são as correntes de ar, que, por convecção, ajudam o corpo a dissipar o calor.

O exercício por si só aumenta a demanda do sistema cardiovascular para uma maior redistribuição do débito cardíaco para a musculatura ativa. Porém, quando há um aumento progressivo na temperatura interna, os mecanismos termorregulatórios buscam redistribuir o fluxo sanguíneo para a periferia buscando o resfriamento (MCARDLE et al, 1998; WILMORE e COSTILL, 2001; ASTRAND et al, 2006). Esta condição de competição que acaba sendo criada prejudica tanto o fornecimento de sangue e oxigênio adequado à musculatura ativa, quanto para a termorregulação.

Durante exercícios musculares prolongados, com intensidade moderada a pesada, a frequência cardíaca não reflete alterações no débito cardíaco nem no fluxo sanguíneo da pele. Na verdade, o volume sistólico diminui, enquanto o débito cardíaco é mantido pelo aumento reflexivo da frequência cardíaca, quando qualquer alteração na função cardiovascular que limite o desempenho em ambiente quente pode ser atribuída ao menor volume sistólico (WILMORE e COSTILL, 2001; ASTRAND et al, 2006).

Em suma, as respostas do sistema cardiovascular frente ao exercício no calor podem ser resumidas como: (1) redução no retorno venoso, quando as demandas da pele e do músculo tornam-se muito grande; (2) aumento na frequência cardíaca e no esforço cardiovascular; (3) redução na estimulação barorreceptora; (4) centros de controle cardiovascular na medula respondem aumentando a vasoconstrição da musculatura e da pele, o que leva à redução na dissipação de calor e na função muscular, preservando temporariamente a função cardiovascular e a pressão arterial (CASA, 1999).

2.1.3 Desidratação

A desidratação caracteriza-se por um processo de perda de água corporal e eletrólitos, muito vivenciado por indivíduos que se exercitam ou trabalham no calor

(HAYES e MORSE, 2009). Não havendo uma reposição hídrica adequada, é possível de se atingir um quadro conhecido como hipohidratação (SAWKA et al, 2000). Esta preocupação se dá basicamente porque a condição de hipohidratação promove alterações cardiovasculares, termorregulatórias e hormonais (CASA, 1999) que podem afetar drasticamente a capacidade de realizar trabalho, principalmente de característica aeróbia (SAWKA e PANDOLF, 1990; NYBO, 2008).

A variação individual no volume sanguíneo é grande, sendo considerada normal de 5 a 6 l para homens e 4 a 5 l para mulheres. Este volume pode variar de acordo com o nível de atividade física, sendo maior em atletas de resistência aeróbia bem-treinados. Durante exercícios intensos, verifica-se ligeira diminuição no volume sanguíneo, principalmente devido ao processo de desidratação (ASTRAND et al, 2006). Esta variação no volume sanguíneo causado pela desidratação leva a alterações cardiovasculares significativas.

Além das alterações cardiovasculares, o estado de hidratação afeta também os hormônios relacionados ao sistema hidroeletrolítico, como o hormônio antidiurético (ADH) e aldosterona (MCARDLE et al, 1998; SILVERTHORN, 2003), sendo o primeiro responsável pela reabsorção de água nos rins e o segundo, a reabsorção de sódio, visto que estudos mostram que a aclimatização é um fator que altera as concentrações sanguíneas destes hormônios (KANIKOWSKA et al, 2009), alterando também as concentrações de eletrólitos no suor (RIVERA-BROWN et al, 1999). Além dos hormônios supracitados, outros podem sofrer alteração frente ao estado de hidratação. Apesar de Maresh et al (2006) não terem encontrado diferenças nas respostas de cortisol e testosterona frente ao exercício em esteira estando hipohidratado, Judelson et al (2008) encontraram aumento nas respostas de cortisol e noradrenalina e redução na resposta de testosterona ao investigar as respostas destes hormônios em exercícios de força a 2,5% e 5% de hipohidratação.

Apesar das defesas do organismo contra o superaquecimento, a produção excessiva de calor pelos músculos ativos, o ganho calórico do meio ambiente e as condições que impedem a dissipação do excesso de calor corporal podem elevar a temperatura a níveis que comprometem as funções celulares normais (GISOLFI et al, 2000; WILMORE e COSTILL, 2001; NYBO, 2003).

As principais enfermidades relacionadas ao calor são proporcionais ao grau de hipohidratação apresentado. Quando a hipohidratação é leve ou moderada (até 2% de redução da massa corporal), os sinais apresentados são: fadiga, perda de

apetite, sede, pele vermelha, intolerância ao calor, tontura, oligúria e aumento da concentração urinária. Quando a hipohidratação é grave (perda acima de 5%) os sinais são: dificuldade para engolir, perda de equilíbrio, pele seca e murcha, olhos afundados, visão fosca, disúria, pele dormente, delírio e espasmos musculares, coma e morte (SBME, 2009).

2.1.4 Diagnóstico do estado de hidratação

Diversos índices têm sido desenvolvidos para acessar o estado de hidratação (KAVOURAS, 2002). Nesta perspectiva, destacam-se: alterações na massa corporal, coloração da urina, gravidade específica da urina, osmolaridade plasmática, bioimpedância, alterações no volume plasmático, fluxo salivar, concentração protéica na saliva e sensação de sede (KAVOURAS, 2002; ARMSTRONG, 2007).

O estado de hidratação é um fator determinante para a prática de atividades físicas. Assim, o conhecimento do estado de hidratação antes, durante e após um exercício torna-se importante para a sua prática constante (MACHADO-MOREIRA et al, 2006). A osmolaridade plasmática é o principal método de avaliação do estado de hidratação em situações laboratoriais, onde se exige maior precisão (ARMSTRONG et al, 1998), sendo considerada a técnica padrão ouro para verificação do estado de hidratação (ARMSTRONG, 2007).

A gravidade específica da urina tem sido considerada como um bom método não-invasivo para a avaliação do estado de hidratação (ARMSTRONG et al, 1998; ARMSTRONG, 2007). Entretanto, os métodos mais utilizados para acessar o estado de hidratação durante o exercício físico, onde se necessita de uma resposta de forma rápida e em qualquer local é a coloração da urina e as alterações na massa corporal. A coloração da urina é baseada em uma escala proposta por Armstrong et al (1994). Esta escala utiliza oito níveis de cor e foi desenvolvida em um estudo com 54 homens e mulheres que estavam bem hidratados, euhidratados ou hipohidratados, verificando o estado de hidratação a partir das medidas de osmolaridade plasmática, gravidade específica da urina e coloração. Os resultados concluíram que para medidas no campo, durante o exercício, a coloração da urina é um bom indicador para a determinação do estado de hidratação.

Por fim, a alteração na massa corporal é um método largamente utilizado para a avaliação do estado de hidratação. Esta técnica se baseia em verificar a diferença

do peso corporal antes e após o exercício, sendo possível calcular o percentual de perda para classificar o estado de hidratação. Desta forma, a *National Athletic Trainers' Association* (CASA, 2000) indicou uma relação entre o estado de hidratação, a partir do percentual de alteração na massa corporal, a coloração e a gravidade específica da urina, sendo extremamente difundido no meio científico laboratorial e campo, além da prática esportiva em geral.

Tabela 1: Marcadores do estado de hidratação

Condição	% de alteração da massa corporal	Coloração da urina	Gravidade específica da urina
Euhidratado	+1 a -1	1 ou 2	< 1.010
Hipohidratação mínima	-1 a -3	3 ou 4	1.010 a 1.020
Hipohidratação significativa	-3 a -5	5 ou 6	1.021 a 1.030
Hipohidratação severa	> 5	> 6	> 1.030

Adaptado de CASA (2000)

2.3 ESTADO DE HIDRATAÇÃO E CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE FORÇA

O movimento humano é caracterizado pela interação de informações que possibilitam um controle da força muscular, para que possamos realizar as atividades de forma organizada. Assim, este fenômeno depende de fatores musculares, caracterizados pelas propriedades mecânicas (relações força-comprimento e força-velocidade) e estruturais (arquitetura) dos músculos, bem como os fatores neurais, que estão relacionados com a quantidade de excitação por parte do sistema nervoso central (ENOKA, 2000).

Conforme citado anteriormente, desde o século XIX já foi descrita a importância que o estado de hidratação tem sobre o desempenho. Assim, a grande maioria dos estudos investigou a forma como a perda hídrica causada por atividades intensas e/ou no calor poderia afetar o desempenho. Hoje em dia, os efeitos provocados pela hipohidratação sobre o desempenho aeróbio já estão bem elucidados. As alterações decorrentes se caracterizam principalmente no sistema cardiovascular, aumentando a temperatura central, reduzindo o volume plasmático, a taxa de sudorese e o débito cardíaco (ARMSTRONG et al, 1997; GONZÁLEZ-

ALONSO et al, 2008; SHIRREFFS, 2009). Porém, investigações sobre os efeitos do estado de hidratação na capacidade de produção de força são totalmente inconclusivos, apresentando falhas metodológicas que impossibilitam determinar os efeitos exatos (JUDELSON et al, 2007a). Desta forma, os estudos que serão citados a seguir foram realizados desde meados do século passado buscando identificar a influência e o mecanismo de ação.

Ftaiti et al (2001) investigaram as influências de um protocolo de exercício no calor na função neuromuscular, avaliada através da produção de força e atividade eletromiográfica de membros inferiores. Seis corredores foram submetidos a um protocolo de 40 min em esteira a 65% da velocidade aeróbia máxima, utilizando roupas impermeáveis em temperatura ambiente de 22,5°C e umidade relativa de 55%. O protocolo induziu uma perda média de 2% da massa corporal, encontrando reduções de 12% no torque isométrico máximo de extensores e flexores do joelho, além de uma redução de 17% no torque isocinético máximo a 60°/s, sem alteração no torque nas velocidades superiores. Os próprios autores colocam que os resultados podem ter ocorrido devido ao baixo tempo de dissipação da temperatura central, visto que o protocolo de avaliação da força ocorreu exatamente após o protocolo indutor de desidratação, não podendo atribuir estes resultados apenas à perda hídrica causada pelo protocolo.

Vallier et al (2005) investigaram a produção de força isométrica em oito ciclistas e triatletas durante três horas de pedalada com cadência livre e intensidade correspondente a 60% do consumo máximo de oxigênio ($VO_{2máx}$) em temperatura de 20°C e umidade relativa do ar de 50%. As avaliações da produção de força foram realizadas pré-exercício, 60 min, 120 min e 180 min durante a pedalada em situações com e sem ingestão hídrica. A perda de massa corporal média foi de 4,1% e 2,2% da massa corporal pré-exercício, sem e com ingestão hídrica, respectivamente. Não houve diferença na produção de força entre os grupos.

Evetovich et al (2001) buscando investigar alterações nos sinais mecanomiográfico e eletromiográfico e na produção de força por meio do torque após desidratação moderada (cerca de 2% em média) induzida por restrição hídrica em dez sujeitos (seis homens e quatro mulheres), não encontraram alterações nos sinais mecanomiográficos e eletromiográficos quando comparadas às duas situações (euhidratado e hipohidratado). A redução no torque isométrico máximo de flexores de cotovelo de 3,4% e no torque isocinético a 90°/s de 2,1%, também não

se mostrou significativa.

Montain et al (1998) investigaram a influência do estado de hidratação na capacidade de produção de força, resistência à fadiga e no metabolismo muscular, a partir de alteração nas concentrações de hidrogênio (H^+) e fosfato inorgânico (P_i), constatados por ressonância magnética. Dez indivíduos submetem-se a um protocolo de desidratação com exercício em câmara ambiental (40°C e UR 20%) com e sem reposição hídrica. Após isto, realizaram dois tipos de exercício de força até a exaustão, em condições euhidratado e hipohidratado (4% da massa corporal). Os resultados indicaram redução no tempo até a fadiga no grupo hipohidratado, quando comparado ao grupo euhidratado. Não houve alteração na produção de força e nas concentrações de H^+ e P_i , levando a crer que não parece estar relacionada ao metabolismo muscular a redução na performance acompanhada pela condição hipohidratado.

Greiwe et al (1998) compararam o torque isométrico máximo de extensores de joelho e flexores de cotovelo (90°) nas condições euhidratado e hipohidratado após exposição em sauna por 60 min, com temperaturas entre 74-79°C. O protocolo induziu uma perda de 4% da massa corporal na condição hipohidratado. A avaliação do torque ocorreu duas horas após o protocolo de desidratação, para que a temperatura central voltasse ao valor de repouso. Não houve diferença entre o torque isométrico máximo entre os dois grupos para ambas as articulações analisadas.

Em outro estudo, Kraft et al (2010) investigaram os efeitos da desidratação sobre exercícios de força, quando dez homens completaram duas baterias: exposição ao calor (banho quente a 39°C) com 100% de reposição hídrica e sem reposição hídrica, levando a uma perda de massa corporal média de 3% na situação sem reposição hídrica. Após isto, realizaram a avaliação da força a partir de dez exercícios de 12 repetições máximas, nas duas situações. Os resultados mostraram redução no número de repetições máximas na condição hipohidratada (1-2 repetições por exercício em média), demonstrando um decréscimo no desempenho nesta condição.

Bigard et al (2001) investigaram os efeitos de um protocolo indutor de desidratação em sauna e após uma rápida reidratação na força máxima e tempo até a fadiga a partir de 25% e 70% da contração voluntária máxima em 11 homens saudáveis. Os resultados mostraram redução no tempo até a fadiga quando

avaliados a partir de 25% da CVM no grupo hipohidratado, com tendência à redução na avaliação referente a 70% da CVM no mesmo grupo, porém, sem alteração na força máxima entre os grupos.

Poucos estudos buscaram investigar as alterações decorrentes de um protocolo progressivo de desidratação na função neuromuscular. Hayes e Morse (2009) avaliaram doze homens fisicamente ativos que foram submetidos a cinco exposições de 20 minutos em ciclo ergômetro a 80% da $FC_{máx}$, em temperatura de 48,5°C e umidade relativa de 50%. Foi avaliado o torque isométrico máximo de extensores de joelho a 60° de flexão, além de torque isocinético máximo a 30 e 120°/s a cada exposição. Os resultados mostraram redução significativa no torque isométrico máximo a partir de reduções mínimas da massa corporal (1%). Quanto à avaliação isocinética, houve redução significativa no torque em velocidade de 30°/s a partir de 2,6% de perda da massa corporal, porém, sem diferença no torque gerado na velocidade de 120°/s em nenhuma das exposições.

Por fim, no estudo de Judelson et al (2007b), os autores induziram a hipohidratação por controle da ingestão hídrica e por um protocolo de exercício no calor em baixa intensidade (esteira inclinada a 3%, velocidade de 1,5 m/s, em câmara ambiental a 36°C e 40% de umidade relativa), quando a cada 20 minutos os indivíduos pararam a atividade para que fosse verificado o percentual de perda de massa corporal, até atingir valores iguais a 2,5 e 5%. Este protocolo indutor de desidratação ocorreu na noite anterior aos protocolos de avaliação da força. Além disto, foi avaliado o número de repetições até a fadiga, além da taxa de ativação central no protocolo de avaliação da força. Os resultados mostraram tendência de redução na ativação central com o avanço do grau de hipohidratação. Houve redução no número de repetições até a fadiga, porém, sem alteração na produção de força máxima.

2.3.1 Possíveis mecanismos de ação da hipohidratação na produção de força

A grande maioria dos estudos utiliza a dinamometria isocinética para avaliar a capacidade de produção de força de um grupo muscular, por possibilitar assim um melhor controle sobre a amplitude de movimento e a velocidade de execução. Os estudos que encontraram diferença na produção de força no indivíduo hipohidratado quando comparado com a condição euhidratado, provavelmente, segundo Judelson

et al (2007a), deve-se a falhas metodológicas, no que diz respeito à variáveis intervenientes, como intensidade do exercício no protocolo de desidratação (HAYES e MORSE, 2009), restrição calórica imposta juntamente com a restrição hídrica (KRAEMER et al, 2001) e, principalmente, a temperatura central no momento do protocolo de avaliação da força (FTAITI et al, 2001).

Segundo Judelson et al (2007a), em uma revisão sobre o estado de hidratação e a capacidade de produção de força, potência e exercícios de alta intensidade, encontrou-se que, apesar de inconclusivos os resultados, alguns cuidados são extremamente importantes para futuras investigações com esta abordagem: (1) técnica de desidratação utilizada; (2) população estudada e (3) variáveis mensuradas.

Apesar disto, a literatura aponta alguns possíveis mecanismos que poderiam levar a uma redução na capacidade de produção de força em indivíduos hipohidratados. Alterações na despolarização das células, liberação e/ou reabsorção de cálcio pelo retículo sarcoplasmático, bem como mudanças no estado iônico do lúmen no túbulo T e outros compartimentos intracelulares, que afetariam a taxa de propagação do estímulo pelo túbulo T e prejudicariam a formação do acoplamento excitação-contração (FITTS, 1994).

Outra hipótese colocada é de que a perda hídrica alteraria também o conteúdo hídrico e, conseqüentemente, as concentrações de eletrólitos nas células musculares. O conteúdo hídrico no tecido muscular em indivíduos adultos é de 3179 ml/kg aproximadamente, nos quais 77% são no compartimento intracelular (GRAHAM e SCOBIE, 1970). Durante a desidratação, foi encontrada uma redução de 1,2% no conteúdo hídrico muscular a cada percentual de redução da massa corporal. Quanto aos eletrólitos, não houve influência do estado de hidratação nas concentrações de sódio (Na) e cloro (Cl), porém houve redução nas concentrações de magnésio (Mg) em 12% após uma perda de 5,8% da massa corporal, além de um aumento na concentração de potássio (K) em 10,6% após uma redução de 4,1% da massa corporal. Entretanto, estas alterações não foram suficientes para alterar a excitabilidade da membrana da célula muscular (COSTILL et al, 1976).

É pouco provável que a redução no volume plasmático ocasionado pela desidratação e conseqüente alteração no sistema cardiovascular influencie a capacidade de produção de força, já que esta ocorre independentemente deste sistema, visto que não necessitam do pico do débito cardíaco, mas sim, em grande

parte, do sistema ATP-CP (MONTAIN et al, 1998). Entretanto, parece que a alteração no sistema cardiovascular pode ser mais influente na redução do desempenho anaeróbio, visto que para o bom desempenho nestas atividades é necessário um suprimento adequado de oxigênio na musculatura, bem como para a remoção de metabólitos, que estaria prejudicada pela redução na função cardiovascular (YOSHIDA et al, 2002).

Outro fator apontado pela literatura é a alteração no metabolismo, no que diz respeito à produção de energia para a contração muscular (SAWKA e PANDOLF, 1990). Estudos mostraram que não há alteração no conteúdo de ATP-CP e na concentração de H^+ e P_i em indivíduos hipohidratados (MONTAIN et al, 1998). Esta hipótese foi colocada a partir de evidências que apontam que um acúmulo destes metabólitos poderia reduzir a formação de pontes cruzadas, reduzindo a produção de força (FITTS, 1994).

Quanto à produção de lactato, são extremamente controversos os resultados, nos quais a maioria deles aponta que a produção de lactato não se altera ou reduz com o indivíduo hipohidratado (SAUNDERS et al, 2001; JENTJENS et al, 2002; PAPADOPOULOS et al, 2008; JUDELSON et al, 2008). Nestes casos que encontraram uma redução, as hipóteses apontam para uma menor capacidade de realizar trabalho (NYBO, 2008), redução nas reservas de glicogênio muscular (ÖOPIK et al, 1996) e por fim, influência da restrição calórica ou da hipertermia, além dos protocolos de desidratação prolongados que estimulariam o sistema nervoso simpático, levando a aumento na glicogenólise e reduziria a produção de lactato (YOSHIDA et al, 2002). Desta forma, é pouco provável que a hipohidratação isolada aumente a produção de lactato.

Por fim, a forma mais aceita pela literatura é de que a hipohidratação afetaria algum componente neuromuscular (MONTAIN et al, 1998; FTAITI et al, 2001; YOSHIDA et al, 2002). Segundo Coyle e Hamilton (1990), citado por Judelson et al (2007a), “é improvável que reduções na quantidade de água muscular alterem a capacidade de geração de força ou produção de energia quando o músculo é estimulado. É mais provável que a raramente reportada redução na força pela hipohidratação seja devido à redução na habilidade do SNC em recrutar unidades motoras”.

Uma das explicações é que a redução no recrutamento ocorra de maneira semelhante àquela apresentada na fadiga debilitante presente em indivíduos com

alguma doença, infecções ou em fase de recuperação de lesões, onde estes apresentam falta de vontade de realizar a atividade proposta. Essas condições apresentam principalmente aumento na percepção de esforço, o que dificultaria a geração ou manutenção da força (DAVIS e BAILEY, 1997). Este aumento na percepção de esforço também é visto quando o indivíduo está hipohidratado (KUIPERS et al, 2007), porém, não parece influenciar na produção de força (MONTAIN et al, 1998; GREIWE et al, 1998; EVETOVICH et al, 2002; HEDLEY et al, 2002; CHEUVRONT et al, 2006; JUDELSON et al, 2007b).

Outras evidências apontam que a hipohidratação poderia alterar os disparos neuronais do córtex motor (MONTAIN et al, 1998). Um fenômeno semelhante é encontrado nos neurônios das células osmorreceptoras localizadas no órgão vascular da lâmina terminal (OVLT), próximas ao núcleo pré-optico mediano do hipotálamo, visto que esta região é a responsável pelo equilíbrio hídrico e eletrolítico, excreção de sódio, controle da sede e regulação do volume sanguíneo (BOULANT IN: MACKOWIAK, 1997).

Uma das técnicas para verificar a ativação muscular é a eletromiografia (EMG), sendo muito difundida para avaliar o nível de ativação durante uma contração máxima. Porém, os resultados encontrados são inconclusivos (BIGARD et al, 2001; FTAITI et al, 2001; HUNTER et al, 2002; EVETOVICH et al, 2002; VALLIER et al, 2004; HAYES e MORSE, 2009), havendo, desta forma, poucas evidências científicas que aceitem a hipótese de que, caso haja uma redução na produção de força, seja por algum mecanismo neuromuscular. Apesar de bem justificado pela literatura, falta um desenho experimental que possibilite esta investigação de forma mais clara, com métodos mais fidedignos para avaliação do estímulo central para a contração muscular (JUDELSON et al, 2007a).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Verificar a influência do estado de hidratação decorrente de um protocolo de exercício físico no calor sobre a capacidade de produção de força dos músculos extensores de joelho e flexores de cotovelo.

3.2 Objetivos Específicos

- Verificar a influência do estado de hidratação sobre a capacidade de produção de força isométrica dos músculos extensores do joelho;
- Verificar a influência do estado de hidratação sobre a capacidade de produção de força isométrica dos músculos flexores de cotovelo;
- Comparar as respostas neurais provocadas por diferentes estados de hidratação nos músculos vasto lateral (VL) e reto femoral (RF) durante o torque isométrico máximo de extensores de joelho por meio da eletromiografia (EMG);
- Verificar as respostas neurais provocadas por diferentes estados de hidratação no músculo bíceps braquial (BB) durante o torque isométrico de flexores de cotovelo por meio da eletromiografia (EMG);

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Aspectos éticos

Antes de iniciar os procedimentos, os sujeitos assinaram o termo de consentimento informado (Apêndice A), aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Anexo A).

4.2 Amostra

A amostra foi voluntária, constituída por dez sujeitos do sexo masculino, saudáveis, fisicamente ativos e não-aclimatizados ao calor (idade = $22,7 \pm 2,21$ anos; massa corporal = $77,9 \pm 7,35$ kg; estatura = $176 \pm 6,46$ cm; gordura corporal = $18,85 \pm 3,01$ %), que tiveram sua capacidade de produção de força avaliada nas diferentes situações (HI e EU) e momentos (pré e pós) para efeitos de comparação. Os indivíduos foram recrutados na Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, respeitando os critérios estabelecidos no presente estudo.

4.3 Critérios de inclusão/exclusão

Os critérios de inclusão abrangiam indivíduos saudáveis do sexo masculino; idade entre 18 e 30 anos; praticantes regulares de exercício físico com frequência mínima de três vezes por semana; ausência de contra-indicações a exercícios de alta intensidade (e.g. hipertensão e miocardiopatia); ausência de lesões musculoesqueléticas em um período retroativo aos testes de 12 meses.

Já os critérios de exclusão utilizados no estudo, destacam-se: indivíduos que não apresentassem todos os critérios de inclusão supracitados; ocorrência de lesões musculoesqueléticas no período compreendido entre as sessões de coleta de dados; indivíduos que apresentassem frequência de treinamento aeróbio entre 3 a 5 vezes por semana, com duração entre 20 e 60 minutos e intensidade moderada, por um período mínimo de 6 meses; indivíduos que utilizassem diuréticos por qualquer motivo; indivíduos que apresentassem torque isométrico máximo consideravelmente (3 desvios-padrão) inferior ou superior ao da média do grupo.

4.4 Desenho Experimental

Para acessarmos os efeitos do estado de hidratação sobre os principais parâmetros relacionados à produção de força do músculo esquelético, os sujeitos realizaram duas sessões idênticas, com intervalo de uma semana, diferindo somente o estado de hidratação decorrente do protocolo de exercício no calor: hipohidratado por 2% da massa corporal (HI) e euhidratado (EU). Mensurações do estado de hidratação através da Gravidade Específica da Urina (GEU) e da temperatura central (T_{re}) foram realizadas previamente à avaliação da capacidade de produção de força antes e após o protocolo de exercício no calor nas duas situações. Medidas do pico de torque isométrico máximo de extensores de joelho e flexores de cotovelo, eletromiografia (EMG) dos músculos vasto lateral (VL), reto femoral (RF) e bíceps braquial (BB) foram obtidas antes e após o protocolo de exercício no calor nas duas situações para efeitos de comparação. Todas as avaliações foram realizadas entre 4:00 pm e 10:00 pm para isolar os efeitos do ritmo circadiano (ATKINSON e REILLY, 1996) (FIGURA 1).

Ao chegarem ao laboratório, os sujeitos eram submetidos a uma avaliação antropométrica através de estatura e dobras cutâneas. A massa corporal nu dos indivíduos foi obtida através de uma balança digital (Urano PS-180), para que fosse realizado o protocolo de hidratação inicial com água mineral comercial (Na, $76,83 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$; Ca, $3,81 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, Mg, $1,79 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$; K, $0,40 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, HCO_3^- , $184,74 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, SO_4^- , $4,06 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) equivalente a 6 ml/kg (ACSM, 2007). Uma refeição padronizada e um suco de fruta (200 ml), totalizando 161 kcal (77% de carboidratos) foram fornecidos aos indivíduos imediatamente após o protocolo de hidratação inicial. Foram respeitados 60 minutos de repouso em posição supino em ambiente temperado ($\sim 20^\circ\text{C}$) entre a ingesta alimentar e hidratação e os testes.

Para controlarmos a alimentação nos dias prévios à avaliação, os sujeitos preencheram um registro alimentar das 24h anteriores às duas sessões para que pudéssemos verificar similaridade entre a ingestão de macronutrientes. Para evitar interferência nos resultados, os sujeitos não poderiam ingerir álcool 36-h (BARNES et al, 2010), realizar exercício físico intenso 24-h (KRAFT et al, 2010), bem como ingerir cafeína 12-h antes da avaliação (EVETOVICH et al, 2002).

As avaliações foram realizadas entre os meses de abril e julho de 2011, onde a temperatura na cidade de Porto Alegre ficou em $17,25 \pm 2,872^\circ\text{C}$ (WEATHER

CHANNEL, 2011), nos setores de Fisiologia e Plasticidade Neuromuscular do Laboratório de Pesquisa do Exercício da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.



Figura 1: Desenho experimental do estudo. As setas indicam os momentos nos quais foram determinadas a GEU e a Tre.

4.4.1 Avaliação antropométrica

Posteriormente à assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido, o sujeito foi submetido a um protocolo de avaliação antropométrica, por meio de medidas de estatura e massa corporal. Para a realização das medidas das dobras cutâneas foi utilizado um compasso de dobras cutâneas da marca Cescorf (São Paulo, Brasil; precisão = 0,01 milímetros) para medir a camada de tecido adiposo da superfície corporal. Sua pressão foi constante de 10 g/mm² em qualquer abertura. Para o cálculo do percentual de gordura foi utilizado o protocolo de três dobras proposto por Guedes (1994), para adultos jovens brasileiros. As dobras cutâneas (tríceps, supra-iliaca e abdome) foram mensuradas três vezes, não consecutivas, pelo mesmo avaliador a fim de minimizar o erro, todas realizadas no hemisfério direito do indivíduo. Para a análise dos resultados foi utilizada a média ou medida repetida de cada uma das dobras para a equação. O percentual de gordura foi calculado a partir da seguinte equação:

$$\%GC = 1,17136 - 0,06706 \times \text{LOG} (\text{médias de DC Tríceps} + \text{DC suprailíaca} + \text{DC abdominal})$$

4.4.2 Registro alimentar

Para determinar a ingestão de macronutrientes nas 24 horas anteriores aos protocolos nas duas situações foi utilizado um registro alimentar (Apêndice B), afim de que tivéssemos o conhecimento sobre a ingestão de alimentos neste período que pudessem influenciar o estado de hidratação e o desempenho do indivíduo nas avaliações subseqüentes (JUDELSON et al, 2008). Assim, a ingestão foi analisada e fracionada em macronutrientes (carboidratos, proteínas e lipídios), além da ingestão calórica total.

4.4.3 Estado de hidratação e temperatura central

Para determinação do estado de hidratação foi utilizada a Gravidade Específica da Urina (GEU) através de um refratômetro digital (Atago 2722-E04), sendo considerado hipohidratado o indivíduo que apresentasse $GEU > 1.020 \text{ g.ml}^{-1}$ (CASA et al, 2000).

A temperatura central foi monitorada através de um termômetro retal (Physitemp Ret – 1, mensuração de temperatura máxima em 90°C , Physitemp Instruments, Inc., Estados Unidos), flexível e com capa descartável, inserido cerca de 10 cm além do esfíncter anal (JUDELSON et al, 2007b; 2008). A temperatura foi mensurada em todos os momentos da coleta de dados, necessitando estar inferior a 38°C nas avaliações de força (MORRISON et al, 2004).

4.4.4 Avaliação da capacidade de produção de força isométrica

O sujeito foi posicionado no dinamômetro isocinético Biodex System 3 Pro (Biodex Medical System, Shirley - NY, USA), conforme as recomendações do fabricante para avaliação dos movimentos de flexo-extensão de joelho e cotovelo. Antes de cada avaliação foi realizado um protocolo de aquecimento composto por 10 repetições concêntricas submáximas de flexo-extensão a $90^{\circ} \text{seg}^{-1}$ e amplitude total de movimento do avaliado. Para a avaliação do torque isométrico máximo de extensores de joelho foram realizadas três contrações voluntárias máximas (CVMs) de cinco segundos de duração em um ângulo articular de 60° de flexão do joelho (0° = extensão total).

Para o torque isométrico máximo de flexores de cotovelo o mesmo protocolo foi utilizado, sendo a articulação posicionada em um ângulo articular de 90° de flexão de cotovelo (0° = extensão total). Períodos de dois minutos de repouso entre cada CVM foram observados para minimizar possíveis efeitos de fadiga muscular. O maior valor de torque atingido nas três CVMs foi considerado a capacidade máxima de produção de força do indivíduo em cada momento de avaliação. Os voluntários foram previamente instruídos a realizar força máxima e incentivo verbal foi fornecido pelos investigadores em cada uma das contrações.

4.4.5 Avaliação da ativação muscular

Concomitantemente às avaliações isométricas, a atividade eletromiográfica (EMG) dos músculos vasto lateral (VL), reto femoral (RF) e bíceps braquial (BB) foi adquirida através de um sistema EMG de oito canais (AMT-8, Bortec Biomedical Ltd., Canada) e um par de eletrodos de superfície (Meditrace - 100; Ag/AgCl; diâmetro de 2 centímetros, Canada) colocados em configuração bipolar (distância inter-eletrodos = 2 cm). Um eletrodo de referência foi posicionado na pele recobrimo a superfície da tíbia e da clavícula, de acordo com as recomendações do *Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles* (SENIAM, 2010).

Os sinais EMG foram sincronizados com os dados do dinamômetro e adquiridos durante todas as contrações através do sistema Windaq (16 bits; Dataq Instruments, USA). Estes sinais foram digitalizados com uma frequência de 2000 Hz através de um conversor analógico-digital (DI-720 16 bits; Dataq Instruments, USA). Os sinais de EMG de cada músculo foram filtrados para eliminação de ruídos (filtro passa-banda butterworth de 5ª ordem, 10 Hz – 500 Hz) por meio do programa matemático de sinais biológicos *MATLAB*® versão 7.3 (*MathWorks Inc.*, EUA). Após a filtragem, os sinais foram novamente processados matematicamente através do cálculo do valor *root mean square* (RMS) de cada um dos músculos durante as contrações máximas.

4.4.6 Protocolo de exercício no calor

Para promover a hipohidratação foi realizado um protocolo de exercício no calor (36-37°C – 45% umidade relativa do ar (UR) – 6 m.seg⁻¹ velocidade do vento)

em um ciclo ergômetro (ERGOFIT 167, Espanha) (carga constante em 100 W; cadência entre 80-90 rpm) posicionado no interior de uma câmara ambiental (Russells – Holanda, 3,63 m x 2,39 m x 3,81 m, 1°C e 1% UR). Mensurações da temperatura retal, frequência cardíaca (Polar RS 100, Polar Eletro OY - Finlândia) e taxa de percepção ao esforço (TPE) (BORG, 1970) foram realizadas a cada cinco minutos no decorrer do protocolo. A cada 20 minutos, os sujeitos paravam o exercício, urinavam, secavam o suor de seus corpos e eram pesados. Este procedimento se repetiu até que (1) perda igual ou superior a 2% da massa corporal pré-exercício fosse atingida; (2) temperatura retal excedesse 39,5°C; (3) os sujeitos apresentassem algum sinal de exaustão decorrente do calor. Imediatamente após o protocolo, os sujeitos banhavam-se e permaneciam em repouso por 30 minutos em posição supino em ambiente temperado (~20°C) para que a temperatura central regredisse a níveis basais (~37°C).

O mesmo protocolo foi utilizado para a situação euhidratado, diferindo somente pela ingestão de água mineral comercial (Na, 76.83 mg·l⁻¹; Ca, 3,81 mg·l⁻¹, Mg, 1,79 mg·l⁻¹; K, 0,40 mg·l⁻¹, HCO₃⁻, 184,74 mg·l⁻¹, SO₄⁻, 4,06 mg·l⁻¹) proporcional à perda correspondente a cada intervalo de 20 minutos decorrente da situação hipohidratado (ACSM, 2007).

4.5 Análise Estatística

A normalidade dos dados foi testada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Foram excluídos sujeitos que se apresentaram como out-liers (3 desvios padrão acima ou abaixo da média).

A estatística descritiva (média, desvio-padrão e erro-padrão) foi calculada em todos os testes para todas as variáveis. Para a comparação entre as alterações percentuais obtidas nos dados de EMG, da ingestão alimentar obtida no registro e do comportamento médio das variáveis FC, Tre e TPE durante o protocolo de exercício no calor nas situações hipohidratado (HI) e euhidratado (EU) foi utilizado o teste t pareado. Para a comparação dos valores absolutos de torque obtidos nas diferentes situações (HI e EU) e momentos (pré e pós) foi utilizada uma ANOVA de medidas repetidas com post-hoc de LSD.

Foi adotado o nível de significância de 0,05 para todas as análises. Para a análise dos dados foi utilizado o software SPSS (SPSS 17.0 for Windows, SPSS Inc., Chicago, IL. USA).

6 RESULTADOS

6.1 Registro alimentar

Conforme apresentado na tabela 2, não houve diferença significativa na ingestão de macronutrientes entre as duas situações. Assim, a alimentação nas 24 horas anteriores aos protocolos não apresentou influência significativa nas variáveis bioquímicas, cardiovasculares e neuromusculares investigadas no presente estudo.

Tabela 2: Ingestão percentual de macronutrientes nas 24h anteriores aos protocolos em ambas as situações (média \pm desvio-padrão). *diferente entre as situações (n = 10)

	Hipohidratado	Euhidratado	p
Carboidratos (%)	50,643 \pm 9,868	53,925 \pm 8,447	0,423
Proteínas (%)	16,824 \pm 4,502	17,051 \pm 3,228	0,906
Lipídios (%)	32,532 \pm 6,589	28,612 \pm 6,413	0,102
Total (Kcal)	2796,68	2913	0,417

6.3 Exercício no calor

A duração média de protocolo foi de 91 \pm 7,37 min. As variáveis FC, Tre e TPE foram superiores ($p = 0,0004$; $p = 0,0001$; $p = 0,007$) na situação HI (149,4 \pm 3,676 bpm; 38,09 \pm 0,036°C; 12,4 \pm 0,613, respectivamente) quando comparados à situação EU (134,2 \pm 2,480 bpm; 37,75 \pm 0,033°C; 9,8 \pm 0,729, respectivamente). Esta sobrecarga cardiovascular encontrada na situação HI quando comparado à situação EU já foi observada em estudos anteriores (ARMSTRONG et al, 1997). Além disso, uma vez que a elevação da temperatura central é proporcional ao aumento na taxa de percepção ao esforço (NYBO e NIELSEN, 2003), o comportamento encontrado no presente estudo corrobora com esta informação, uma vez que a situação HI apresentou temperatura central significativamente superior à situação EU.

6.4 Estado de hidratação e temperatura central

A partir da tabela 3, verificamos que em ambas as situações na avaliação de força pré-exercício e na avaliação pós-exercício da situação euhidratado os sujeitos não apresentavam quadro de hipohidratação a partir dos valores obtidos na GEU (< 1.020), diferente no que ocorreu na avaliação pós-exercício na situação hipohidratado (CASA, 2000), corroborando com a alteração da massa corporal encontrada nas duas situações. Quanto à temperatura central, em ambos os momentos (pré e pós) de ambas as situações (HI e EU) os sujeitos não estavam em hipertermia ($T_{re} < 38^{\circ}\text{C}$) antes da avaliação da força (MORRISON et al, 2004).

Tabela 3: Gravidade Específica da Urina (GEU), Temperatura Central (T_{re}), Massa Corporal (Kg) e Percentual de alteração da massa corporal ($\% \Delta \text{Kg}$) em cada situação e momento (média \pm desvio-padrão)

	Hipohidratado		Euhidratado	
	Pré	Pós	Pré	Pós
GEU	1,007 \pm 0,006	1,024 \pm 0,005	1,012 \pm 0,011	1,013 \pm 0,010
T_{re} ($^{\circ}\text{C}$)	37,2 \pm 0,343	37,8 \pm 0,168	37,1 \pm 0,283	37,6 \pm 0,287
Kg	77,3 \pm 7,357	75,79 \pm 7,185	77,5 \pm 7,689	77,3 \pm 7,457
$\% \Delta \text{Kg}$	-2,002 \pm 0,103		-0,207 \pm 0,389	

6.5 Torque isométrico máximo

Houve redução significativa (15,8%) do torque isométrico máximo de extensores de joelho após exercício no calor na situação HI ($p = 0,001$) quando comparado à situação EU (2,98%) ($p = 0,348$). Quando a comparação foi realizada entre as situações após o exercício, verificamos valores significativamente inferiores na situação HI ($p = 0,001$) (fig. 2A). Quanto ao torque isométrico máximo de flexores de cotovelo (fig. 2B), houve redução significativa (6,3%) após o exercício na situação HI ($p = 0,015$) quando comparado à situação EU (0,7%) ($p = 0,722$). Após o exercício, foram encontrados valores significativamente menores na situação HI quando comparado à situação EU ($p = 0,024$).

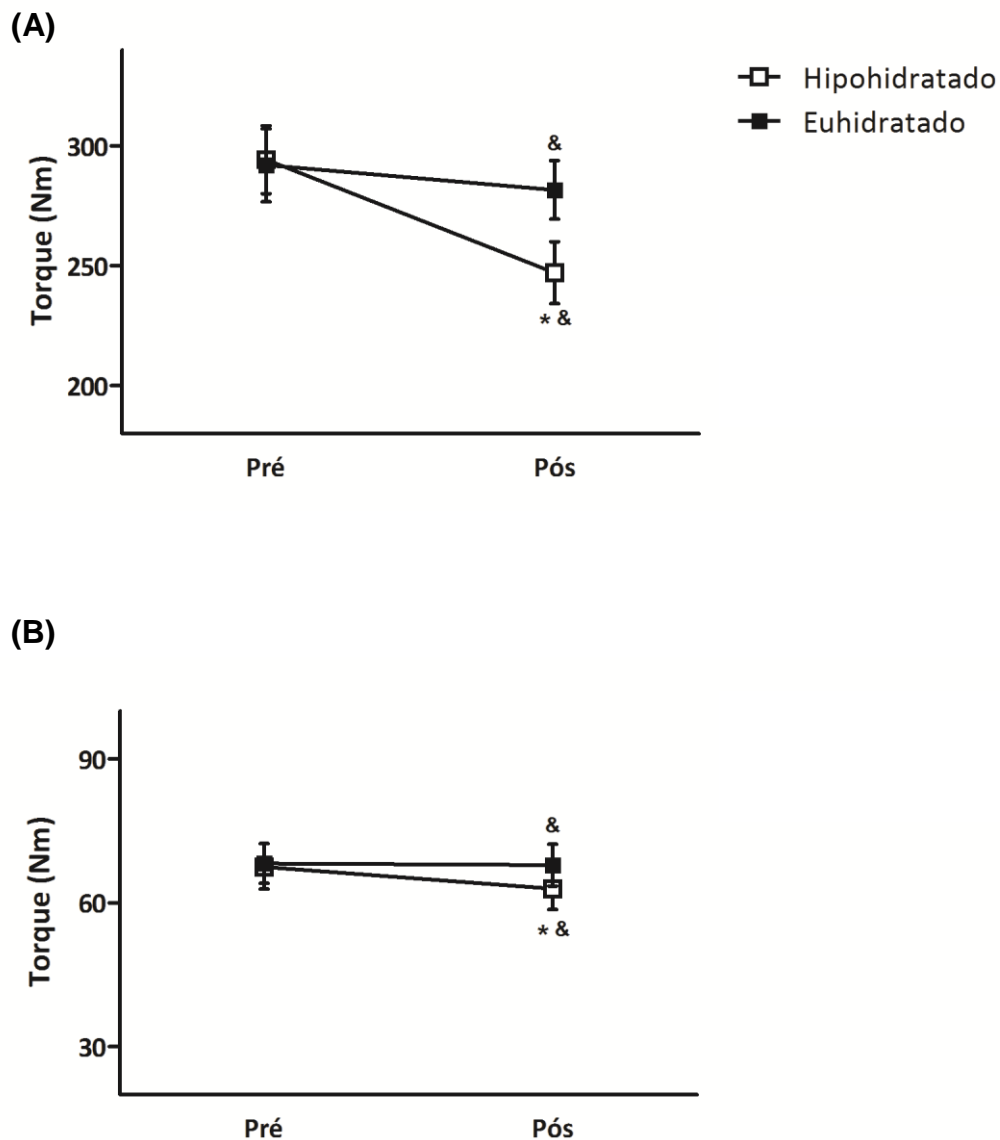


Figura 2: Torque isométrico máximo de extensores de joelho (A) e flexores de cotovelo (B) em cada situação e momento (média \pm erro-padrão). *diferente do pré-exercício; & diferente entre as situações.

6.6 Ativação muscular

Na avaliação do torque isométrico máximo de extensores de joelho, não houve diferença significativa na redução encontrada na ativação do músculo VL (fig. 3A) entre as situações ($p = 0,842$). Já no músculo RF (fig. 3B), houve tendência à redução significativa na situação HI quando comparado à situação EU ($p = 0,074$). Para a ativação do BB (fig. 3C), não houve diferença significativa entre as situações na avaliação da variação relativa da atividade EMG do músculo BB ($p = 0,512$).

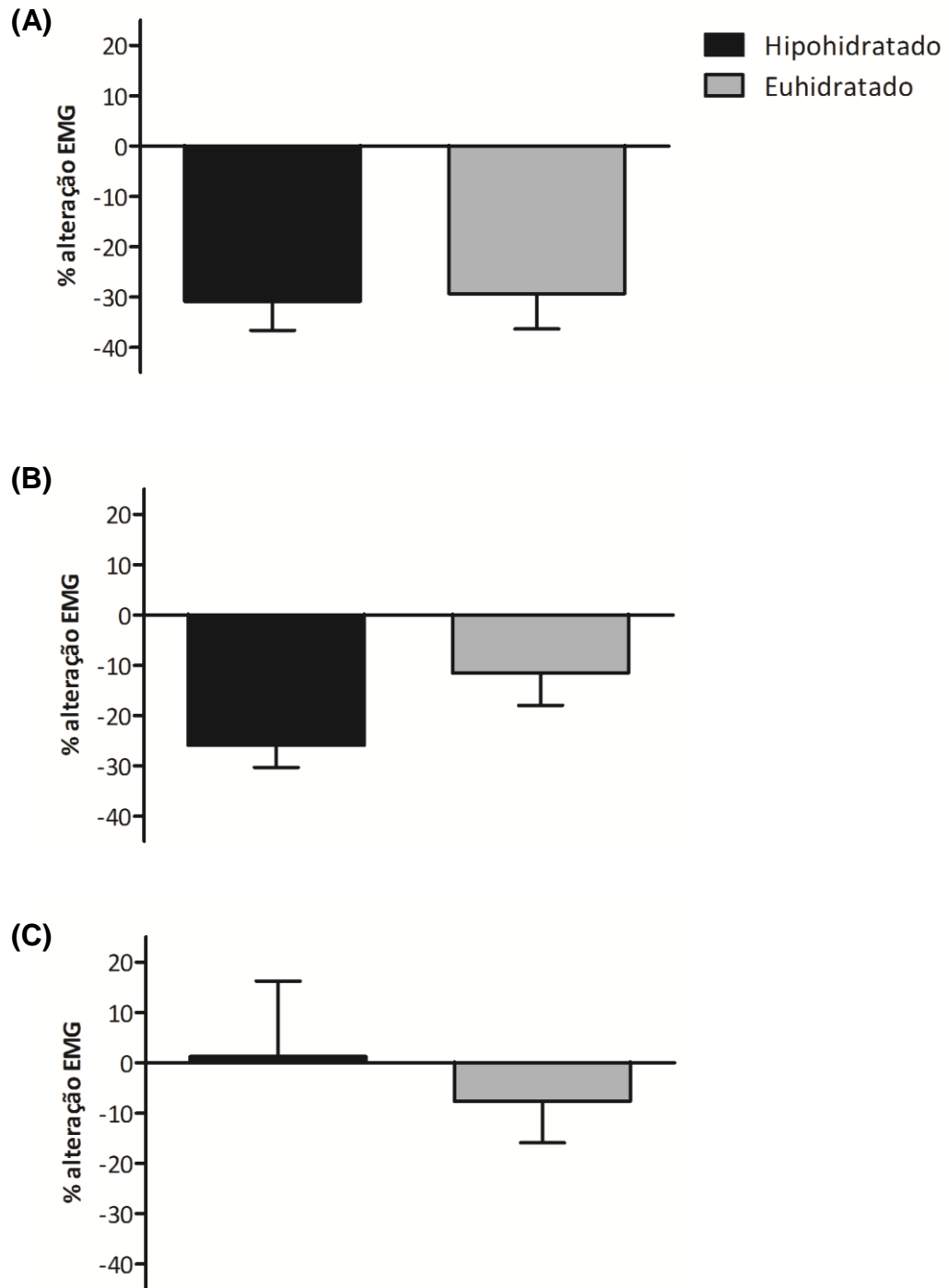


Figura 3: Percentual de alteração da ativação dos músculos VL (A), RF (B) e BB (C) entre os momentos pré- e pós-exercício para as duas situações (HI e EU) (média \pm erro-padrão).
*diferente entre as situações

6 DISCUSSÃO

A proposta deste estudo foi verificar o efeito do estado de hidratação sobre parâmetros relacionados à capacidade de produção de força dos músculos extensores de joelho e flexores de cotovelo após um protocolo de exercício físico no calor. Nossos resultados mostraram que (1) a hipohidratação (~2%) promoveu redução significativa no torque isométrico máximo de extensores de joelho (15,8%) e flexores de cotovelo (6,3%) quando comparados à situação euhidratado. (2) ambas as situações promoveram redução na ativação do músculo VL durante o torque isométrico de extensores de joelho (3) houve tendência à redução na ativação do músculo RF durante o torque isométrico máximo de extensores de joelho na situação hipohidratado quando comparado à situação euhidratado (4) não houve diferença entre as situações na atividade do músculo BB durante o torque isométrico máximo de flexores de cotovelo. Além disso, nosso estudo controlou as principais variáveis intervenientes apresentadas por estudos anteriores (JUDELSON et al, 2007), demonstrando a importância da ingestão de líquidos na manutenção dos níveis de força após exercício físico no calor.

6.1 *Produção de força*

Conforme mencionado anteriormente, a abordagem desta temática na literatura é extremamente inconclusiva. Assim, alguns estudos encontraram resultados divergentes dos achados na presente investigação (MONTAIN et al, 1998; GREIWE et al, 1998; BIGARD et al, 2001; KRAEMER et al, 2001; EVETOVICH et al, 2002; JUDELSON et al, 2008), na medida que outros achados corroboram com os dados do presente estudo (KRAEMER et al, 2001; FTAITI et al, 2001; SCHOFFSTALL et al, 2001; VALLIER et al, 2005; HAYES e MORSE, 2009; KRAFT et al, 2010).

Uma melhor discussão dos resultados fica comprometida uma vez que diferentes grupos musculares são avaliados entre os estudos, tais como extensores de joelho (MONTAIN et al, 1998; GREIWE et al, 1998; SCHOFFSTALL et al, 2001; KRAEMER et al, 2001; FTAITI et al, 2001; BIGARD et al, 2001; VALLIER et al, 2005; JUDELSON et al, 2008; HAYES e MORSE, 2009), flexores de cotovelo (GREIWE et al, 1998; KRAEMER et al, 2001; EVETOVICH et al, 2002, flexores de joelho (FTAITI et al, 2001; KRAEMER et al, 2001), extensores de cotovelo (KRAEMER et al, 2001)

e extensores de quadril (SCHOFFSTALL et al, 2001; JUDELSON et al, 2008), bem como a utilização de ângulos articulares diferentes para a produção de torque de uma mesma musculatura (MONTAIN et al, 1998; GREIWE et al, 1998; KRAEMER et al, 2001; BIGARD et al, 2001; JUDELSON et al, 2008; HAYES e MORSE, 2009). Somado a isto, os diferentes protocolos de desidratação utilizados entre os estudos, tais como sauna (GREIWE et al, 1998; SCHOFFSTALL et al, 2001; BIGARD et al, 2001), restrição de líquidos (EVETOVICH et al, 2002), técnicas combinadas (KRAEMER et al, 2001) e exercício físico contribuem para esta inconclusividade.

A hipohidratação induzida por exercício físico, sendo este realizado em bicicleta (MONTAIN et al, 1998; VALLIER et al, 2005) ou corrida em esteira (MONTAIN et al, 1998; FTAITI et al, 2001; JUDELSON et al, 2008; HAYES e MORSE, 2009) implica na ocorrência de fadiga muscular, levando a um déficit na produção de força (MILLET e LEPPERS, 2004; TAYLOR e GANDEVIA, 2008), independente da hipohidratação. Uma vez que o exercício realizado em bicicleta é caracterizado por ações concêntricas da musculatura envolvida, diferente da corrida, que apresenta um componente excêntrico (MILLET e LEPPERS, 2004) e conseqüentemente maior nível de dano muscular e déficit na produção de força (PROSKE e ALLEN, 2005), a comparação de resultados entre diferentes protocolos de exercício se torna prejudicada, uma vez que a fadiga é tarefa-dependente (TAYLOR e GANDEVIA, 2008) e pode se constituir em uma variável interveniente nos resultados de força e eletromiografia.

Vallier et al (2005) em um desenho experimental semelhante ao do presente estudo encontraram redução significativa no torque isométrico máximo de extensores de joelho nas situações sem ingestão hídrica (16%) e com ingestão hídrica (10%) após 180 min de exercício em bicicleta realizado em ambiente termoneutro. Entretanto, não encontraram influência da ingestão hídrica como efeito protetor no déficit da produção de força, diferentemente do observado no presente estudo. Os principais mecanismos relacionados ao aparecimento da fadiga e conseqüentemente redução no desempenho em exercícios de longa duração estão relacionados ao acúmulo de neurotransmissores no SNC, especialmente as catecolaminas, dopamina e noradrenalina (ROELANDS e MEEUSEN, 2010), a depleção de glicogênio, acúmulo intracelular de Ca^{2+} e alterações estruturais (MILLET e LEPPERS, 2004). Todavia, os mecanismos relacionados ao efeito da

hipohidratação de forma isolada ou combinada com a fadiga muscular carecem de evidências conclusivas na literatura (JUDELSON et al, 2007b).

A ação isolada da hipohidratação sobre a capacidade de produção de força foi investigada na avaliação do torque isométrico dos flexores de cotovelo. Este grupo muscular já foi investigado em estudos anteriores envolvendo a hipohidratação. Entretanto, nenhuma alteração significativa foi encontrada (GREIWE et al, 1998; KRAEMER et al, 2001; EVETOVICH et al, 2002). Além disso, o nosso é o primeiro estudo da área a investigar o efeito isolado da hipohidratação proveniente de exercício no calor em um grupo muscular (e.g. flexores de cotovelo) que não foi utilizado no protocolo de exercício, encontrando déficit na produção de força desta musculatura. Isso significa que a perda hídrica, apesar de ter uma ação mais preponderante sobre a musculatura em exercício, também apresenta um efeito sistêmico que reduz a capacidade de produção de força muscular de outros segmentos corporais, e que não parece ter relação com a capacidade de ativação muscular que foi preservada nesse grupo no presente estudo.

As principais hipóteses que explicariam a influência da perda hídrica na produção de força consistem em alteração na despolarização das células, na liberação e/ou reabsorção de cálcio pelo retículo sarcoplasmático, bem como mudanças no estado iônico do lúmen no túbulo T e outros compartimentos intracelulares, que possivelmente afetariam a taxa de propagação do estímulo pelo túbulo T e prejudicariam o acoplamento excitação-contração (FITTS, 1994). Além disso, alterações metabólicas na produção de energia para a contração muscular também parecem estar diretamente relacionadas com a redução na capacidade de produção de força. Embora o acúmulo de lactato não seja um causador de fadiga muscular, sabe-se que o aumento de sua concentração é acompanhado do incremento da concentração de íons H^+ e P_i , que contribuem com o processo de fadiga muscular através de prejuízos à formação de pontes cruzadas (MONTAIN et al, 1998). Nessa perspectiva, evidências indicam que a produção de lactato não se altera em função do estado de hidratação do indivíduo (JUDELSON et al, 2008). Também, não houve alteração no conteúdo de ATP-CP e na concentração de H^+ e P_i em indivíduos hipohidratados (MONTAIN et al, 1998).

Por outro lado, apesar de não ser encontrada influência da temperatura do ambiente na depleção de glicogênio e atividade de enzimas intramusculares após exercício de curta duração (SAUNDERS et al, 2001), em exercício de longa duração

(~90 min), foi encontrado uma diferença de 25% da depleção de glicogênio muscular em exercício no calor quando o mesmo era realizado em ambiente termoneutro (JENTJENS et al, 2002), devido à significativa elevação da temperatura central no calor, o que pode, somado a outros fatores, explicar os resultados encontrados no presente estudo, uma vez que o mesmo comportamento é encontrado quando o exercício é realizado no calor associado à hipohidratação (ARMSTRONG et al, 1997).

6.2 Ativação Muscular

A hipótese mais aceita pela literatura é de que a hipohidratação afetaria algum componente de ordem neuromuscular (COYLE e HAMILTON, 1996; BIGARD et al, 2001; FTAITI et al, 2001; EVETOVICH et al, 2002; VALLIER et al, 2005; JUDELSON et al, 2007b; HAYES e MORSE, 2009). A ativação das unidades motoras é comumente avaliada por parâmetros relacionados à EMG.

Evetovich et al (2002) não encontraram alteração na atividade elétrica do músculo BB a partir de testes isométricos de flexores de cotovelo decorrente de 2% de hipohidratação induzido por restrição de líquidos, corroborando com os resultados obtidos no presente estudo. Diferentemente do presente estudo, Hayes e Morse (2009) não encontraram alteração na atividade elétrica do músculo VL durante os testes isométricos e isocinéticos de extensores de joelho a partir de 3,9% de hipohidratação decorrente de corrida no calor, diferentemente do encontrado por Ftaiti et al (2001) a partir de 2% de hipohidratação utilizando o mesmo tipo de exercício, que observaram redução no sinal EMG durante contrações isométricas (39%) e isocinéticas a $60^{\circ}.\text{seg}^{-1}$ (25%) dos músculos extensores de joelho quando comparados aos valores basais. Uma vez que a elevação da temperatura central já promove reduções na ativação muscular (NYBO e NIELSEN, 2001b; MORRISON et al, 2004) e esta variável não foi isolada nos estudos citados anteriormente (FTAITI et al, 2001; HAYES e MORSE, 2009), bem como as respostas neuromusculares distintas a partir de cada exercício (MILLET e LEPPERS, 2004), a comparação destes resultados com os obtidos no presente estudo se torna prejudicada.

Todavia, Vallier et al (2005) encontraram redução no valor RMS do músculo VL após duas horas de exercício em bicicleta com (18%) e sem ingestão hídrica (26%), corroborando com os resultados do presente estudo. Esta redução na

ativação do VL reportada a partir de protocolos de exercício de longa duração em bicicleta parece ocorrer independente da hipohidratação (LEPPERS et al, 2002). Entretanto, nossa investigação encontrou tendência à redução na ativação do músculo RF na situação hipohidratado, quando comparado à situação euhidratado. Esta redução observada na atividade do RF na situação hipohidratado pode explicar os resultados encontrados, uma vez que a ativação das quatro porções do quadríceps durante a contração isométrica voluntária máxima de extensores de joelho é semelhante, o que pode ter contribuído de forma significativa para a redução na produção de força (PLACE et al, 2006). Entretanto, nosso estudo é o primeiro a avaliar a influência da hipohidratação sobre sua atividade.

Apesar de não ter sido encontrada mudança na excitabilidade da membrana decorrente de uma alteração nas concentrações de eletrólitos no tecido muscular a partir da hipohidratação (~4%) (COSTILL et al, 1976), um dos mecanismos propostos é de que a redução no recrutamento muscular em função deste quadro ocorra de maneira semelhante àquela apresentada na fadiga debilitante presente em indivíduos com determinadas doença, infecções ou em fase de recuperação de lesões, onde estes apresentam falta de vontade de realizar a atividade proposta (DAVIS e BAILEY, 1997), apresentando aumento na percepção ao esforço. Durante o exercício, este quadro ocorre de maneira linear com a elevação da temperatura central e da frequência cardíaca (NYBO e NIELSEN, 2001a). Nestas condições, uma redução no percentual de ativação do córtex motor foi observada (NYBO e NIELSEN, 2001a), o que pode reduzir o estímulo periférico (NYBO e NIELSEN, 2001b) e conseqüentemente a capacidade de produção de força.

Um aumento na percepção ao esforço também é observado a partir da hipohidratação (KUIPERS et al, 2007) independente de elevações na temperatura central, o que pode alterar os disparos neuronais do córtex motor (MONTAIN et al, 1998), na medida que um fenômeno semelhante acomete os neurônios no hipotálamo quando o indivíduo está hipohidratado (BOULANT, 1997). Conforme observado no nosso estudo, a situação HI apresentou maior percepção ao esforço durante o protocolo de exercício no calor decorrente dos maiores valores de temperatura central encontrados nesta situação. Assim, uma hipótese é de que os neurotransmissores liberados no sistema nervoso central podem permanecer agindo, mesmo após 30 minutos do término do exercício e restabelecimento dos níveis basais de temperatura, contribuindo para o decréscimo de força observado.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O controle metodológico utilizado no presente estudo possibilitou verificar que a hipohidratação (2%) promoveu (1) redução no torque isométrico máximo de extensores de joelho e flexores de cotovelo após um protocolo de exercício em bicicleta no calor quando comparado à situação euhidratado; (2) não houve alteração significativa entre as situações na ativação dos músculos VL e RF, embora este último tenha apresentado tendência à redução significativa na situação hipohidratado; (3) não houve alteração significativa na ativação do músculo BB.

Nossos resultados indicam que a manutenção do estado de hidratação através da ingestão de líquidos durante o exercício físico é capaz de atenuar o déficit na produção de força que acomete o grupo muscular envolvido no exercício, bem como demais grupos musculares. Uma vez que não foi encontrada alteração significativa na ativação dos músculos envolvidos, novas investigações se fazem necessárias para se determinar os mecanismos que expliquem os resultados encontrados no presente estudo, que podem estar mais relacionados a mecanismos intrínsecos musculares de produção de força.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American College of Sports Medicine. ACSM Position stand on exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc*, 28(1), i-vii, 1996.
2. American College of Sports Medicine. ACSM. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc*, Feb;39(2):377-90. Review, 2007.
3. Armstrong, LE; Maresh CM; Castellani JW; Bergeron MF; Kenefick RW; LaGasse KE; Riebe D. Urinary indices of hydration status. *Int J Sport Nutr. Sep;4(3):265-79*, 1994.
4. Armstrong, LE et al. Thermal and circulatory responses during exercise: effects of hypohydration, dehydration, and water intake. *J Appl Physiol* 82:2028-2035, 1997.
5. Armstrong, LE; Herrera Soto, JA; Hacker, FT; Casa, DJ; Kavouras, AS; Maresh, CM. Urinary indices during dehydration, exercise and rehydration. *Int J Sport Nutr.8:345-55*, 1998.
6. Armstrong, LE. Assessing Hydration Status: The Elusive Gold Standard. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 26, No. 5, 575S–584S, 2007.
7. Armstrong, LE et al. The American Football Uniform: Uncompensable Heat Stress and Hyperthermic Exhaustion. *Journal of Athletic Training*, 45(2):117–127, 2010.
8. Astrand, P; Rodahl, K; Dahl, H; Stromme, S. *Tratado de Fisiologia do Trabalho – Bases Fisiológicas do Exercício*. Porto Alegre, p. 482, 2006.
9. Atkinson, G; Reilly, T. Circadian variation in sports performance. *Sports Med. Apr;21(4):292-312*. 1996
10. Barnes, MJ; Mündel, T; Stannard, SR. Post-exercise alcohol ingestion exacerbates eccentric-exercise induced losses in performance. *Eur J Appl Physiol*. 108:1009–1014, 2010
11. Bigard AX, Sanchez H, Claveyrolas G, Martin S, Thimonier B, Arnaud MJ. Effects of dehydration and rehydration on EMG changes during fatiguing contractions. *Med Sci Sports Exerc. Oct;33(10):1694-700*, 2001.
12. Boulant, JA. Thermoregulation. In: *Fever: Basic Mechanisms and Management*, edited by P. A. Mackowiak. Philadelphia, PA: Lippincott-Raven, p. 35–58, 1997.
13. Casa, DJ. Exercise in the Heat. I. Fundamentals of Thermal Physiology, Performance Implications, and Dehydration. *Journal of Athletic Training*, 34 (3):246-252, 1999.
14. Casa, DJ; Becker, SM; Ganio, MS; Brown, CM; Yeargin, SW; Roti, MW; Siegler, J; Blowers, JA; Glaviano, NR; Huggins, RA; Armstrong, LE; Maresh, CM. Validity of Devices That Assess Body Temperature During Outdoor Exercise in the Heat. *Journal of Athletic Training;42(3):333–342*, 2007.

15. Cheuvront, SN; Carter, R III; Sawka, MN. Fluid balance and endurance exercise performance. *Curr Sports Med Rep* 2, 202–208, 2003.
16. Costill, DL; Cote, R; Fink, W. Muscle water and electrolytes following varied levels of dehydration in man. *J Appl. Physiol.* 40: 6–11, 1976.
17. Coyle, EF; Hamilton, M. Fluid replacement during exercise: effects on physiological homeostasis and performance. In: Gisolfi CV, Lamb DR, editors. *Perspectives in exercise science and sports medicine: fluid homeostasis during exercise*. Carmel (IN): Cooper Publishing Group, 281-308, 1990.
18. Davis, JM; Bailey, SP. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29: 45–57, 1997.
19. Enoka, RM. *Bases Neuromecânicas da Cinesiologia*. 2. Ed. São Paulo, 2000.
20. Evetovich TK, Boyd JC, Drake SM. Effect of moderate dehydration on torque, electromyography, and mechanomyography. *Muscle Nerve*; 26: 225-31 54, 2002.
21. Fitts, RH. Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiol. Rev.* 74: 49–94, 1994.
22. Ftaiti F, Grélot L, Coudreuse JM, et al. Combined effect of heat stress, dehydration and exercise on neuromuscular function in humans. *Eur J Appl Physiol*; 84: 87-94, 2001.
23. Gisolfi, CV; Mora, F. *The hot brain: survival, temperature and the human body*. 1st ed. Cambridge: MIT Press, 2000
24. González-Alonso, J; Crandall, CG; Johnson, JM. The cardiovascular challenge of exercising in the heat. *J Physiol* 586.1, pp 45–53 45, 2008.
25. Graham, JA; Scobie, WG. Muscle biopsy measurement of body water and intracellular electrolytes in children. *Archives of Disease in Childhood*. 45, 473, 1970.
26. Greiwe JS, Staffey KS, Melrose DR, Narve MD, Knowlton RG. Effects of dehydration on isometric muscular strength and endurance. *Med Sci Sports Exerc.* Feb;30(2):284-8, 1998.
27. Hayes, LD; Morse, CI. The effect of progressive dehydration on strength and power: is there a dose-response. *Eur J Appl Physiol*, 2009.
28. Hedley AM; Climstein M; Hansen R. The effects of acute heat exposure on muscular strength, muscular endurance, and muscular power in the euhydrated athlete. *J Strength Cond Res.* Aug;16(3):353-8, 2002.
29. Hunter, AM; Gibson, SC; Mbambo, Z; Lambert, MI; Noakes, TD. The effects of heat stress on neuromuscular activity during endurance exercise. *Pflugers Arch - Eur J Physiol* 444:738–743, 2002.

30. Jentjens, RLP; Wagenmakers, AJM; Jeukendrup, AE. Heat stress increases muscle glycogen use but reduces the oxidation of ingested carbohydrates during exercise. *J Appl Physiol* 92: 1562–1572, 2002.
31. Judelson, DA; Maresh, CM; Anderson, JM; Armstrong, LE; Casa, DJ; Kraemer, WJ; Volek, JS. Hydration and Muscular Performance - Does Fluid Balance Affect Strength, Power and High-Intensity Endurance. *Sports Med.* 37 (10): 907-921, 2007 a.
32. Judelson, DA; Maresh, CM; Farrel, MJ; Yamamoto, LM; Armstrong, LE; Kraemer, WJ; Volek, JS; Anderson, JM; Spiering, BA. Effect of Hydration State on Strength, Power and Resistance Exercise Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2007 b.
33. Judelson, DA; Casa, DJ; Maresh, CM; Farrel, MJ; Yamamoto, LM; Armstrong, LE; Kraemer, WJ; Volek, JS; Anderson, JM; Spiering, BA. Effect of hydration state on resistance exercise-induced endocrine markers of anabolism, catabolism, and metabolism. *J Appl Physiol* 105: 816–824, 2008.
34. Kanikowska, D; Sugeno, J; Sato, M; Shimizu, Y; Inukai, Y; Nishimura, N; Iwase, S. Influence of season on plasma antidiuretic hormone, angiotensin II, aldosterone and plasma renin activity in young volunteers. *Int J Biometeorol*, 2009.
35. Kavouras, SA. Assessing hydration status. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 5:519±524, 2002.
36. Kraemer WJ, Fry AC, Rubin MR. Physiological and performance responses to tournament wrestling. *Med Sci Sports Exerc.* 33: 1367-78, 2001.
37. Kraft, JA; Green, JM; Bishop, PA; Richardson, MT; Neggers, YH; Leeper, JD. Impact of dehydration on a full body resistance exercise protocol. *Eur J Appl Physiol*, 2010.
38. Kuipers, N; Sauder, CL; Kearney, ML; Ray, CA. Changes in forearm muscle temperature alter renal vascular responses to isometric handgrip. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 293: H3432–H3439, 2007.
39. Lepers, R; Maffiuletti, NA; Rochette, L; Bruognieux, J; Millet, GY. Neuromuscular fatigue during a long-duration cycling exercise. *J Appl Physiol* 92: 1487–1493, 2002.
40. Machado-Moreira, CA; Vimieiro-Gomes, AC; Silami-Garcia, E; Rodrigues, LOC. Hidratação durante o exercício: a sede é suficiente?. *Rev Bras Med Esporte*, vol. 12, nº 6, Nov/Dez, 2006.
41. Maresh, CM; Gabaree-Boulant, CL; Armstrong, LE; Judelson, DA; Hoffman, JR; Castellani, JW; Kenefick, RW; Bergeron, MF; Casa, DJ. Effect of hydration status on thirst, drinking, and related hormonal responses during low-intensity exercise in the heat. *J Appl Physiol* 97: 39–44, 2004.
42. Maresh, CM; Armstrong, LE; Judelson, DA; Casa, DJ; Kavouras, SA; Fish, KE; Castracane, VD; Whittlesey, MJ. Effect of Hydration State on Testosterone and

- Cortisol Responses to Training-Intensity Exercise in Collegiate Runners. *Int J Sports Med.* 27: 765–770, 2006.
43. McArdle WD; Katch FR; Katch VL. *Exercise Physiology – Energy, Nutrition and Human Performance.* São Paulo, 2001.
 44. Millet, GY; Lepers, R. Alterations of neuromuscular function after prolonged running, cycling and skiing exercises. *Sports Medicine* 34 (2): 105-116, 2004.
 45. Montain, SJ; Sinclair, A; Smith; Ralph, PM; Zientara, GP; Ferenc, AJ; Sawka, MN. Hypohydration effects on skeletal muscle performance and metabolism: a ³¹P-MRS study. *J Appl Physiol* 84:1889-1894, 1998.
 46. Murray, B. Hydration and Physical Performance. *Journal of the American College of Nutrition*, Vol. 26, No. 5, 542S–548S, 2007.
 47. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for Athletes (NATA). *Journal of Athletic Training* 35 (2):212-224, 2000.
 48. Nybo, L; Nielsen, B. Perceived exertion is associated with an altered brain activity during exercise with progressive hyperthermia. *J Appl Physiol* 91:2017-2023, 2001a.
 49. Nybo, L; Nielsen, B. Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *J Appl Physiol* 91:1055-1060, 2001b.
 50. Nybo, L. Hyperthermia and fatigue. *J Appl Physiol* 104: 871–878, 2008.
 51. Nielsen, B and Nybo, L. Cerebral changes during exercise in the heat. *Sports Med* 33 (1): 1-11, 2003.
 52. Papadopoulos, C; Doyle, J; Rupp, J; Brandon, L; Benardot, D; Thompson, W. The effect of the hypohydration on the lactate threshold in a hot and humid environment. *J Sports Med Phys Fitness.* Sep;48(3):293-9, 2008.
 53. Parkin, JM; Carey, MF; Zhao, S; Febbraio, MA. Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. *J Appl Physiol* 86:902-908, 1999.
 54. Place, N; Matkowski, B; Martin, A; Lepers, R. Synergists activation pattern of the quadriceps muscle differs when performing sustained isometric contractions with different EMG biofeedback. *Exp Brain Res.* 174: 595–603, 2006.
 55. Proske, U; Allen, TJ. Damage to skeletal muscle from eccentric exercise. *Exerc Sport Sci Rev.* Apr;33(2):98-104, 2005.
 56. Rivera-Brown, AM Gutiérrez, R; Gutiérrez, JC; Frontera,WR; Bar-Or, O. Drink composition, voluntary drinking and fluid balance in exercising, trained, heat-acclimatized boys. *J Appl Phys* 86:78-84, 1999.

57. Roelands, B; Meeusen, R. Alterations in Central Fatigue by Pharmacological Manipulations of Neurotransmitters in Normal and High Ambient Temperature. *Sports Med.* 40 (3) 229-246, 2010.
58. Saunders, PU; Watt, MJ; Garnham, AP; Spriet, LI; Hargreaves, M; Febbraio, MA. No effect of mild heat stress on the regulation of carbohydrate metabolism at the onset of exercise. *J Appl Physiol* 91: 2282–2288, 2001.
59. Sawka, MN; Pandolf, KB. Effects of body water loss on physiological function and exercise performance. In: C.V. Gisolfi and D.R. Lamb (eds) *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine*, Vol. 3, Fluid Homeostasis During Exercise. Carmel, IN: Benchmark Press, pp. 1-30, 1990.
60. Sawka, MN; Montain, SJ. Fluid and electrolyte supplementation for exercise heat stress. *Am J Clin Nutr.* 72 (suppl):564S–72S, 2000.
61. SENIAM - *Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles*. [Internet]. Acesso em 25 de Junho de 2010. Disponível em: <http://www.seniam.org/>.
62. Schoffstall, JE; Branch, JD; Leutholtz, BC; Swain DE. Effects of dehydration and rehydration on the one-repetition maximum bench press of weight-trained males. *J Strength Cond Res.* Feb;15(1):102-8, 2001.
63. Shirreffs, SM. Symposium on 'Performance, exercise and health' Hydration, fluids and performance. *Nutrition Society*, 68, 17–22, 2009.
64. Silverthorn, Dee Unglaub. *Fisiologia Humana Uma Abordagem Integrada*. 2. ed. São Paulo: Manole, 2003.
65. Sociedade Brasileira de Medicina do Esporte. SBME. Modificações dietéticas, reposição hídrica, suplementos alimentares e drogas: comprovação de ação ergogênica e potenciais riscos para a saúde. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte. Suplemento.* vol. 15, nº 3, mar/abr, 2009.
66. Taylor, JL; Gandevia, SC. A comparison of central aspects of fatigue in submaximal and maximal voluntary contractions. *J Appl Physiol* 104: 542–550, 2008.
67. The Weather Channel [Internet]. Acesso em 10 de novembro de 2011. Disponível em <http://br.weather.com/>
68. Thomas, MM; Cheung, SS; Elder, GC; Sleivert, GG. Voluntary muscle activation is impaired by core temperature rather than local muscle temperature. *J Appl Physiol* 100: 1361–1369, 2006.
69. Vallier JM, Grego F, Basset F. Effect of fluid ingestion on neuromuscular function during prolonged cycling exercise. *Br J Sports Med*; 39: e17-22, 2005.
70. Yoshida, T; Takanishi, T; Nakai, S; Yorimoto, A; Morimoto, T. The critical level of water deficit causing a decrease in human exercise performance: a practical field study. *Eur J Appl Physiol* 87: 529–534, 2002.

9 APÊNDICES

9.1 Apêndice A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Dados de Identificação:

Nome:.....

Identidade: Idade:

Telefone: E-mail:

Esse termo de consentimento, cuja cópia lhe foi entregue, é parte de um projeto de pesquisa do qual você participará como sujeito. Ele deve lhe dar uma idéia básica do que se trata o projeto e o que sua participação envolverá. Se você quiser mais detalhes sobre algo mencionado aqui, ou informação não incluída aqui, sinta-se livre para solicitar. Por favor, leia atentamente esse termo, a fim de que você tenha entendido plenamente o objetivo desse projeto e o seu envolvimento nesse estudo como sujeito participante. O investigador tem o direito de encerrar o seu envolvimento nesse estudo, caso isso se faça necessário. De igual forma, você pode retirar o seu consentimento em participar no mesmo a qualquer momento.

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa cujo objetivo é avaliar a influência do estado de hidratação na capacidade de produção de força. Neste estudo você deverá comparecer ao Laboratório de Pesquisa do Exercício da Universidade Federal do Rio Grande do Sul três vezes, com intervalo de uma semana entre as visitas.

Na primeira visita, você realizará uma avaliação antropométrica composta por medidas de massa corporal, estatura, perimetria e dobras cutâneas. Posteriormente a isto será realizado um protocolo de familiarização em dinamômetro isocinético, nos mesmos padrões do que será realizado nas visitas seguintes, onde será avaliada sua capacidade de produzir força de extensão de joelho, acompanhada de uma ecografia (exame de imagem do músculo da coxa obtida com um ecógrafo), eletromiografia (que avalia a atividade elétrica gerada pelo músculo durante o esforço máximo) e estimulação elétrica artificial (que avalia o nível de recrutamento das unidades motoras). Após isto, você realizará uma familiarização de exercício no calor em câmara ambiental, nas mesmas condições da visita seguinte, porém, com duração de 20 minutos. Pergunte ao pesquisador como funciona cada um destes exames caso tenha dúvidas. Nenhum destes exames serve para diagnóstico médico, apenas para fins de pesquisa, por isso você não receberá cópias destes exames.

Na segunda visita, além do protocolo de avaliação da força, no modelo citado acima, você será submetido a um protocolo de desidratação. Antes do protocolo,

você será instruído a ingerir 250 ml de água mineral cerca de 30 minutos antes do início do protocolo de força. Neste período, você relatará qual foi sua alimentação nos dois dias anteriores à coleta. Após isto, você deverá urinar em um recipiente com o objetivo de avaliar o nível de hidratação pré-exercício. Você será pesado somente com o calção a ser utilizado posteriormente no protocolo. Após isto, haverá uma coleta de sangue que será retirado da ponta do dedo para calcular o volume plasmático. Em seguida, você será orientado a colocar um termômetro retal, flexível e de capa descartável, que monitorará a sua temperatura durante toda a coleta. Esse procedimento é importante para manter sua integridade durante o exercício no calor. O protocolo de desidratação será realizado em uma bicicleta dentro de uma câmara ambiental (36-37°C – 40-50% de Umidade Relativa do Ar). Durante este protocolo, você terá sua temperatura corporal mensurada a cada 5 minutos. A cada 20 minutos de protocolo, você interromperá o exercício para ser pesado. Este procedimento se repetirá até que você atinja uma perda hídrica correspondente a superior a 2% do peso corporal inicial, ou caso você desejar parar devido algum desconforto, ou se apresentar: (1) perda hídrica superior ou igual a 2% da massa corporal pré-exercício; (2) frequência cardíaca exceder 180 bpm durante cinco minutos consecutivos; (3) a temperatura retal exceder 39,5°C; (4) apresentar sintomas de enfermidades induzidas pelo exercício no calor, como tontura, pele vermelha, náusea. Posteriormente a isto, você será submetido novamente ao protocolo de avaliação da força para efeitos de comparação.

Na terceira visita, todos os procedimentos da segunda visita serão repetidos. Entretanto, no protocolo de desidratação, a cada 20 minutos você irá ingerir uma quantidade de água proporcional à perda conseguinte do protocolo da segunda visita, a fim de garantir que você encerre o protocolo hidratado.

Os exames ou exercícios que serão realizados poderão lhe deixar com um pouco de dor muscular após os testes, bem como poderá ficar com a pele um pouco vermelha após o exame de eletromiografia ou estimulação elétrica, mas este vermelhidão deverá passar logo, não sendo necessário nenhum procedimento. Quanto à estimulação elétrica, você sentirá um desconforto a cada estímulo que for aplicado a sua musculatura. Entretanto, é um desconforto momentâneo, que não oferece nenhum tipo de risco. No caso de desconforto muscular após os testes você deverá aplicar uma bolsa com gelo por um período aproximado de 20 minutos sobre a área do desconforto, três vezes ao dia, por dois dias. Caso algum destes sintomas não desapareça, ou apareça outro sintoma imprevisto, por favor, avise o pesquisador no telefone indicado ao final deste termo de consentimento. A duração aproximada do primeiro dia de avaliação é de três horas, no segundo e terceiro dia é de cinco horas.

Os resultados deste estudo serão utilizados única e exclusivamente para fins de pesquisa, de modo que sua identidade será mantida em sigilo absoluto. Ao final da pesquisa você receberá um resumo dos resultados obtidos. Para isso, coloque o seu e-mail ou telefone neste formulário.

A sua assinatura nesse formulário indica que você entendeu satisfatoriamente a informação relativa à sua participação nesse projeto e você concorda em participar como sujeito. De forma alguma esse consentimento lhe faz renunciar aos seus direitos legais, e nem libera os investigadores, patrocinadores, ou instituições envolvidas de suas responsabilidades pessoais ou profissionais. A sua participação continuada deve ser tão bem informada quanto o seu consentimento inicial, de modo que você deve se sentir à vontade para solicitar esclarecimentos ou novas informações durante a sua participação. Se tiver qualquer dúvida referente a assuntos relacionados com esta pesquisa, favor entrar em contato com o Prof. Dr. Marco Aurélio Vaz (Fone: 3308.5860) ou com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS (Fone: 3308.4085).

Voluntário

Rodrigo Rodrigues – Pesquisador Responsável

Marco Aurélio Vaz – Pesquisador Responsável

9.2 Apêndice B – Registro Alimentar

REGISTRO ALIMENTAR

O objetivo deste registro é conhecer os seus hábitos alimentares. Para que eles estejam o mais próximo possível da sua realidade, é importante que você anote TUDO o que comer e beber neste dia, durante as refeições e entre elas. Anote as quantidades (raso, cheio), as medidas caseiras (copo de requeijão, xícara, colher de sopa/chá, concha média, prato raso/fundo). Detalhe o tipo de alimento consumido, se o pão é integral ou branco, se o suco é artificial ou natural, se adoçou com açúcar ou adoçante, se o leite é desnatado ou integral, se comeu alguma fruta ou salada, especificar qual (por exemplo maçã, banana, rúcula, tomate, etc). Sempre que possível, procure anotar as marcas dos fabricantes (por exemplo, requeijão *nestlé*, pão de sanduíche *nutrella*, etc.), indicar quando o alimento for *light* ou *diet*. Seja o mais preciso e honesto possível, é melhor superestimar a quantidade de alimento consumido do que subestimar, ou não fazer nenhuma estimativa.

Preencher o registro alimentar em um dia do final de semana e no dia imediatamente anterior à coleta.

Exemplo de preenchimento:

Horário/Refeição/ Local	Alimento/Marca	Quantidade
7h – Café da manhã – Casa	Leite Integral - Santa Clara Achocolatado – Nescau Pão cacetinho Margarina – Qualy Presunto Magro – Perdigão Queijo prato – Santa Clara	1 copo de requeijão 2 colheres de sopa 2 unidades 1 col de sopa rasa 1 fatia 1 fatia
09h30 – Lanche – Fora	Barra de cereal – Nutry (chocolate com banana) Suco – Del Valle (laranja)	1 unidade 200 ml
12h – Almoço - Fora	Arroz branco Feijão preto Sobrecoca Polenta com queijo e molho Alface Suco de uva Banana pequena	2 colheres de sopa cheia 1 concha grande rasa 1 unidade – média 2 colheres de sopa rasa 1 colher de sopa cheia 1 copo de requeijão 1 unidade
16h30 – Lanche - Fora	Pão de queijo médio Refrigerante de laranja - Fanta	1 unidade 1 lata

20h30 – Janta - Casa	Arroz branco Pure de batata Bife acebolado – carne de gado Tomate Suco de laranja (tang)	2 colheres de sopa cheia 1 colher de sopa cheia 1 bife médio meia unidade 2 copos de requeijão
23h00 – Ceia - Casa	Leite integral – Santa Clara Achocolatado em pós - Nescau	1 copo de requeijão 2 colheres de sopa rasa
Outras (festa) - Fora _____	Cerveja Heineken	5 garrafas long-neck

NOME:

Data:

Horário/Refeição/ Local	Alimento/Marca	Quantidade
Café da manhã		
Lanche		
Almoço		
Lanche		

Janta		
Ceia		
Outros		

NOME:

Data:

Horário/Refeição/ Local	Alimento/Marca	Quantidade
Café da manhã		
Lanche		
Almoço		
Lanche		
Janta		
Ceia		

Outros		
--------	--	--

10 ANEXOS

10.1 Anexo A – Carta de Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS



UFRGS
UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA

Comitê De Ética Em Pesquisa Da Ufrgs



CARTA DE APROVAÇÃO

Comitê De Ética Em Pesquisa Da Ufrgs analisou o projeto:

Número: 19611

Título: INFLUENCIA DO ESTADO DE HIDRATAÇÃO SOBRE AS PROPRIEDADES MECÂNICAS, ESTRUTURAIS E NEURAIS DO MÚSCULO ESQUELÉTICO

Pesquisadores:

Equipe UFRGS:

MARCO AURELIO VAZ - coordenador desde 01/11/2010

FLAVIA MEYER - pesquisador desde 01/11/2010

RODRIGO RODRIGUES - Aluno de Graduação desde 01/11/2010

JOCELITO BIJOLDO MARTINS - Aluno de Doutorado desde 01/11/2010

Bruno Manfredini Baroni - Aluno de Doutorado desde 01/11/2010

Comitê De Ética Em Pesquisa Da Ufrgs aprovou o mesmo, em reunião realizada em 27/01/2011 - Sala de Reuniões do Gabinete do Reitor (Ex Salão Vermelho) - Prédio Reitoria, 6º andar, por estar adequado ética e metodologicamente e de acordo com a Resolução 196/96 e complementares do Conselho Nacional de Saúde.

Porto Alegre, Quinta-Feira, 27 de Janeiro de 2011


JOSE ARTUR BOGO CHIES
Coordenador da comissão de ética