UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Presidente Prudente

Isadora Lessa Moreno

EFEITOS DA HIDRATAÇÃO SOBRE A MODULAÇÃO AUTONÔMICA E PARÂMETROS CARDIORRESPIRATÓRIOS DURANTE E APÓS EXERCÍCIO FÍSICO DE LONGA DURAÇÃO

Presidente Prudente
2010

Faculdade de Ciências e Tecnologia
Seção de Pós-Graduação
Rua Roberto Simonsen, 305 CEP 19060-900 Presidente Prudente SP
Tel 18 229-5352 fax 18 223-4519 posgrad@prudente.unesp.br

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Presidente Prudente

Isadora Lessa Moreno

EFEITOS DA HIDRATAÇÃO SOBRE A MODULAÇÃO AUTONÔMICA E PARÂMETROS CARDIORRESPIRATÓRIOS DURANTE E APÓS EXERCÍCIO FÍSICO DE LONGA DURAÇÃO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT/Unesp, Campus de Presidente Prudente, para obtenção do título de Mestre no Programa de pós-graduação em Fisioterapia.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Carlos Marques Vanderlei

Presidente Prudente
2010

Faculdade de Ciências e Tecnologia
Seção de Pós-Graduação
Rua Roberto Simonsen, 305 CEP 19060-900 Presidente Prudente SP
Tel 18 229-5352 fax 18 223-4519 posgrad@prudente.unesp.br

Moreno, Isadora Lessa.
M842e Efeitos da hidratação sobre a modulação autonômica e parâmetros cardiorrespiratórios durante e após exercício físico de longa duração / Isadora Lessa Moreno. - Presidente Prudente: [s.n], 2010
144f.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia
Orientador: Luiz Carlos Marques Vanderlei
Banca: Carlos Marcelo Pastre, Luiz Carlos de Abreu
Inclui bibliografia

1. Exercício aeróbico. 2. Soluções para reidratação. 3. Sistema nervoso autônomo. 4. Dinâmica não linear. 5. Recuperação de função fisiológica. I. Autor. II. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia. III. Título.

CDD 615.8

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Presidente Prudente.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Presidente Prudente

BANCA EXAMINADORA

PROF. DR. LUIZ CARLOS MARQUES VANDERLEI
(ORIENTADOR)

PROF. DR. LUIZ CARLOS DE ABREU
(FMABC/SP)

PROF. DR. CARLOS MARCELO PASTRE
(FCT/UNESP)

ISADORA LESSA MORENO

PRESIDENTE PRUDENTE (SP), 19 DE NOVEMBRO DE 2010.

RESULTADO: Aprovado

Faculdade de Ciências e Tecnologia
Seção de Pós-Graduação
Rua Roberto Simonsen, 305 CEP 19060-900 Presidente Prudente SP
Tel 18 3229-5352 fax 18 3223-4519 posgrad@fct.unesp.br

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus amados pais, Milton e Marilena, e aos meus queridos irmãos, Ana Carulina e Sereno. Tê-los em minha vida é um presente valioso. Obrigada pelo apoio, pela compreensão e pelo amor, sempre a mim doados, ao longo dessa jornada acadêmica.

Agradecimentos

A Deus, por ter concedido a minha existência neste mundo e por tornar possível momentos como os de hoje, de conquista.

Aos meus pais, Milton e Marilena, que depositaram total confiança em mim, apoiando-me e incentivando-me em todos os momentos, e aos meus irmãos, Ana Carulina e Sereno, por serem imprescindíveis na minha vida. Os anos que passamos distantes uns dos outros só fizeram com que eu percebesse o imenso amor que sinto por vocês. Obrigada por serem a minha família.

Ao meu querido orientador e prezado amigo, professor Dr. Luiz Carlos Marques Vanderlei. Não conseguirei descrever em palavras toda a gratidão que tenho por você. Por isso, apenas direi: muito obrigada! Obrigada por me acolher, por confiar em mim e por me "aguentar" durante esses seis anos. Obrigada pelos ensinamentos, pela atenção e pela sublime dedicação. Obrigada pela exigência e pela disciplina nos momentos de necessidade. Com certeza o que ficará gravado em minha memória é um exemplo de dignidade, generosidade e grande profissionalismo. E é com um "até breve" que finalizo minhas sinceras palavras, afinal ainda teremos, longe ou perto, muito trabalho pela frente.

Aos professores Dr. Carlos Marcelo Pastre, Dr. Luiz Carlos de Abreu, Dr. Marcelo Papoti, pelas considerações que muito contribuíram para a construção deste trabalho e pelo conhecimento sempre disponível que favoreceu o meu crescimento profissional e pessoal.

Aos meus voluntários, que foram fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa. Obrigada pela paciência, pela determinação e, principalmente, pela amizade.

As amigas do Laboratório de fisiologia do estresse, Ana Clara, Tatiana, Renata, Aline e Ana Laura. Vivi com vocês, dias e noites nessa nossa segunda casa, momentos de alegria, de euforia, de "café filosófico" e de muito estresse, afinal, não foi à toa que o

chefe deu esse nome ao laboratório. Obrigada pelo aprendizado diário e por terem colaborado ativamente para a concretização desta conquista.

Ao iluminado e querido Sidney, por sempre ter se disposto a ajudar, qualquer que fosse a nossa necessidade. Esteja certo de que sua alegria, suas preciosas palavras e, principalmente, a sua amizade farão muita falta no meu dia a dia.

Aos eternos amigos e para sempre unespianos, Ana K, Le, Alice, Marcinho, por terem preenchido o vazio dos que se foram e tornado mais felizes os dias que aqui eu vivi. Sentirei saudades das nossas conversas, das "quentinhas", das tentativas de ensaio musical, das risadas... Simplesmente, sentirei saudades de vocês!

Gostaria também de registrar meus sinceros agradecimentos a uma pessoal especial. "Fale com o coração...". Quantas e quantas vezes eu ouvi essa frase? E os momentos filosóficos?... Corpo, saúde, mente... Se hoje o meu "adulto" está num degrau acima, esteja certo de que você tem participação ativa nessa evolução. Enquanto isso eu vou aprimorando o meu "amoroso" para que, independente do que aconteça, eu consiga manter você perto de mim. Dani, obrigada por viver comigo esses momentos inesquecíveis e contribuir para esta grande vitória.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP - processo nº 2009/04246-9) pelo suporte financeiro primordial para a realização deste trabalho.

E por fim, agradeço a todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a consumação deste trabalho. Muito obrigada!

Epígrafe

"Não querer nada de diferente do que é, nem no futuro, nem no passado, nem por toda a eternidade. Não só suportar o que é necessário, mas amá-lo".

Friedrich Nietzsche

Sumário

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS E QUADROS

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO 1

2. REVISÃO DA LITERATURA 7

2.1. Fisiologia da termorregulação em ambientes quentes 8

2.2. Mecanismos fisiológicos da desidratação e alteração hidroeletrolítica.....10

2.3. Recomendações de hidratação antes, durante e após o exercício físico 13

2.4. Influência do exercício e do estado de hidratação na modulação autonômica cardíaca.....20

2.5. Variabilidade da frequência cardíaca.....24

3. CASUÍSTICA E MÉTODO 30

3.1. População.....31

3.2. Nível de atividade física.....31

3.3. Grupos de estudo 32

3.4. Teste de esforço máximo 33

3.5. Protocolo de hidratação.....34

3.6. Protocolo controle e experimental 35

3.7. Pressão arterial.....37

3.8. Frequência cardíaca 37

3.9. Análise da variabilidade da frequência cardíaca.....38

3.9.1. Domínio do tempo 39

3.9.2. Domínio da frequência 39

3.9.3. Domínio do caos 40

3.10. Frequência respiratória.....41

3.11. Saturação parcial de oxigênio.....41

3.12. Tratamento estatístico 41

4. RESULTADOS.....43

4.1. Caracterização da população 44

4.2. Análise em exercício físico 46

4.2.1. Parâmetros cardiorrespiratórios.....46

4.2.2. Análise da VFC no domínio do tempo.....49

4.2.3. Análise da VFC no domínio da frequência.....51

4.2.4. Análise da VFC no domínio do caos.....53

4.2.4.1. *Plot* de Poincaré.....53

4.2.4.2. *Plot* de recorrência e análise de flutuações depurada de tendências .55

4.3. Análise em recuperação 57

4.3.1. Parâmetros cardiorrespiratórios.....57

4.3.2. Análise da VFC no domínio do tempo.....61

4.3.3. Análise da VFC no domínio da frequência.....63

4.3.4. Análise da VFC no domínio do caos.....65

4.3.4.1. *Plot* de Poincaré.....65

4.3.4.2. *Plot* de recorrência e análise de flutuações depurada de tendências .67

5. DISCUSSÃO.....69

5.1. Análise em exercício – parâmetros cardiorrespiratórios 70

5.2. Análise em exercício – variabilidade da frequência cardíaca 73

5.3. Análise em recuperação – parâmetros cardiorrespiratórios 76

5.4. Análise em recuperação – variabilidade da frequência cardíaca.....80

6. CONCLUSÕES 87

7. REFERÊNCIAS.....90

8. ANEXOS 107

Lista de figuras

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Teste de esforço máximo 33

Figura 2. Frequencímetro cardíaco Polar S810i. 38

Figura 3. Comportamento da frequência cardíaca (FC) durante o período de exercício e sua comparação em relação ao repouso inicial nos protocolos controle (PC) e experimental (PE) 46

Figura 4. Comportamento da frequência cardíaca (FC) durante o período de recuperação e sua comparação em relação ao repouso inicial nos protocolos controle (PC) e experimental (PE).....57

Lista de tabelas e quadros

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1. Valores médios de perda de eletrólitos presente no suor.....10

Quadro 2. Definições dos índices de variabilidade da frequência cardíaca analisados no domínio do tempo.....26

Quadro 3. Definições dos índices de variabilidade da frequência cardíaca analisados por meio de métodos não lineares 28

Tabela 1. Valores médios, seguidos pelos seus respectivos desvios-padrão, valores mínimo e máximo dos dados antropométricos e do teste de esforço máximo dos voluntários analisados.....44

Tabela 2. Valores médios, seguidos pelos seus respectivos desvios-padrão, valores mínimo e máximo das medidas de massa corporal e temperatura corporal nas condições controle e experimental 45

Tabela 3. Valores médios, seguidos dos seus respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% de PAS, PAD e SpO_2 obtidos nos protocolos controle e experimental em repouso e durante o exercício.....48

Tabela 4. Valores médios seguidos dos respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% para os índices de VFC obtidos no domínio do tempo para os protocolos controle e experimental em repouso e exercício.....50

Tabela 5. Valores médios seguidos dos respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% para os índices de VFC obtidos no domínio da frequência para os protocolos controle e experimental em repouso e exercício.....52

Tabela 6. Valores médios seguidos dos respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% dos índices obtidos do *plot* de Poincaré (SD1, SD2 e relação SD1/SD2) dos protocolos controle e experimental em repouso e exercício. 54

Tabela 7. Valores médios seguidos dos respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% para os índices obtidos pelo *plot* de recorrência e DFA dos protocolos controle e experimental em repouso e em exercício.....56

Tabela 8. Valores médios, seguidos dos seus respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% de PAS e PAD obtidos nos protocolos controle e experimental em repouso e durante o período de recuperação.....59

Tabela 9. Valores médios, seguidos dos seus respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% de SpO_2 e f obtidos nos protocolos controle e experimental em repouso e durante o período de recuperação.....60

Tabela 10. Valores médios seguidos dos respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança dos índices de VFC no domínio do tempo dos protocolos controle e experimental nas condições de repouso e recuperação.....62

Tabela 11. Valores médios seguidos dos respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% dos índices de VFC no domínio da frequência dos protocolos controle e experimental na condição de repouso e recuperação.....64

Tabela 12. Valores médios seguidos dos respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% dos índices obtidos do *plot* de Poincaré (SD1, SD2 e relação SD1/SD2) dos protocolos controle e experimental nas condições de repouso e recuperação 66

Tabela 13. Valores médios seguidos dos respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% para os índices obtidos pelo *plot* de recorrência e DFA dos protocolos controle e experimental nas condições de repouso e recuperação.. 68

Lista de abreviaturas e símbolos

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

%	Porcentagem
ACSM	*American College of Sports Medicine*
ANOVA	Análise de variância para medidas repetidas
ApEn	Entropia aproximada
bpm	Batimentos por minuto
CONT	Controle
DC	Débito cardíaco
DET	Determinismo
DF	Domínio da frequência
DFA	Análise de flutuações depurada de tendências (*detrended fluctuation analysis*)
DT	Domínio do tempo
EXP	Experimental
f	Frequência respiratória
FC	Frequência cardíaca
$g.L^{-1}$	Grama por litro
g/dl	Grama por decilitro
g/h	Grama por hora
HF	Alta frequência (*high frequency*)
Hz	Hertz
IMC	Índice de massa corpórea
IPAQ	Questionário internacional de atividade física (*International Physical Activity Questionnaire)*

irpm	Incursão respiratória por minuto
kg	Quilograma
l	Litros
l/h	Litro por hora
LED	Diodo emissor de luz (*light emmiting diode*)
LF	Baixa frequência (*low frequency*)
m	Metro
M	Momento
$mEq.L^{-1}$	Miliequivalente por litro
min	Minuto
ml	Mililitro
mmHg	Milímetro de mercúrio
$mmol.L^{-1}$	Milimol por litro
ms	Milissegundo
NATA	*National Athletic Trainer's Association*
nm	Nanômetro
nu	Unidades normalizadas (*normalized units*)
PAD	Pressão arterial diastólica
PAS	Pressão arterial sistólica
PC	Protocolo controle
PE	Protocolo experimental
pH	Potencial hidrogeniônico
rec	Recuperação
REC	Taxa de recorrência

RMSSD	Raiz quadrada da média dos quadrados das diferenças entre os intervalos RR normais sucessivos
RR	Intervalo entre batimentos cardíacos consecutivos
SD1	Desvio-padrão da variabilidade instantânea batimento a batimento
SD2	Desvio-padrão a longo prazo dos intervalos R-R contínuos
SDNN	Desvio-padrão da média de todos os intervalos RR normais
SNA	Sistema nervoso autônomo
SpO_2	Saturação parcial de oxigênio
ULF	Ultra baixa frequência (*ultra low frequency)*
VE	Volume de ejeção
VFC	Variabilidade da frequência cardíaca
VLF	Muito baixa frequência (*very low frequency*)
VO_2	Consumo de oxigênio
VO_{2pico}	Consumo de oxigênio de pico
vs	Versus
VS	Volume sistólico

Resumo

RESUMO

Introdução: a necessidade de reposição das perdas hídricas decorrentes da atividade física tornou-se estabelecida e difundida em consensos internacionais. Entretanto, permanece pouco compreendida a influência da reposição de fluido quando administrada, igualmente, durante e após o exercício sobre parâmetros cardiorrespiratórios e sobre a modulação autonômica cardíaca. **Objetivo:** analisar os efeitos da reposição hidroeletrolítica na frequência cardíaca (FC), pressão arterial sistólica (PAS), pressão arterial diastólica (PAD), saturação parcial de oxigênio (SpO_2), frequência respiratória (f) e nos índices de variabilidade da frequência cardíaca (VFC) calculados por métodos lineares [SDNN, RMSSD, LF(nu), HF(nu), LF(ms^2), HF(ms^2) e LF/HF] e não lineares (SD1, SD2, SD1/SD2, REC, DET, ApEn, DFA total, alfa-1, alfa-2) de jovens durante e após um exercício físico de longa duração. **Casuística e método:** 31 jovens (21,55 ± 1,89 anos) foram submetidos a três etapas (intervalo de 48 horas): I) Teste de esforço máximo para determinar a carga utilizada nas etapas seguintes; II) Protocolo controle (PC); III) Protocolo experimental (PE). Os protocolos consistiram de 10 min de repouso deitado, 90 min de exercício em esteira ergométrica (60% do VO_{2pico}) e 60 min de repouso deitado. No PC não houve hidratação e no PE houve ingestão de bebida isotônica. Os parâmetros FC, PAS, PAD, SpO_2 e f foram mensurados no final do repouso; nos minutos 30, 60 e 90 do exercício, exceto a f; e nos minutos 1, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 40, 50 e 60 pós-exercício. Os índices de VFC foram analisados nos momentos M1 (5 min finais do repouso), M2 (25º ao 30º min de exercício), M3 (55º ao 60º min de exercício), M4 (85º ao 90º min de exercício), M5 (5º ao 10º min de recuperação), M6 (15º ao 20º min de recuperação), M7 (25º ao 30º min de recuperação), M8 (40º ao

45º min de recuperação) e M9 (55º ao 60º min de recuperação). Foi aplicado o teste *t* de Student ou teste de Mann-Whitney e ANOVA para medidas repetidas ou teste de Friedman seguidos de testes *post hoc*, com $p < 0,05$. **Resultados:** a ingestão de solução hidroeletrolítica proporcionou manutenção da PAS e PAD, e menor incremento da FC durante o exercício, e promoveu retorno mais rápido da FC e conservou PAD, SpO_2, PAS (a partir do 5º min) e f (a partir do 30º min) durante a recuperação. Durante o exercício, independente da hidratação, os índices lineares de VFC revelaram modificação da modulação autonômica cardíaca, com aumento do simpático e redução do parassimpático, e os índices não lineares sugeriram perda do comportamento caótico da FC. Na recuperação, a ingestão de solução induziu modificações significantes na modulação autonômica cardíaca, promovendo recuperação mais rápida dos índices lineares e não lineares de VFC. **Conclusão:** o protocolo de hidratação executado influenciou os parâmetros cardiorrespiratórios de jovens durante e após o exercício físico de longa duração e, em relação à VFC, não foi suficiente para influenciar significantemente seus índices durante o exercício, apesar de ter produzido menores alterações, contudo, promoveu no período pós-exercício recuperação mais rápida dos índices lineares e não lineares.

Palavras-chave: exercício aeróbico, soluções para reidratação, sistema nervoso autônomo, dinâmica não linear, recuperação de função fisiológica.

Abstract

ABSTRACT

Background: the reposition necessity of hydric loss from physical activity became well-known and established in international consensus. However, it is not well established the influence of fluid reposition, especially when administered equally during and after the physical activity, in cardiorespiratory parameters and autonomic cardiac modulation. **Objective:** analyze the effects of hydroelectrolyte reposition in heart rate (HR), systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), partial oxygen saturation (SpO_2), respiratory rate (f) and heart rate variability indexes (HRV) calculated by linear methods [SDNN, RMSSD, LF(nu), HF(nu), LF(ms^2), HF(ms^2) and LF/HF] and nonlinear methods (SD1, SD2, SD1/SD2, REC, DET, ApEn, DFA, alpha-1, alpha-2) in young during and after a long-term exercise. **Methods:** 31 young man (21.55 ± 1.89 years old) were submitted to three interventional steps (interval of 48 hours): I) maximum exercise test, in order to determinate the following steps: II) Control protocol (CP); III) Experimental protocol (EP). The protocols consisted in 10 minutes of rest in lying position, 90 minutes of treadmill exercise (60% of VO_{2peak}) and 60 minutes of resting in lying position. During the CP step there weren't hydration while in the EP stage there was isotonic drink ingestion. The parameters HR, SBP, DBP and SpO_2 were measured at the end of the rest, at 30, 60 and 90 minutes of the activity, except the f parameter, and at 1, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 40, 50 and 60 minutes post-exercise. HRV indexes were analyzed at nine moments: M1 (5 last min of rest), M2 (25th to 30th min of exercise), M3 (55th to 60th min of exercise), M4 (88th to 90th min of exercise), M5 (5th to 10th min of recovery), M6 (15th to 20th min of recovery), M7 (25th to 30th min of recovery), M8 (40th to 45th min de recovery) and M9 (55th to 60th min of recovery). Student t test or Mann-Whitney, and

ANOVA repeated measures or Friedman test followed by post hoc tests, were applied ($p < 0.05$). **Results:** the ingestion of isotonic solution provided SBP and DBP maintenance and less HR increment during the exercise, and promoted a faster return of HR and maintained SpO_2, SBP (from 5th minute) and f (from 30th min) during recovery. During the exercise, independent of hydration, the linear indexes of HRV revealed a modification of cardiac autonomic modulation, as sympathetic increase and parasympathetic reduction; the nonlinear indexes suggested loss of HR's chaotic conduct. During recovery, the liquid ingestion induced significant modifications of autonomic cardiac modulation, promoting a faster recovery of linear and nonlinear HRV indexes. **Conclusion:** the hydration protocol influenced the cardiorespiratory parameters of youngsters after and during long-term exercise, and was not sufficient to affect significantly HRV indexes during exercise; however, promoted a faster recovery of linear and nonlinear indexes during the post-exercise period.

Keywords: aerobic exercise**,** rehydration solutions, autonomic nervous system, nonlinear dynamics, recovery of function.

Introdução

1. INTRODUÇÃO

No decorrer dos últimos 50 anos, a inatividade física teve acréscimo acentuado, em virtude da mecanização do trabalho, da redução das atividades domésticas e do comportamento cotidiano decorrente dos confortos da vida moderna [1]. No Brasil, dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística apontam que 80,8% dos adultos são sedentários [2].

A importância da atividade física como fator não somente preventivo, mas também terapêutico é inegável. A prática regular de exercícios físicos pode produzir mecanismos adaptativos benéficos, os quais, auxiliando no equilíbrio dos processos homeostáticos, podem amenizar ou eliminar efeitos de possíveis distúrbios orgânicos. Entretanto, durante o exercício, os praticantes normalmente ingerem quantidades insuficientes de líquidos para compensar às perdas pela transpiração, o que pode prejudicar o desempenho do exercício e desenvolver distúrbios relacionados ao calor [3,4].

A regulação da temperatura corpórea ocorre pelo equilíbrio dinâmico entre a produção e dissipação do calor corpóreo. A manutenção desse equilíbrio é decorrente da integração de mecanismos, como a transpiração, que alteram a transferência de calor para a periferia, regulam o resfriamento por evaporação e modificam o ritmo de produção do calor corporal [3,5]. Altas taxas de transpiração (0,5 a 2,0 l/h) são necessárias para um bom esfriamento do corpo por evaporação durante o exercício. Entretanto, a excessiva eliminação de água, sais e outros eletrólitos pela sudorese, quando não repostos adequadamente podem levar à desidratação, a qual é responsável pela diminuição da capacidade de realização do

trabalho, redução na tolerância ao calor [3,5] e prejuízo das respostas cardiovasculares e termorreguladoras [6].

Hamilton *et al.* [7], ao avaliarem sujeitos com e sem reidratação a base de água durante o exercício em um cicloergômetro por duas horas, observaram que o volume de ejeção (VE) e o débito cardíaco (DC) diminuíram, respectivamente, 15% e 7%, enquanto que a frequência cardíaca (FC) aumentou 10% quando nenhum fluido foi consumido. Quando água foi provida aos indivíduos o VE se manteve, enquanto que DC e FC aumentaram, respectivamente, 7% e 5%. Nessa mesma intervenção, González-Alonso *et al.* [8], utilizando pó de *gatorade* na produção de fluido reidratante, observaram um aumento no DC (3%), manutenção dos níveis do VE e um aumento da FC em 6% quando hidratados. Em contrapartida, a desidratação provocou diminuição nos valores de DC e VE, respectivamente, 14% e 28%, e incremento de 19% na FC.

Desse modo, manter a hidratação é de extrema importância, já que a perda de líquido corporal frente ao exercício de longa duração, quando não reposta, gera uma maior sobrecarga ao organismo o qual, para manter o DC e o VE, promove relevantes incrementos na FC. Portanto, a adequada ingestão de líquido na proporção direta à perda de suor ou perto dela associa-se a benefícios significativos nas respostas cardiovasculares e termorreguladoras [5,6].

Segundo Silami-Garcia *et al.* [9], as vantagens da ingestão de líquido durante as atividades físicas realizadas em ambientes quentes tornam-se ainda mais acentuadas quando carboidrato e eletrólitos são a ele adicionados, evidenciando que tanto os primeiros quanto os últimos trariam benefícios adicionais para a capacidade de desempenho, aumentando a disponibilidade energética, e auxiliando no balanço hidroeletrolítico e na regulação da temperatura.

Apesar dos trabalhos descritos avaliarem os efeitos do grau de hidratação sobre o sistema cardiovascular, pouco se aborda em relação à influência do mesmo sobre o sistema nervoso autônomo (SNA). No único estudo em que se avaliou a modulação autonômica cardíaca quando a hipoidratação era induzida pelo exercício físico sugeriu-se que, quando o organismo encontra-se hipoidratado há uma inabilidade de alcançar a estabilidade autonômica cardíaca, sendo essas variações não encontradas quando uma boa hidratação é realizada [10].

A avaliação do SNA torna-se fundamental pelo significante papel que o mesmo desempenha sobre os mecanismos regulatórios fisiológicos e fisiopatológicos cardíacos quando a homeostasia é alterada, atuando na preservação das condições necessárias para que o indivíduo exerça, adequadamente, sua interação com o meio ambiente circundante [11,12].

Uma promissora ferramenta atualmente empregada no que se refere ao estudo da modulação autonômica cardíaca é a variabilidade da frequência cardíaca (VFC). Esse instrumento permite uma avaliação não invasiva e seletiva da função autonômica, sendo determinada por meio da análise das séries temporais dos intervalos RR (intervalo entre batimentos cardíacos consecutivos) que são obtidas do sinal eletrocardiográfico, cujas variações fornecem informações sobre o SNA e seu controle sobre o coração [13,14]. Métodos lineares, analisados tanto no domínio da frequência (DF) quanto no domínio do tempo (DT), e não-lineares podem ser utilizados para avaliação da VFC [15-17].

O estudo da VFC baseado no DF é realizado por meio de análise espectral que envolve a decomposição de séries de intervalos RR consecutivos em uma soma de funções sinusoidais de diferentes amplitudes e frequências. As bandas de frequência obtidas por meio dessa análise são divididas em quatro grupos sendo as

de alta frequência (*high frequency* - HF), sincronizada com a respiração e mediada pela atividade vagal, e a de baixa frequência (*low frequency* - LF), compreendida como a atividade simpática juntamente com intervenções do parassimpático, as mais utilizadas para estudo da VFC [18,19].

Para a análise da VFC no DT, assim denominada por expressar os resultados em unidade de tempo (milissegundos), mede-se cada intervalo RR normal (batimentos sinusais) durante determinado intervalo de tempo e, a partir daí, com base em métodos estatísticos ou geométricos, calculam-se os índices tradutores de flutuações na duração dos ciclos cardíacos (por exemplo, média, desvio padrão e índices derivados do histograma ou do mapa de coordenadas cartesianas dos intervalos RR) [20].

Os métodos lineares, apesar de rotineiramente utilizados no estudo da VFC, não são tão sensíveis para quantificar o complexo da dinâmica da FC quanto os métodos não-lineares. A utilização desses no estudo da VFC vem auxiliando na compreensão da natureza de sistemas dinâmicos complexos que ocorrem no corpo humano tanto na saúde quanto na doença [21]. Esses métodos descrevem as flutuações complexas do ritmo e conseguem separar estruturas de comportamento não-linear nas séries temporais de batimentos cardíacos mais adequadamente do que os métodos lineares [22], permitindo uma melhor discriminação entre uma pessoa com fisiologia normal ou alterada [23].

Esses métodos baseiam-se na teoria do caos, ou seja, fenômenos altamente irregulares, mas não ao acaso [20], predominantes nos sistemas humanos, em razão de sua natureza dinâmica complexa. A teoria do caos descreve elementos manifestando comportamentos que são extremamente sensíveis às condições iniciais, dificilmente se repetem, mas apesar de tudo são determinísticos [23].

Embora conhecidas as alterações que a hidratação proporciona ao sistema cardiovascular durante o exercício, são escassos estudos que avaliam a sua influência sobre o SNA e desconhecidos trabalhos que avaliam essa influência quando bebida isotônica é administrada igualmente durante e após exercício físico prolongado.

Elucidar os efeitos que a hidratação pode promover, não só ao sistema cardiorrespiratório, como também à modulação autonômica cardíaca, faz-se relevante para a prática clínica já que, alterações fisiológicas decorrentes da desidratação promovida pelo exercício físico podem aumentar a possibilidade de intercorrências clínicas durante a sua execução. Diante disso, conhecer a influência de protocolos de hidratação sobre a modulação autonômica cardíaca e as respostas do sistema cardiorrespiratório em condições de exercício e recuperação pode auxiliar no controle de indivíduos submetidos ao exercício físico.

Assim, o objetivo deste trabalho é investigar as possíveis alterações dos parâmetros cardiorrespiratórios FC, pressão arterial sistólica (PAS), pressão arterial diastólica (PAD), frequência respiratória (f), saturação parcial de oxigênio (SpO_2) e dos índices de VFC, calculados por métodos lineares [domínio do tempo (SDNN e RMSSD) e da frequência (LF, HF, LF/HF)] e não lineares (DFA, *plot* de Poincaré e *plot* de recorrência) de jovens adultos saudáveis durante e após um exercício físico de longa duração com e sem ingestão de bebida isotônica.

Revisão da literatura

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Fisiologia da termorregulação em ambientes quentes

A manutenção da temperatura corpórea a valores aproximadamente constantes, mesmo diante as variações na temperatura do ar ambiente, é fundamental para a conservação das funções metabólicas do organismo humano. O equilíbrio entre a produção e a dissipação de calor é sustentado pela integração de mecanismos que alteram a transferência de calor para a periferia, regulam o resfriamento por evaporação e modificam o ritmo de produção de calor corporal [24,25].

O processo de termorregulação é semelhante a muitos outros sistemas de controle fisiológico, onde o cérebro trabalha por meio de mecanismos de *feedback* negativo, para minimizar as variações, partindo de valores prefixados ou normais [26,27].

A percepção térmica aferente, a regulação central e a resposta eferente compõem os três estágios em que a informação termorreguladora é processada. Inicialmente, células termossensíveis distribuídas ao longo do corpo obtêm informações de temperatura, sendo os receptores de frio despolarizados com as diminuições de temperatura, e, ao contrário, os receptores de calor quando há aumento de temperatura [26,27].

A regulação central da temperatura é controlada principalmente pelo hipotálamo, o qual compara estímulos térmicos oriundos de seus aferentes e promove uma integração com os limiares de temperatura para cada resposta termorregulatória. A porção anterior do hipotálamo é responsável por integrar as

informações aferentes térmicas, enquanto que a porção posterior reúne as respostas efetoras [27,28].

Em condições sob elevadas temperaturas, a primeira defesa autonômica observada é a vasodilatação cutânea [27]. Durante o exercício físico, por exemplo, a produção de calor aumenta de 5 a 20 vezes comparada ao repouso e, portanto, para que as funções metabólicas do organismo sejam mantidas, há necessidade de conduzir esse calor para a periferia [29]. O sistema cardiovascular, em especial, auxilia nesse processo promovendo vasodilatação periférica, aumento de FC e de volume sistólico (VS). Como resultado, há aumento do fluxo sanguíneo cutâneo que facilitará a transferência do calor central para a pele [27,29,30].

A participação desse sistema no processo de dissipação do calor é fundamental, visto que o mesmo se multiplica em fornecer oxigênio arterial aos músculos ativos ao mesmo tempo em que transfere o calor central, produzido pelo exercício físico, para a periferia. Ao compensar a redistribuição do fluxo sanguíneo entre a aumentada vasodilatação periférica e os músculos em atividade, observa-se uma redução da perfusão aos órgãos internos. Nesse curso, o aumento da FC torna-se, portanto, inevitável [30,31].

Adicionalmente, nessa condição, a evaporação pela sudorese torna-se o mecanismo predominante de perda de calor, removendo cerca de dez vezes mais calor corporal do que é produzido em condições basais, em virtude do elevado calor latente de evaporação da água. A sudorese, mediada por inervação colinérgica pós-ganglionar nas terminações glandulares, é considerada a mais importante defesa autonômica [27,28].

O suor, considerado um ultrafiltrado do plasma, possui água como principal componente, porém encontram-se também eletrólitos como sódio, potássio, cálcio,

magnésio e cloreto, que variam consideravelmente sua concentração, sendo fortemente influenciada pela taxa de transpiração, pelo estado de treinamento e aclimatação ao calor [32]. O quadro 1 mostra os valores médios de perda de eletrólitos presentes no suor.

Quadro 1. Valores médios de perda de eletrólitos presente no suor.

Eletrólitos	Taxa de perda no suor (média) – $mEq.L^{-1}$	Variabilidade da perda no suor – $mEq.L^{-1}$
Sódio	35	10 – 70
Potássio	5	3 – 15
Cálcio	1	0,3 – 2
Magnésio	0.8	0,2 – 1,5
Cloreto	30	5 - 60

Fonte: Adaptado do *American College of Sports Medicine* (*ACSM - Position Stand)* [32].

Uma alta taxa de sudorese acompanhada da excreção desses minerais pode ocasionar distúrbios hidroeletrolíticos e, consequentemente, prejuízos ao bom funcionamento do organismo, uma vez que o VS tende a diminuir provavelmente como resultado da diminuição do volume plasmático e do aumento da FC. Se fluido suficiente não for consumido para compensar as perdas promovidas pela sudorese, uma progressiva desidratação se desencadeará [30,33-35].

2.2. Mecanismos fisiológicos da desidratação e alteração hidroeletrolítica

O termo desidratação é definido como a contração do volume extracelular secundária às perdas hidroeletrolíticas, cuja gravidade irá depender da magnitude do déficit em relação às reservas corpóreas e da relação entre o déficit de água e de eletrólitos, principalmente o sódio. O agente causador do déficit hídrico induz a três

tipos característicos de desidratação, que se diferenciam entre si pela relação da água e das substâncias nela dissolvidas [36-38].

Quando a perda de eletrólitos excede a perda de água, denomina-se desidratação hipotônica. A consequente hipotonicidade do líquido extracelular gera um gradiente osmótico com consequente movimento de água do espaço extracelular para o espaço intracelular, o que agrava o déficit extracelular [37].

Diz-se desidratação isotônica quando água e eletrólitos são perdidos na proporção em que se encontram no fluido extracelular, não havendo, portanto, gradiente osmótico entre os compartimentos intra e extracelular [37].

A desidratação hipertônica é assim nomeada quando a perda de água excede a perda de eletrólitos, havendo, nesse caso, gradiente osmótico, sendo que a maior tonicidade do meio extracelular leva à desidratação celular com graves sintomas secundários, principalmente ao comprometimento do sistema nervoso central [37].

O balanço hídrico e de eletrólitos é fundamental para a função de todos os órgãos e, de fato, para manter a saúde em geral. A água proporciona o meio de reações bioquímicas no tecido celular e é essencial para a manutenção do volume adequado de sangue e, portanto, da integridade do sistema cardiovascular. A habilidade do corpo em redistribuir a água dentro de seus compartimentos, fornece um reservatório de fluido para minimizar os efeitos do déficit hídrico. Cada compartimento de água corporal contém eletrólitos, sendo a sua concentração e composição importantes para o movimento de fluidos entre os compartimentos intra e extracelular, e para a manutenção dos potenciais eletroquímicos da membrana [39,40].

O processo de déficit hídrico está intimamente associado à prática de atividades físicas, e nesse caso, a desidratação hipertônica é observada. Quando da

perda hídrica pela sudorese, perde-se água principalmente do espaço extracelular e o equilíbrio osmótico é afetado. Visando o seu restabelecimento, a água desloca-se do meio intra para o meio extracelular por meio do mecanismo de regulação osmótica. Dessa forma, um processo de desidratação contínuo durante o exercício físico conferirá uma progressiva redução do conteúdo hídrico em ambos os compartimentos [38,39].

A hipoidratação induzida pela sudorese promoverá redução do volume plasmático e aumento da pressão osmótica do plasma em proporção à quantidade de perda de fluido. O volume plasmático diminui em razão do plasma fornecer o líquido precursor do suor. Sendo o mesmo hipotônico em relação ao plasma observa-se também o aumento da pressão osmótica. O sódio e o cloreto são os principais responsáveis pela osmolalidade plasmática elevada, auxiliando na mobilização do fluido do espaço intracelular para o extracelular como mecanismo de defesa em pessoas hipoidratadas [32,35,40,41].

A desidratação está frequentemente associada à diminuição da tolerância ortostática e ao aumento da incidência de tontura e síncopes. Verifica-se, como resultado, um aumento da ativação simpática e da sensibilidade do controle barorreflexo, e uma diminuição da pressão venosa central, proporcionados, provavelmente, pela hiperosmolaridade plasmática e diminuição do volume intravascular [35,42-44].

Uma hipoidratação de 2% a 3% da massa corporal pode comprometer o desempenho do exercício, a dissipação de calor e a função cardiovascular [32,36,45,46]. O aumento da viscosidade e a diminuição do volume de sangue que retorna ao coração diminuem a pressão de enchimento ventricular, e por sua vez, o VS. Como resposta a essas mudanças, a FC aumenta para o seu limite, no entanto, o DC

começa a diminuir, prejudicando as funções cutâneas e musculares. O resultado final é uma redução da capacidade de dissipação do calor e, consequentemente, a produção de calor excede a sua perda. O excesso de calor em combinação com a diminuição da perfusão muscular limita o desempenho do exercício e provoca tensão térmica [32,34,36,41].

Para cada 1% de perda de massa corporal devido à desidratação, a FC aumenta 5 a 8 vezes por minuto e o DC diminui significantemente, enquanto a temperatura interna aumenta 0,2 a 0,3 ºC [47]. Conforme estudo de Gonzalez-Alonso *et al.* [31], uma progressiva desidratação até 4% de perda de massa corporal em resultado do exercício moderado sob calor conduz a uma gradual redução do fluxo sanguíneo sistêmico, muscular e periférico, aumento da temperatura interna e muscular, maior dependência do glicogênio muscular como fonte energética, aumento do metabolismo celular e uma tendência para a diminuição do consumo de oxigênio muscular quando da instalação da fadiga.

O processo de desidratação ocorrerá, portanto, quando a perda de líquido não for compensada com a ingestão de fluidos, o que, consequentemente, levará a uma deterioração da regulação da temperatura, do rendimento e possivelmente da saúde. A importância de assegurar a ingestão adequada de líquidos antes, durante e após o exercício, tanto quanto o equilíbrio eletrolítico, pode garantir o desempenho e reduzir os riscos de problemas associados ao calor [48,49].

2.3. Recomendações de hidratação antes, durante e após o exercício físico

A reposição de fluidos, além de proporcionar o bom funcionamento dos processos homeostáticos exigidos pelo exercício físico, é uma importante estratégia

para preservação do desempenho no exercício aeróbio, uma vez que 2% de massa corporal perdida em decorrência da desidratação levam ao seu prejuízo [50].

Objetivando minimizar os efeitos negativos das perdas hídricas sobre as respostas fisiológicas ao exercício físico, algumas recomendações sobre a quantidade e a composição dos líquidos que devem ser ingeridos antes, durante e após o exercício são mencionadas a seguir.

A reposição de líquidos antes do exercício tem por objetivo prover substrato como fonte energética e anular os efeitos negativos da desidratação, já que se exercitar num estado hipoidratado aumenta rapidamente a temperatura corporal e pode provocar lesões térmicas [51].

A pré-hidratação irá garantir o déficit de eletrólito antes de iniciar o exercício. A fim de permitir a absorção de fluidos e a eliminação de urina para retorno aos níveis normais, deve-se iniciar a hidratação pelo menos algumas horas antes da atividade. Consumir bebidas a base de sódio pode ajudar a estimular a sede e reter os líquidos necessários [32].

Johannsen *et al.* [52], objetivando estudar o efeito da ingestão pré-exercício do sódio no equilíbrio de fluidos durante o exercício em homens e mulheres, submeteram 20 jovens saudáveis a 90 minutos de exercício (58 ± 4% do VO_{2pico}), 45 minutos após terem consumido sopa de galinha *noodle* (167mmol.L^{-1} de sódio), ou bebida contendo carboidratos e eletrólitos (16 mmol.L^{-1} de sódio) ou água. Após os 90 minutos de exercício, foram submetidos a uma tarefa de desempenho físico por 30 minutos a 60% do VO_{2pico}. Durante todo o procedimento foi permitido o consumo de água. Em virtude da maior concentração de sódio, os autores observaram que a sopa ingerida antes do exercício melhorou o equilíbrio de líquidos devido ao aumento do consumo de água e reduziu a perda de água proporcional pela urina,

justificando esses achados ao aumento da pressão osmótica do plasma, antes e durante o exercício, ocasionado pelo consumo da refeição.

Sims *et al.* [53] também conduziram um estudo para determinar se a ingestão pré-exercício de sódio em diferentes concentrações (164 $mmol.L^{-1}$ e 10 $mmol.L^{-1}$) traria benefícios térmicos e cardiovasculares a oito corredores submetidos ao exercício (70% VO_2 máximo) até a exaustão em condições de temperatura elevada. Eles observaram que a ingestão, antes do exercício, de bebida contendo altas concentrações de sódio resultou em menor temperatura central, menor percepção subjetiva do esforço, uma tendência a menor resposta de FC e aumento da capacidade de realização do exercício em condições de calor.

Segundo o ACSM [54], durante as 24 horas que precedem o evento, deve-se consumir uma dieta balanceada e ingerir quantidades adequadas de fluidos. Além disso, horas antes da atividade física, para permitir a ingestão de volume suficiente de líquido e caso haja, a eliminação do excesso pela urina, a recomendação do ACSM [54] e da *National Athletic Trainer's Association* (NATA) [55] é ingerir de 500 a 600 ml de fluidos duas ou três horas antes do início exercício.

No que se refere à ingestão de fluidos durante o exercício, deve-se considerar que o volume, a taxa de ingestão e a composição dos líquidos são dependentes da taxa de sudorese individual, da duração e da intensidade do exercício [56].

Montain e Coyle [57] evidenciaram que a importância de manter o organismo plenamente hidratado se reflete nas respostas cardiovasculares, termorreguladoras e de desempenho, que são otimizadas quando ocorre a reposição de 80% da sudorese ocorrida durante o exercício. Esses autores, após submeterem oito ciclistas a duas horas de exercício em ambiente quente com a ingestão de diferentes volumes de líquidos (*gatorade*) baseado na perda pelo suor, observaram que o

consumo de grandes volumes de líquidos está associado ao maior DC, aumento no fluxo sanguíneo periférico, diminuição da temperatura interna e diminuição na percepção subjetiva do esforço.

Uma boa opção de reidratação é a água, já que ela é facilmente disponível, de baixo custo e ocasiona esvaziamento gástrico relativamente rápido. No entanto, para as atividades intermitentes, com mais de uma hora de duração, ou para aquelas com menor duração e intensidade elevada, as desvantagens de sua composição e insipidez favorecem a desidratação voluntária e dificultam o equilíbrio hidroeletrolítico [58].

No entanto, Ali *et al.* [59], ao avaliarem a influência da hidratação com água durante 90 minutos de uma simulação de jogo de futebol em 10 mulheres, observaram valores menores na temperatura central, concentração de lactato sanguíneo, percepção subjetiva do esforço, FC e massa corporal perdida quando nenhum líquido era consumido. No entanto, não foram encontradas alterações na performance dos indivíduos durante o exercício.

No que se refere ao nível de hidratação, Prado *et al.* [49], ao submeteram oito nadadores após sessões de treinamento com formas distintas de reposição hídrica (sem ingestão, com ingestão de água e com ingestão de bebida esportiva) concluíram que apesar da ingestão de água promover um adequado estado de hidratação, a bebida esportiva parece oferecer uma melhor reposição hídrica.

Em exercícios prolongados, que ultrapassam uma hora de duração, recomenda-se beber líquidos contendo de 0,5 a 0,7g.L^{-1} (20 a 30 mEq·L^{-1}) de sódio, que corresponde a concentração similar ou mesmo inferior àquela do suor de um indivíduo adulto; 2 a 5 mEq.L^{-1} de potássio e 5 a 10% de concentração de diferentes tipos de carboidratos [32,56,58].

Baseando-se no pressuposto de que a reposição de sódio durante o exercício prolongado no calor pode ser importante para a manutenção do equilíbrio hidroeletrolítico e da contratilidade muscular, Anastasiou *et al.* [60] submeteram 13 homens ativos a quatro ensaios de um protocolo de exercício (4 horas de duração entre ciclismo, caminhada, exercícios de flexão plantar e caminhada com inclinação) sob temperatura elevada e ingeriram aleatoriamente em cada ensaio bebidas contendo alta concentração carboidratos e eletrólitos (36,2 $mmol.L^{-1}$; 6% de carboidrato; 9,6 $mmol.L^{-1}$ de potássio), baixa concentração de carboidratos e eletrólitos (19,9 $mmol.L^{-1}$; 6% de carboidrato; 3,2 $mmol.L^{-1}$ de potássio), água mineral e água destilada aromatizada. A quantidade de fluido consumida durante o exercício foi semelhante à perda de massa corporal. Os autores constataram que as bebidas contendo carboidratos e eletrólitos, independente de suas concentrações, mantiveram os níveis séricos de sódio relativamente constantes, assim como a osmolalidade e o volume plasmáticos, sugerindo que a ingestão de sódio durante o exercício prolongado no calor desempenha um papel importante na prevenção de perdas de sódio, que pode levar à hiponatremia, quando a ingestão de líquidos corresponde às perdas pelo suor [60].

A ingestão de carboidratos durante atividades prolongadas, acima de uma hora, melhora o desempenho e pode retardar a fadiga nas modalidades esportivas que envolvem exercícios intermitentes e de alta intensidade. A reposição necessária de carboidratos para obtenção desses efeitos é de 30 a 60 g/h, com concentração de 4 a 8 g/dl. Mesmo com uso combinado de diversos carboidratos, sua ingestão não deve exceder 80 g/h [32,58].

A necessidade de reposição ao máximo das perdas hídricas tornou-se estabelecida e difundida nos consensos internacionais, sendo que quanto mais a

ingestão de líquidos (água e/ou bebidas esportivas) se aproximar da sudorese, menores serão os efeitos da desidratação sobre as funções fisiológicas e sobre o desempenho esportivo [61]. Algumas das principais recomendações do ACSM [54] em relação à reposição líquida durante o exercício estão listadas abaixo:

- Deve-se começar a consumir fluidos logo e em intervalos regulares no intuito de ingeri-los em uma frequência que possa repor a água perdida por meio da sudorese;
- Recomenda-se a ingestão de fluidos com temperatura inferior a ambiente (entre 15 ºC a 22 ºC);
- É indicada a adição de quantidades adequadas de carboidratos e eletrólitos para eventos com duração maior que uma hora, já que não prejudica a distribuição de água pelo organismo e melhora o desempenho;
- A inclusão de 0,5 a 0,7 gramas de sódio por litro de solução reidratante para ser ingerida em esportes com duração superior a uma hora é recomendável;
- Em exercícios constantes com duração superior a uma hora, é recomendável que a ingestão de carboidratos ocorra numa frequência de 30 a 60 g/h, para manter o sistema oxidativo metabólico e assim retardar a fadiga.

Na condição pós-exercício, a hidratação tem a finalidade de repor totalmente as perdas de líquidos e eletrólitos. A recuperação, um processo importante para garantir a saúde e a performance em um curto intervalo entre os eventos, promove o retorno à normalidade das funções fisiológicas, desaparecimento dos sintomas fisiológicos associados à fadiga (irritabilidade, falta de concentração, desorientação) e rearmazenamento de fluidos e reservas energéticas [32,62].

Charkoudian *et al.* [63] examinaram a influência da hipoidratação no controle cardiovascular após 90 minutos de exercício em cicloergômetro (55% VO_{2pico}) e

observaram que quando os indivíduos eram hipoidratados (perda de 1,6% da massa corporal), a FC de repouso pós-exercício era maior em comparação aos euidratados.

Adicionalmente, no período pós-exercício, deve-se aproveitar para ingerir carboidratos, em média de 50 gramas de glicose, nas primeiras duas horas após o exercício para que se promova a ressíntese do glicogênio muscular e o rápido armazenamento de glicogênio muscular e hepático [58].

Evans *et al.* [64], após submeterem seis sujeitos saudáveis a ingestão de três diferentes soluções contendo 0%, 2% ou glicose 10% com adição de sódio e aromatizante, após 60 minutos de exercício em cicloergômetro, evidenciaram que a solução contendo glicose em maior concentração foi mais eficaz na manutenção do estado de hidratação e sugerem que o teor de carboidratos e a pressão osmótica das soluções ingeridas são considerações importantes no período pós-exercício.

O benefício da adição de eletrólitos e carboidratos nas bebidas reidratantes foi estudado por Shirreffs *et al.* [65] ao submeter oito sujeitos a um protocolo intermitente objetivando a perda de 2% da massa corporal. Durante a primeira hora pós-exercício foram ingeridas uma das bebidas: *gatorade* (composto de carboidratos e eletrólitos), solução de suco de maçã com água carbonatada e água mineral (das marcas *Evian* ou *San Benedetto*), equivalente a 150% da massa corporal perdida. Após quatro horas, observou-se que os sujeitos que ingeriram *gatorade* estavam com o mesmo nível inicial de hidratação, enquanto que os demais ainda encontravam-se desidratados.

A função cardiovascular sofre também influência da hidratação nesse período. Costill e Sparks [66], ao investigarem a reidratação pós-exercício, o qual resultou em 4% de perda da massa corporal, observaram que a FC se normalizou apenas

quando 62% do líquido perdido foram substituídos. Mitchell *et al.* [67] também constataram que a função cardiovascular foi restabelecida com a reidratação, apesar do fluido e do volume plasmático não serem completamente restaurados.

Entretanto, no que se refere ao nível de hidratação, Shirreffs *et al.* [68] examinaram 12 homens que desidrataram 2% repondo 50%, 100%, 150%, 200% das perdas de suor. Para investigar a interação entre o volume e a concentração de sódio, os sujeitos consumiram bebidas contendo baixa (23 $mmol.L^{-1}$) e alta (61 $mmol.L^{-1}$) concentração desse eletrólito. Os indivíduos não alcançaram o estado de hidratação pleno quando consumiram um volume igual ou inferior às suas perdas, independente da quantidade de sódio da bebida. Quando o volume ingerido foi 150% das perdas, os indivíduos atingiram um bom estado de hidratação.

2.4. Influência do exercício e do estado de hidratação na modulação autonômica cardíaca

A influência do SNA sobre o funcionamento dos diversos órgãos, aparelhos e sistemas que compõem o organismo humano é essencial para a preservação das condições do equilíbrio fisiológico interno, permitindo que o mesmo exerça, adequadamente, sua interação com o meio ambiente circundante [12,69].

O exercício físico bem como as alterações no volume e na osmolaridade plasmáticos, desencadeados pela desidratação, atuam como agentes estressores, retirando o organismo de sua condição de homeostase, e induzem a uma reorganização das respostas funcionais dos diversos sistemas orgânicos, em especial, do SNA, o qual desencadeia respostas orgânicas automáticas e involuntárias objetivando reverter o processo em andamento e restabelecer o equilíbrio funcional [12,63,69].

Em condições normais, a atividade parassimpática, em geral, prevalece durante o repouso, sendo progressivamente inibida com o aumento gradual do exercício e consequente quebra do equilíbrio fisiológico. Nessa nova condição, a atividade simpática passa a predominar a fim de suprir a elevada demanda metabólica que ocorre durante o exercício físico [70,71].

No decurso do exercício e da recuperação, assim como na transição de um estado ao outro, o SNA atua na regulação da homeostase corporal, incluindo as funções cardiovasculares [72]. Especificamente, o encerramento do exercício gera um aumento da atividade vagal, com redução simultânea da atividade simpática, que, juntamente com mudanças rápidas na pré-carga, pós-carga e na contratilidade do coração, induz a alterações na função cardíaca. Concomitantemente, a perda do comando central e a ativação do barorreflexo arterial promovem redução da FC em direção ao seu nível pré-exercício [72,73].

No que se refere à modulação autonômica, foi observada, durante o exercício, redução do índice HF, que reflete a atuação vagal, seguida de um aumento gradual do mesmo durante os primeiros minutos da recuperação [74-77]. Alguns autores relatam ainda que o aumento da atividade vagal é responsável pela redução da FC durante o primeiro minuto da recuperação, sendo que a redução adicional desse parâmetro se dá pela associação de ambos os sistemas, simpático e parassimpático [78].

Além disso, tem-se observado influência da intensidade do exercício na modulação autonômica, durante e após o mesmo. O aumento da FC observado durante o exercício físico de baixa intensidade resulta da retirada vagal, enquanto que no exercício de intensidades moderada e alta, resulta da ação de ambos, tanto da retirada vagal quanto do aumento da atividade simpática [72]. Já no período pós-

exercício, observa-se uma recuperação mais lenta da VFC após a execução de exercício de intensidade moderada a alta quando comparada ao exercício de intensidade baixa a moderada [72,76,77,79,80].

As alterações decorrentes da execução do exercício físico são acentuadas quando o mesmo é realizado sob condições de calor e umidade elevada. Nessa situação, a produção de calor aumenta cerca de 20 vezes comparada ao repouso, e a necessidade de conduzir esse calor para a periferia torna a sudorese o mecanismo predominante de perda de calor [27,30,32]. No entanto, a excessiva eliminação de água, sais e outros eletrólitos por esse mecanismo, quando não repostos adequadamente, podem levar à desidratação que é responsável por diversos prejuízos, dentre eles cardiovasculares e termorreguladores [30,33-35].

Foi evidenciada redução do VE (de 15 a 28%) e do DC (de 7% a 14%), e aumento da FC (de 10% a 19%) quando indivíduos executavam duas horas de exercício sem o consumo de fluido [7,8]. Quando água era provida, o VE não se alterava, enquanto que o DC e a FC aumentavam, respectivamente, 7% e 5% [7]. Quando outro tipo de fluido era provido (*gatorade*), o VE também não se alterava, enquanto que o DC e a FC aumentavam, respectivamente, 3% e 6% [8].

Indivíduos quando hipoidratados podem apresentar alteração do metabolismo muscular, redução da sensibilidade dos barorreceptores [63], dificuldade na manutenção da pressão arterial [81], aumento dos níveis de catecolaminas circulantes e maior hipertermia [82], condições que podem influenciar o controle autonômico da FC [10,83].

A hipoidratação está associada ao aumento da sobrecarga cardiovascular e em condições muito graves, à arritmia cardíaca e infarto. Devido à hipertermia, observa-se redução do volume plasmático e redistribuição do sangue para pele.

Adicionalmente, a hipertermia gerada pelo exercício e pela hipoidratação tem sido associada à diminuição da modulação cardíaca vagal [10]. Ainda, a hiperosmolaridade plasmática ocasionada pela desidratação foi referida como provável causador do aumento da atividade simpática em pessoas desidratadas [42]. Dessa forma, o estado de hidratação e a temperatura corporal do indivíduo podem alterar o grau do controle autonômico da FC, principalmente durante a recuperação do exercício [10].

Charkoudian *et al.* [63] examinaram a influência da hipoidratação no controle cardiovascular após 90 minutos de exercício no calor. Treze indivíduos foram submetidos a infusões de nitroprussiato (doador exógeno de óxido nítrico) e fenilefrina (agonista alfa-adrenérgico) para avaliar a resposta dos barorreceptores. Quando os indivíduos foram hipoidratados (1,6% de perda da massa corporal), a sensibilidade dos barorreceptores cardíacos diminuiu em comparação aos euidratados. Além disso, a restauração do volume plasmático por meio da infusão de solução salina não reparou imediatamente essas respostas fisiológicas após o exercício no calor.

A influência da hipoidratação e o efeito combinado do estado de hidratação e a realização de exercício no calor sobre o SNA foi, até o presente momento, estudado por Carter *et al.* [10]. Nesse estudo, cinco sujeitos nas condições euidratado e desidratado (4% de perda da massa corporal) foram estudados em repouso (45 minutos sentados em repouso inicial), exercício (90 minutos de exercício em cicloergômetro com intensidade equivalente a 60% do VO_{2pico}) e recuperação (45 minutos em repouso pós-exercício). Os autores observaram que a hipoidratação reduziu os índices espectrais da VFC [LF, VLF (muito baixa frequência - *very low frequency*) e a relação LF/HF] enquanto, que o índice HF foi significantemente

maior. Apesar dessa condição ter influenciado positivamente a resposta vagal (HF), a redução global da VFC e o abrandamento das oscilações bruscas em LF e HF observadas após o exercício sugerem efeito deletério global do estado de desidratação sobre a estabilidade autonômica cardíaca.

2.5. Variabilidade da frequência cardíaca

O coração, considerado o órgão central na manutenção da homeostase, não é um metrônomo e seus batimentos não possuem a regularidade de um relógio, de tal modo que alterações periódicas e não periódicas da FC, definida como VFC, são normais, esperadas e revelam a habilidade do coração em responder a diferentes estímulos fisiológicos e ambientais, tais como exercícios, alterações hemodinâmicas e metabólicas, manobras respiratórias, estresse físico e mental, sono, ortostatismo e altitude, bem como em compensar desordens patológicas [20,84,85].

A VFC, uma ferramenta investigativa simples e não-invasiva, descreve as oscilações do intervalo entre batimentos cardíacos consecutivos (intervalos RR), assim como as oscilações entre frequências cardíacas instantâneas consecutivas, que estão relacionadas às influências do SNA, a partir da interação dos seus ramos simpático e parassimpático, sobre o ritmo cardíaco [14,85].

Historicamente, o interesse clínico pela VFC surgiu em 1965 quando Hon e Lee demonstraram uma aplicação clínica bem definida da VFC na área de monitorização do sofrimento fetal. Em 1977, Wolf e colaboradores mostraram associação entre VFC deprimida e maior risco de mortalidade após infarto agudo do miocárdio e em 1987 Kleiger e colaboradores confirmaram que a VFC era um potente e independente preditor de mortalidade após infarto agudo do miocárdio [85,86].

A estimulação simpática promove um aumento da FC, implicando em intervalos mais curtos entre os batimentos e, por conseguinte uma baixa VFC. Distintamente, o ramo parassimpático, por meio do nervo vago, desacelera o ritmo cardíaco, resultando em intervalos RR mais longos e, portanto, uma alta VFC. Uma redução do tônus vagal cardíaco e, consequentemente, da VFC, está associada à disfunção autonômica cardíaca, doenças crônico-degenerativas, arritmias letais, eventos cardíacos isquêmicos em indivíduos normais, e representa, dessa forma, um importante indicador do estado de saúde e fator prognóstico e influenciador independente da morbi-mortalidade cardiovascular [14,20,87,88].

Frente ao conceito de que a FC está sujeita a variações a todo o momento, entende-se que essas flutuações estão diretamente ligadas a vários fatores que podem alterar a dinâmica cardiovascular tais como, regulação térmica, idade, sexo, atividade barorreceptora e exercício físico, e que refletem a atividade autonômica sobre o coração [20,88-92].

Dentre os fatores supracitados, destaca-se a influência do exercício físico sobre a modulação autonômica. As modificações observadas no ritmo e na contratilidade cardíaca durante a sua execução decorrem do aumento da demanda energética imposta pela musculatura ativa. Verifica-se, nessa situação, uma inibição da atuação vagal sobre o coração com o concomitante aumento da atividade autonômica simpática, promovendo um incremento da FC [87,93,94]. A inibição vagal, em cada nível de exercício dinâmico, completa-se ao redor do primeiro minuto, sendo que o tônus vagal residual é inversamente proporcional à potência de esforço aplicada [95].

A metodologia utilizada para análise da VFC é baseada em métodos lineares, analisados no domínio do tempo e da frequência, e em métodos não lineares [96].

Dentre os métodos lineares, as medidas no DT são obtidas por meio de cálculos estatísticos, aritméticos ou geométricos, desprezando-se os artefatos e as ectopias, de registros contínuos do eletrocardiograma que determina a dispersão da duração dos intervalos RR normais, expressos em milissegundos, resultantes da despolarização do nodo sinusal [20,88,97].

Os índices analisados por meio de métodos estatísticos podem ser distinguidos em duas categorias: índices baseados na medida dos intervalos RR individuais (como por exemplo, SDNN), que refletem a atividade parassimpática e simpática caracterizando a variabilidade global; e índices baseados na diferença entre dois intervalos RR adjacentes (como por exemplo, RMSSD), nos quais demonstram o predomínio vagal [20]. As definições desses índices podem ser visualizadas no quadro 2 [20].

Quadro 2. Definições dos índices de variabilidade da frequência cardíaca analisados no domínio do tempo.

ÍNDICES	DEFINIÇÕES
SDNN	Desvio-padrão da média de todos os intervalos RR normais, expresso em milissegundos.
RMSSD	Raiz quadrada da média do quadrado das diferenças entre intervalos RR normais adjacentes, expressa em milissegundos, ou seja, o desvio-padrão das diferenças entre intervalos RR normais adjacentes.

Os índices analisados por meio de métodos geométricos baseiam-se em histogramas dos intervalos RR normais, sendo o índice triangular o mais utilizado. Esse pode ser entendido como a integral do histograma (isto é, o número total de intervalos RR) dividida pelo máximo da distribuição de densidade [86].

A análise da VFC no DF é outra forma de avaliar o comportamento das oscilações cardiovasculares, onde as medidas são obtidas por meio da interpretação da densidade do espectro de potência que descreve a distribuição da densidade (variância) em função da frequência [88].

Os algoritmos utilizados para esse tipo de análise são os métodos paramétricos (Auto-regressão) e os não paramétricos (Transformada Rápida de *Fourier*). A partir desses, são obtidos quatro tipos de bandas de frequência distintas, ou seja [20,88,98]: a) alta frequência (*high frequency* - HF) compreendida entre a faixa de 0,15 a 0,40 Hz, mediada pelo SNA parassimpático e sincronizada pela respiração; b) baixa frequência (*low frequency* - LF) que abrange a faixa entre 0,04 a 0,15 Hz modulada tanto pelo simpático quanto pelo parassimpático, correlacionada ao sistema barorreceptor; c) muito baixa frequência (*very low frequency* - VLF), 0,01 a 0,04 Hz, refletindo ao sistema termorregulador e ao sistema renina-angiotensina; d) ultra baixa frequência (*ultra low frequency* - ULF), compreendida entre 10^{-5} a 10^{-2} Hz e sua correspondência fisiológica pode estar relacionada ao ritmo circadiano, neuroendócrinos, dentre outros.

De forma complementar, alguns estudos tem mostrado que a caracterização do balanço simpato-vagal na avaliação do controle autonômico da FC pode ser obtida utilizando-se a razão LF/HF, que reflete as interações absolutas e relativas entre os componentes simpático e parassimpático do SNA do coração [14,99].

A normalização dos dados da análise espectral pode ser utilizada para minimizar os efeitos das alterações da banda de VLF. Essa é determinada a partir da divisão da potência de um dado componente (LF ou HF) pelo espectro de potencia total, subtraída do componente de VLF e multiplicada por 100 [14,99,100].

A análise da VFC por meio de métodos não lineares vem ganhando crescente interesse, pois existem evidências de que os mecanismos envolvidos na regulação cardiovascular provavelmente interagem entre si de modo não linear [101]. Esses métodos separam estruturas de comportamento não linear nas séries temporais de batimentos cardíacos mais adequadamente do que os métodos lineares [22]. Essa condição permite uma melhor discriminação entre uma pessoa com fisiologia normal ou alterada [23] e possibilita melhor compreensão da natureza de sistemas dinâmicos complexos que ocorrem no corpo humano tanto na saúde como na doença [21].

Dentre os métodos não lineares para análise da VFC pode-se citar a análise de flutuações depuradas de tendências (*detrended fluctuation analysis* - DFA), o *plot* de recorrência e o *plot* de Poincaré [23,101]. Suas definições podem ser visualizadas no quadro 3 [23,71,102,103].

Quadro 3. Definições dos índices de variabilidade da frequência cardíaca analisados por meio de métodos não lineares.

MÉTODOS	DEFINIÇÕES
Análise de flutuações depuradas de tendências (DFA)	Quantifica a presença ou ausência das propriedades da correlação fractal nos intervalos RR, calculando a flutuação da média quadrática das séries temporais integradas e depuradas de tendências.

***Plot* de recorrência**	O *plot* de recorrência é usado no estudo da dependência temporal de uma série, ou seja, no estudo de sua estacionaridade. Quantifica o número e a duração de um sistema dinâmico.
***Plot* de Poincaré**	Plotagem de cada intervalo R-R em função do intervalo anterior dispondo dados sobre o desvio-padrão da variabilidade instantânea batimento a batimento (SD1), marcador da modulação parassimpática e ao longo prazo de intervalos RR contínuos (SD2), caracterizado como marcador da modulação parassimpática e simpática.

Casuística e método

3. CASUÍSTICA E MÉTODO

3.1. População

Trata-se de um ensaio clínico, não-randomizado (rotativo) e aberto, no qual foram analisados dados de 31 voluntários homens adultos jovens e saudáveis, com média de idade de 21,55 ± 1,89 anos e considerados como ativos segundo o Questionário internacional de atividade física - *International Physical Activity Questionnaire*, IPAQ [(104)] (ANEXO I).

Voluntários que apresentaram pelo menos uma das seguintes características: tabagistas, uso de medicamentos que influenciassem a atividade autonômica do coração, alcoólatras, portadores de distúrbios metabólicos e/ou endócrinos conhecidos, e indivíduos sedentários, insuficientemente ativos e muito ativos segundo o IPAQ, não foram incluídos no estudo. Durante a execução do experimento não foram excluídos nenhum dos voluntários.

Os voluntários foram devidamente informados sobre os procedimentos e objetivos deste estudo, e após concordarem, assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (ANEXO II), passando a fazer parte efetivamente do mesmo. Todos os procedimentos utilizados neste trabalho foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT/UNESP, Campus de Presidente Prudente, processo nº 168/07 (ANEXO III), e obedeceram à resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde.

3.2. Nível de atividade física

O nível de atividade física dos voluntários foi avaliado por meio da aplicação do IPAQ [(104)], o qual é composto por perguntas que avaliam a atividade física, em

uma semana normal, a qual é subdividida em atividade como meio de transporte, atividades no trabalho, exercício e esporte. Segundo sua classificação, os indivíduos podem se enquadrar como sedentários, insuficientemente ativos, ativos e muito ativos. Para a realização deste trabalho foram utilizados apenas indivíduos classificados como ativos.

3.3. Grupos de estudo

Todos os voluntários foram submetidos a um procedimento experimental dividido em três etapas, todas realizadas em esteira ergométrica, com intervalo mínimo de 48 horas entre elas, a fim de permitir a recuperação dos mesmos. Foram elas:

I) Teste de esforço máximo: realizado para determinação do consumo de oxigênio de pico (VO_{2pico}) e consequente utilização de 60% desse valor para a carga utilizada nas etapas seguintes;

II) Protocolo controle (PC): nessa etapa os voluntários executaram 90 minutos de exercício físico (intensidade equivalente a 60% do VO_{2pico}) seguidos por 60 minutos de recuperação sem administração de bebida isotônica.

III) Protocolo experimental (PE): nessa etapa os voluntários realizaram atividades iguais à do PC, mas com administração de solução hidroeletrolítica. Essa solução foi distribuída em 10 porções iguais administradas em intervalos regulares de 15 minutos a partir do 15º minuto de exercício até o final do período de recuperação.

3.4. Teste de esforço máximo

Para definição da carga de exercício utilizada nos protocolos, os voluntários foram submetidos a um teste de esforço máximo. Para sua realização os participantes foram orientados a não ingerir bebidas alcoólicas ou à base de cafeína por 24 horas antes do teste, a consumir refeição leve à base de frutas duas horas antes e a evitar esforços físicos vigorosos no dia anterior.

O teste foi realizado em esteira ergométrica (*Super ATL*, Inbrasport, Brasil), utilizando-se do protocolo máximo de Bruce [105], no Laboratório de Fisioterapia Desportiva da Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP, como mostra a figura 1. Os voluntários permaneceram em repouso na esteira em posição ortostática para estabilização dos valores iniciais e em seguida iniciaram o teste de esforço físico, cujo protocolo promove incremento progressivo da carga de trabalho por meio de inclinação e velocidade da esteira a cada três minutos. Incentivo verbal foi utilizado na tentativa de obter um esforço físico máximo, sendo o teste interrompido mediante exaustão voluntária.

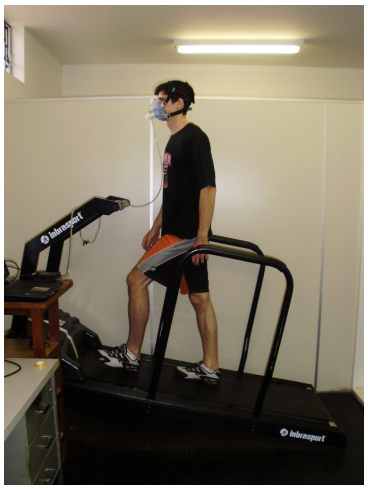

Figura 1. Teste de esforço máximo.

Para determinação do consumo de oxigênio (VO_2), foram analisados os gases expirados em um sistema comercial Teem 100 – VO 2000 (*Aerosport*, Ann Arbor, USA), previamente validado por Novitsky *et al.* [106] e Wideman *et al.* [107], calibrado com volumes e gases de concentração conhecidos. O VO_{2pico} foi considerado o mais alto VO_2 atingido no teste, o qual foi registrado para determinação da carga utilizada nos protocolos PC e PE.

3.5. Protocolo de hidratação

Todos os voluntários, tanto no PC quanto no PE, foram submetidos a uma hidratação antes do início dos protocolos, para garantir a condição de hidratação inicial, a qual foi obtida por meio da ingestão de 500 ml de água duas horas antes do início dos protocolos [54,58].

A quantidade de bebida administrada durante o exercício físico e a recuperação no PE foi obtida por meio da perda da massa corporal avaliada por meio da diferença da massa corporal verificada antes do início do PC e após o seu período de recuperação, realizada por intermédio de uma balança digital (Plenna - TIN 00139 MAXIMA, Brasil). O uso dessa técnica implica que um grama de massa corporal perdida é equivalente a um mililitro de líquido perdido [108]. Desse modo, a perda de massa corporal de cada voluntário indicou a quantidade de bebida que o mesmo deveria ingerir durante a atividade física e o período de recuperação do PE.

Para hidratação dos voluntários durante o PE foi utilizada bebida isotônica (*Gatorade,* Brasil), uma solução hidroeletrolítica constituída de uma mistura de carboidrato, sódio e potássio nas seguintes concentrações, respectivamente: 6%, 20 $mmol.L^{-1}$ e 3 $mmol.L^{-1}$ [109]. Os voluntários foram hidratados com a solução a cada 15

minutos, logo a quantidade de bebida ingerida por cada voluntário foi dividida ao longo do tempo de duração do PE.

A confirmação da condição de hidratação dos voluntários após a realização do PE foi verificada por meio da análise urinária (Choiceline 10, Roche®, Brasil) e a densidade específica da urina foi utilizada como marcador de nível de hidratação [110]. Para realização desse procedimento os voluntários foram instruídos a colherem a urina após o período de recuperação do PE. Os voluntários que apresentaram densidade específica entre 1,013 a 1,029 foram considerados euidratados e aqueles com densidade específica acima de 1,030 desidratados [110].

3.6. Protocolo controle e experimental

Os protocolos foram realizados no Laboratório de Fisiologia do Estresse da Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP, entre 15:00 e 18:00 horas para evitar a variação circadiana, com média de temperatura e umidade iguais 27,66 ± 2,08 ºC e 55,33 ± 8,59%, respectivamente. A fim de reduzir a ansiedade do voluntário durante os testes um pequeno número de pessoas circulou pelo local. Após serem orientados sobre o estudo em questão e darem seu consentimento por escrito, os voluntários se submeteram aos protocolos descritos a seguir.

Os voluntários foram instruídos a alimentar-se com uma dieta leve e a estarem trajados com roupas adequadas e confortáveis ao esforço físico, como: short, camiseta, tênis e meias. Foram também orientados a se hidratarem duas horas antes com 500 ml de água como mencionado no protocolo de hidratação.

Estando os voluntários hidratados, foram verificados: peso, por meio de uma balança digital (Plenna, TIN 00139 MAXIMA, Brasil) altura, por meio de um

estadiômetro (ES 2020 - Sanny, Brasil), e temperatura axilar, por meio de um termômetro (BD Thermofácil, China).

Antes do início do PC e PE foi acoplado nos voluntários um frequencímetro cardíaco Polar S810i (Polar Electro, Kempele, Finland) para registro da FC batimento a batimento durante os protocolos e os mesmos permaneceram deitados confortavelmente durante 10 minutos. No final dos 10 minutos de repouso foram mensuradas FC, PAS, PAD, f e SpO_2.

Após essas mensurações os voluntários realizaram exercício físico em esteira ergométrica com intensidade equivalente a 60% do seu VO_{2pico} durante 90 minutos. Nesse período novas mensurações dos parâmetros: FC, PAS, PAD e SpO_2, nos minutos 30, 60 e 90 foram realizadas.

Ao término da atividade, no 90º minuto, a temperatura axilar dos indivíduos foi novamente mensurada e, a partir daí, eles permaneceram em repouso, deitados em ambiente calmo e monitorados por mais 60 minutos. Nesse período, foram analisados os parâmetros: FC, PAS, PAD, f e SpO_2 no 1º, 3º, 5º, 7º, 10º e a partir daí a cada 10 minutos até o final da recuperação.

No PE a mensuração dos parâmetros cardiorrespiratórios sempre ocorreu imediatamente após a aplicação do protocolo de hidratação, o qual foi executado em intervalos de 15 minutos a partir do 15º minuto do exercício físico até o final do período de recuperação.

Em ambos os protocolos, após o período de recuperação, os voluntários foram encaminhados a uma sala, na qual retiraram o traje do exercício e se enxugaram com uma toalha macia a fim de se pesarem novamente, sendo que, apenas no PE os voluntários foram orientados, após a mensuração do peso final, a

colherem e analisarem a composição da urina (Choiceline 10, Roche®, Brasil) para controle do seu estado de hidratação.

3.7. Pressão arterial

A verificação da PAS e PAD ocorreu de forma indireta, com a utilização de um estetoscópio (Littmann, Saint Paul, USA) e esfigmomanômetro aneróide (Welch Allyn - Tycos, New York, USA) no braço esquerdo, de acordo com os critérios estabelecidos pela VI Diretrizes Brasileiras de Hipertensão [(111)]. Os valores indicados foram registrados em ficha individual. Para evitar erros na determinação das pressões arteriais dos voluntários, um único avaliador mensurou o parâmetro cardiovascular durante todo o experimento.

3.8. Frequência cardíaca

A FC foi captada batimento a batimento por meio do frequencímetro Polar S810i (Polar Electro, Kempele, Finland), mostrado pela figura 2, equipamento previamente validado para captação desse parâmetro e utilização da série de intervalos RR obtida para análise da VFC [(112-115)].

Esse equipamento é composto por dois eletrodos montados em um transmissor eletrônico selado, o qual foi posicionado no tórax do participante, ao nível do terço distal do esterno, utilizando-se uma cinta elástica. Essas unidades telemétricas obtêm os impulsos elétricos do coração e transmitem tais informações através de um campo eletromagnético para o monitor que se localiza no punho do voluntário.

Figura 2. Frequencímetro cardíaco Polar S810i.

3.9. Análise da variabilidade da frequência cardíaca

A análise da VFC foi realizada a partir dos dados captados pelo frequencímetro cardíaco Polar S810i por meio de métodos lineares, analisados nos domínios do tempo e da frequência, e métodos não lineares.

Os índices de VFC foram obtidos por meio do *software Kubios HRV* – versão 2.0 [116], exceto os índices do DFA que foram calculados por um *software* disponível na PhysioNet (http://www.physionet.org/), um fórum on-line que reúne registros de sinais biomédicos e *softwares* para analisar esses sinais [117].

Para essa análise, a série temporal de intervalos RR foi inicialmente submetida a uma filtragem digital pelo *software Polar Precision Performance SW* (versão 4.01.029) complementada por manual, para eliminação de batimentos ectópicos prematuros e artefatos, e somente séries com mais de 95% de batimentos sinusais foram incluídas no estudo [23]. Por meio da análise visual das séries temporais foi observada a ausência de artefatos ou arritmias cardíacas que pudessem interferir na análise da VFC.

A série de intervalos RR foi analisada nos seguintes momentos: M1 (5 minutos finais do repouso), M2 (25º ao 30º minuto de exercício), M3 (55º ao 60º minuto de exercício), M4 (85º ao 90º minuto de exercício), M5 (5º ao 10º minuto de recuperação), M6 (15º ao 20º minuto de recuperação), M7 (25º ao 30º minuto de

recuperação), M8 (40º ao 45º minuto de recuperação) e M9 (55º ao 60º minuto de recuperação), sendo obtidos nesses trechos pelo menos 256 intervalos RR consecutivos [14].

3.9.1. Domínio do tempo

Para análise da VFC no DT foram utilizados os seguintes índices: SDNN e RMSSD. O SDNN é um índice que avalia o desvio padrão de todos os intervalos RR normais, apresentando correspondência com a potência total do espectro de frequência, ou seja, a variabilidade global, refletindo, portanto, a participação de todos os componentes rítmicos responsáveis pela variabilidade [20,118].

O índice RMSSD corresponde à raiz quadrada da somatória do quadrado das diferenças entre os intervalos RR no registro, dividido pelo número de intervalos RR em um tempo determinado menos um intervalo RR [119].

3.9.2. Domínio da frequência

Para análise da VFC no DF foram utilizados os componentes espectrais de baixa frequência (LF) e alta frequência (HF), em unidades normalizadas (*normalized units* – nu) e ms^2, e a razão entre esses componentes (LF/HF), que representa o valor relativo de cada componente espectral em relação à potência total, menos os componentes de VLF [14,120]. Para essa análise as faixas de frequência utilizadas foram: LF faixa entre 0,04 a 0,15 Hz e HF faixa de variação de 0,15 a 0,4 Hz. A análise espectral foi calculada utilizando o algoritmo da transformada rápida de *Fourier* [103].

3.9.3. Domínio do caos.

Para análise da VFC no domínio do caos foram utilizados os seguintes índices: análise de flutuações depurada de tendências (DFA total, alfa-1 e alfa-2), *plot* de Poincaré (componentes SD1, SD2 e relação SD1/SD2) e o *plot* de recorrência (taxa de recorrência, determinismo e entropia aproximada).

A análise de flutuações depuradas de tendências (DFA) foi obtida por meio do cálculo da flutuação da média quadrática das séries temporais integradas e depuradas de tendências. Essa análise determinou o quanto o sistema é fractal e quantificou a presença ou ausência das propriedades da correlação fractal nos intervalos RR [43]. Foram calculados o DFA total, o expoente escalar alfa de curto prazo (alfa-1) com períodos de 4 a 11 batimentos e o expoente de longo prazo (alfa-2) com o restante da série. Valores próximos a 1,0 foram considerados série caótica, tendendo a 1,5 linear e a 0,5 aleatória [102,103].

O *plot* de Poincaré permite que cada intervalo RR seja representado em função do intervalo anterior e para sua análise foram calculados os seguintes índices: SD1 (desvio-padrão da variabilidade instantânea batimento a batimento), SD2 (desvio-padrão a longo prazo dos intervalos RR contínuos) e a razão SD1/SD2 [71].

O *plot* de recorrência é um método de análise não linear que quantifica o número e a duração de um sistema dinâmico. Para sua análise foi calculada a taxa de recorrência (REC), avaliada a partir da porcentagem dos pontos de recorrência no *plot* de recorrência, o determinismo (DET), que se define como a porcentagem da recorrência dos pontos que formam a linha diagonal e a entropia aproximada (ApEn), que quantifica a regularidade ou previsibilidade em dados de séries temporais [121].

3.10. Frequência respiratória

As medidas foram realizadas pela contagem das respirações durante um minuto sem que o voluntário tomasse conhecimento do processo, para que as características usuais da respiração não fossem modificadas [122].

3.11. Saturação parcial de oxigênio

A SpO_2 foi verificada por meio de um oxímetro de pulso (Mindray PM-50 Pulse Oximeter, China). O oxímetro de pulso é um aparelho que fornece leituras da saturação do sangue, avaliando o comportamento de absorção da oxiemoglobina e deoxiemoglobina em relação aos comprimentos de luz vermelha e infravermelha. O aparelho possui um receptáculo para acomodar a porção distal do dedo, com um dos lados contendo uma fonte de luz – composta de dois fotoemissores de luz (LED) – e do outro lado um fotodetector. Um LED emite luz vermelha (≅ 660 nm) e outra luz infravermelha (≅ 940 nm) [123].

3.12. Tratamento estatístico

Para análise dos dados do perfil da população utilizou-se o método estatístico descritivo e os resultados foram apresentados com valores de médias, medianas, desvios-padrão, valores mínimo e máximo e intervalo de confiança.

A normalidade dos dados foi determinada por meio do teste Shapiro-Wilk. Baseado nos resultados do teste, para comparação das variáveis entre os protocolos experimental e controle no mesmo tempo de análise, foi aplicado o teste *t* de Student para dados não pareados (dados com distribuição normal) ou o teste de Mann-Whitney (dados com distribuição não normal). A comparação entre os momentos do mesmo protocolo foi realizada por meio da análise de variância para

medidas repetidas (ANOVA) seguida da aplicação do teste de Bonferroni ou o teste de Friedman seguido da aplicação do teste de Dunn. Diferenças em todos os testes foram consideradas estatisticamente significantes quando o "p" valor foi menor que 0,05.

O cálculo do poder do estudo, com o número de voluntários analisados e nível de significância de 5% (teste bi-caudal), garantiu um poder do teste superior a 80% para detectar diferenças entre as variáveis. As análises foram realizadas utilizando-se o *software* comercial *Minitab* – versão 13.20 (Minitab, PA., USA).

Resultados

4. RESULTADOS

Nos resultados obtidos, optou-se por dividi-los em três etapas, sendo a primeira uma abordagem da caracterização da população, a segunda uma análise dos parâmetros cardiorrespiratórios e índices de VFC durante o exercício físico, e a terceira etapa uma análise dos parâmetros cardiorrespiratórios e índices de VFC durante a recuperação.

4.1. Caracterização da população

As características antropométricas de 31 voluntários analisados bem como as respostas obtidas no teste de esforço máximo estão descritas na tabela 1.

Tabela 1. Valores médios, seguidos pelos seus respectivos desvios-padrão, valores mínimo e máximo dos dados antropométricos e do teste de esforço máximo dos voluntários analisados.

Variáveis	Média ± DP	Mínimo/Máximo
Dados antropométricos		
Idade (anos)	21,55 ± 1,89	[18 - 25]
Peso (kg)	72,62 ± 11,54	[53,8 - 95,3]
Altura (m)	1,77 ± 0,08	[1,60 - 1,94]
IMC (kg/m^2)	23,00 ± 2,83	[16,87 - 28,07]
Teste de esforço máximo		
VO_{2pico} ($l.min^{-1}$)	3,37 ± 0,60	[2,02 - 5,14]
60% VO_{2pico} ($l.min^{-1}$)	2,02 ± 0,36	[1,21 - 3,08]
FC (bpm)	160,74 ± 10,76	[139 - 179]

Legenda: IMC = índice de massa corpórea; kg = quilograma; m = metro; VO_{2pico} = consumo de oxigênio de pico; l = litro; min = minuto; FC = frequência cardíaca; bpm = batimentos por minuto.

Os valores obtidos das mensurações da massa corporal bem como da temperatura corporal nas condições controle e experimental estão descritos na tabela 2.

Tabela 2. Valores médios, seguidos pelos seus respectivos desvios-padrão, valores mínimo e máximo das medidas de massa corporal e temperatura corporal nas condições controle e experimental.

Variável	Tempo	Controle	Experimental
Massa corporal (kg)	**Inicial**	73,03 ± 11,56 [54,70 - 96,10]	72,90 ± 11,50 [53,50 - 96,60]
	Final	71,55 ± 11,30 [53,60 - 94,20]	73,08 ± 11,51 [53,50 - 97,00]
Temperatura corporal (°C)	**Antes**	36,44 ± 0,47 [35,00 - 38,00]	36,30 ± 0,37 [35,00 - 36,90]
	Após exercício	37,20 ± 0,53 [35,50 - 38,00]	36,83 ± 0,42 [36,00 - 38,00]

Legenda: kg = quilograma; °C = graus Celsius.

Os valores exibidos na tabela 2 revelam perda de peso e aumento de temperatura corporal para os indivíduos hipoidratados. A porcentagem da massa corporal perdida pelos voluntários ao final do PC foi de 2,02 ± 0,61 %, sendo o consumo médio de solução hidroeletrolítica administrada no PE igual a 1,48 ± 0,54 l. A densidade específica da urina (1,018 ± 0,004), avaliada ao final do PE, confirma que o volume de solução hidroeletrolítica foi suficiente para manter o estado euidratado dos voluntários.

4.2. Análise em exercício físico

4.2.1. Parâmetros cardiorrespiratórios

A figura 3 mostra o comportamento da FC durante o período de exercício e sua comparação em relação ao repouso inicial nos protocolos realizados. Durante o exercício, observa-se comportamento semelhante da FC entre os protocolos, caracterizado por aumento progressivo, contudo, embora não significante, no PE o incremento da FC foi menor em comparação ao PC.

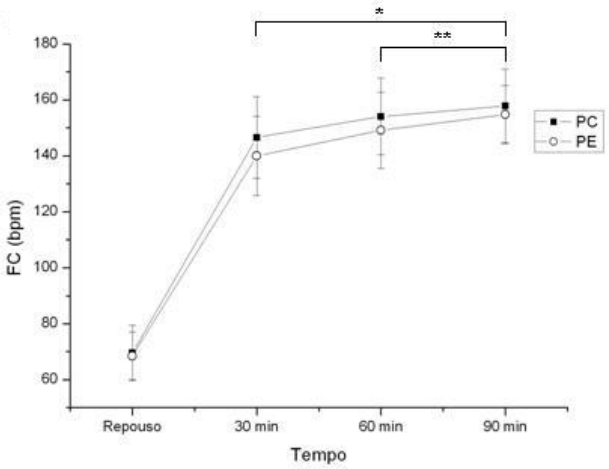

Figura 3. Comportamento da frequência cardíaca (FC) durante o período de exercício e sua comparação em relação ao repouso inicial nos protocolos controle (PC) e experimental (PE). Valores expressos como média ± desvios-padrão. *Valor com diferença estatística em relação ao repouso (ANOVA para medidas repetidas seguida do teste de Bonferroni; $p < 0,05$); **Valor com diferença estatística em relação ao tempo 30 min (ANOVA para medidas repetidas seguida do teste de Bonferroni; $p < 0,05$). **Legenda:** bpm = batimentos por minuto; min = minuto.

Os valores de PAS, PAD e SpO_2 obtidos nos protocolos em repouso e durante o exercício podem ser observados na tabela 3. Os dados mostram que a

PAS se elevou em exercício em comparação ao repouso em ambos os protocolos. Durante o exercício, no PC, observa-se queda significante da PAS entre os tempos 30 e 90 minutos (144,19 ± 14,55 vs. 137,09 ± 10,70 mmHg; $p < 0,05$; queda de 5%), o que não ocorreu para o PE (140,96 ± 11,93 vs. 140,32 ± 13,03 mmHg). Para a PAD, ocorreu queda de seus valores em exercício, comparado ao repouso, em ambos os protocolos, e comportamento similar ao da PAS entre os tempos 30 e 90 minutos, com queda de 7,5% da PAD no PC (69,03 ± 9,07 vs. 63,87 ± 8,43 mmHg; $p < 0,05$) e manutenção no PE (67,41 ± 8,55 vs. 67,09 ± 7,82 mmHg). Quanto à SpO_2, diferenças estatisticamente significantes foram observadas entre o repouso e o tempo 90 minutos em ambos os protocolos.

Tabela 3. Valores médios, seguidos dos seus respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% de PAS, PAD e SpO_2 obtidos nos protocolos controle e experimental em repouso e durante o exercício.

Parâmetro	Protocolo	Tempo			
		Repouso	30 min	60 min	90 min
PAS (mmHg)	Controle	116,12 ± 10,14 [a] (120,0) [112,41 - 119,85]	144,19 ± 14,55 [b] (140,0) [138,86 - 149,53]	138,70 ± 11,47 (140,0) [134,50 - 142,92]	137,09 ± 10,70 (140,0) [133,17 - 141,02]
	Experimental	113,54 ± 8,38 [a] (110,0) [110,47 - 116,62]	140,96 ± 11,93 (140,0) [136,59 - 145,34]	140,64 ± 11,52 (140,0) [136,42 - 144,87]	140,32 ± 13,03 (140,0) [135,54 - 145,10]
PAD (mmHg)	Controle	75,87 ± 9,47 [a] (80,0) [72,39 - 79,34]	69,03 ± 9,07 [c] (70,0) [65,70 - 72,36]	65,48 ± 7,67 (60,0) [62,66 - 68,29]	63,87 ± 8,43 (60,0) [60,77 - 66,96]
	Experimental	75,12 ± 8,26 [a] (70,0) [72,09 - 78,16]	67,41 ± 8,55 (70,0) [64,28 - 70,55]	67,74 ± 10,23 (70,0) [63,98 - 71,49]	67,09 ± 7,82 (70,0) [64,22 - 69,96]
SpO_2 (%)	Controle	97,12 ± 0,88 [c] (97,0) [96,80 - 97,45]	96,87 ± 0,84 (97,0) [96,56 - 97,18]	96,74 ± 0,77 (97,0) [96,45 - 97,02]	96,54 ± 0,85 (97,0) [96,23 - 96,86]
	Experimental	97,45 ± 0,67 [c] (97,0) [97,20 - 97,69]	97,16 ± 0,68 (97,0) [96,90 - 97,41]	97,06 ± 0,77 (97,0) [96,78 - 97,34]	96,83 ± 0,89 (97,0) [96,50 - 97,16]

[a]Valor com diferença estatística em relação aos tempos 30, 60 e 90 min (ANOVA para medidas repetidas seguida do teste de Bonferroni; $p < 0,05$); [b]Valor com diferença estatística em relação aos tempos 60 e 90 min (ANOVA para medidas repetidas seguida do teste de Bonferroni; $p < 0,05$); [c]Valor com diferença estatística em relação ao tempo 90 min (ANOVA para medidas repetidas seguida do teste de Bonferroni; $p < 0,05$). **Legenda:** PAS = pressão arterial sistólica; PAD = pressão arterial diastólica; FC = frequência cardíaca; SpO_2 = saturação parcial de oxigênio; mmHg = milímetros de mercúrio; bpm = batimentos por minuto; min = minuto.

4.2.2. Análise da VFC no domínio do tempo

Os índices SDNN e RMSSD da VFC no domínio do tempo foram analisados durante a realização dos protocolos experimental e controle nos momentos M1 (5 minutos finais do repouso), M2 (25º ao 30º minuto de exercício), M3 (55º ao 60º minuto de exercício) e M4 (85º ao 90º minuto de exercício), como mostrado na tabela 4.

Tanto no PC quanto no PE foram observadas diferenças significantes nos dois índices, SDNN e RMSSD, quando comparado o momento M1 a todos os outros momentos do exercício. Ainda, diferenças significantes foram observadas quando comparado o momento M2 ao M4 para o índice SDNN no PC e para o índice RMSSD no PE. Na análise interprotocolos não foram observadas diferenças significantes.

Tabela 4. Valores médios seguidos dos respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% para os índices de VFC obtidos no domínio do tempo para os protocolos controle e experimental em repouso e exercício.

Índice	Protocolo	Momentos			
		M1	**M2**	**M3**	**M4**
SDNN (ms)	**CONT**	44,96 ± 15,8 (42,7) [a] [39,15 - 50,77]	8,71 ± 3,91 (7,6) [b] [7,27 - 10,14]	6,52 ± 2,09 (6,6) [5,75 - 7,28]	5,95 ± 1,89 (5,6) [5,26 - 6,65]
	EXP	49,03 ± 17,96 [c] (46,5) [42,44 - 55,62]	9,31 ± 3,44 (9,7) [8,05 - 10,58]	7,77 ± 3,33 (7,3) [6,55 - 9,00]	6,89 ± 2,11 (6,7) [6,12 - 7,67]
RMSSD (ms)	**CONT**	35,8 ± 18,97 (35,5) [a] [28,84 - 42,76]	3,7 ± 0,91 (3,6) [3,36 - 4,03]	3,36 ± 0,85 (3,3) [3,05 - 3,67]	3,29 ± 0,78 (3,2) [3,00 - 3,57]
	EXP	40,91 ± 19,6 (37,0) [a] [33,72 - 48,11]	4,31 ± 1,62 (3,9) [b] [3,71 - 4,91]	3,54 ± 0,84 (3,4) [3,23 - 3,85]	3,39 ± 0,95 (3,2) [3,04 - 3,74]

[a]Valor com diferença estatística em relação aos momentos M2, M3 e M4 (Teste de Friedman seguido do teste de Dunn; $p < 0,05$); [b]Valor com diferença estatística em relação ao momento M4 (Teste de Friedman seguido do teste de Dunn; $p < 0,05$); [c]Valor com diferença estatística em relação aos momentos M2, M3 e M4 (ANOVA para medidas repetidas seguida do teste de Bonferroni; $p < 0,05$). **Legenda:** SDNN = desvio-padrão da média de todos os intervalos RR normais; RMSSD = raiz quadrada da média dos quadrados das diferenças entre os intervalos RR normais sucessivos; CONT = controle; EXP = experimental; M = momento; ms = milissegundos.

4.2.3. Análise da VFC no domínio da frequência

Os índices LF (ms^2), HF (ms^2), LF (nu), HF (nu) e a relação LF/HF da VFC no domínio da frequência foram analisados durante a realização dos protocolos experimental e controle nos momentos M1, M2, M3 e M4, como mostrado na tabela 5.

Tanto no PC quanto no PE foram observadas diferenças significantes para todos os índices quando comparado o momento M1 a todos os outros momentos do exercício. Ainda, diferenças significantes foram observadas quando comparado o momento M2 ao M4 para o índice LF (ms^2), em ambos os protocolos, e para o índice HF (ms^2) no PE.

A comparação dos índices entre os protocolos não evidenciou diferenças estatisticamente significantes.

Tabela 5. Valores médios seguidos dos respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% para os índices de VFC obtidos no domínio da frequência para os protocolos controle e experimental em repouso e exercício.

Índice	Protocolo	Momentos			
		M1	M2	M3	M4
LF (ms^2)	CONT	627,22 ± 488,69 (448,0) [a] [448,0 - 806,46]	12,32 ± 14,04 (7,0) [b] [7,17 - 17,47]	6,54 ± 7,32 (3,0) [3,86 - 9,23]	4,64 ± 5,94 (2,0) [2,46 - 6,82]
	EXP	814,93 ± 672,76 (529,0) [a] [568,20 - 1061,7]	21,48 ± 22,57 (13,0) [b] [13,20 - 29,76]	8,54 ± 8,18 (7,0) [5,54 - 11,54]	5,35 ± 5,09 (3,0) [3,48 - 7,22]
HF (ms^2)	CONT	612,58 ± 620,93 (423,0) [a] [384,85 - 840,31]	2,29 ± 2,67 (1,0) [1,31 - 3,27]	1,12 ± 1,20 (1,0) [0,68 - 1,57]	0,90 ± 1,16 (1,0) [0,47 - 1,33]
	EXP	675,38 ± 653,54 (442,0) [a] [435,70 - 915,07]	4,09 ± 5,49 (2,0) [b] [2,08 - 6,11]	1,51 ± 1,36 (1,0) [1,01 - 2,01]	0,93 ± 0,89 (1,0) [0,60 - 1,26]
LF (nu)	CONT	55,52 ± 17,93 (55,4) [a] [48,95 - 62,10]	82,18 ± 8,49 (84,6) [79,07 - 85,29]	79,43 ± 10,15 (81,7) [75,71 - 83,16]	75,93 ± 14,26 (79,3) [70,70 - 81,17]
	EXP	57,32 ± 18,8 (58,8) [a] [50,42 - 64,21]	81,80 ± 11,72 (85,6) [77,50 - 86,11]	78,66 ± 15,5 (80,3) [72,98 - 84,35]	80,89 ± 11,94 (83,9) [76,51 - 85,27]
HF (nu)	CONT	44,47 ± 17,93 (44,6) [a] [37,89 - 51,04]	17,81 ± 8,49 (15,4) [14,70 - 20,93]	20,56 ± 10,15 (18,3) [16,83 - 24,28]	24,06 ± 14,26 (20,7) [18,82 - 29,29]
	EXP	42,67 ± 18,8 (41,2) [a] [35,78 - 49,57]	18,19 ± 11,72 (14,4) [13,89 - 22,49]	21,33 ± 15,5 (19,7) [15,64 - 27,02]	19,10 ± 11,94 (16,1) [14,72 - 23,48]
LF/HF	CONT	1,74 ± 1,44 (1,24) [a] [1,21 - 2,27]	6,04 ± 3,69 (5,47) [4,68 - 7,39]	5,10 ± 2,98 (4,47) [4,00 - 6,19]	4,64 ± 3,15 (3,85) [3,48 - 5,79]
	EXP	1,94 ± 1,53 (1,42) [a] [1,37 - 2,50]	7,28 ± 5,87 (5,95) [5,13 - 9,43]	6,00 ± 5,15 (4,08) [4,11 - 7,89]	6,95 ± 5,57 (5,21) [4,91 - 9,00]

[a]Valor com diferença estatística em relação aos momentos M2, M3 e M4 (Teste de Friedman seguido do teste de Dunn; $p < 0,05$); [b]Valor com diferença estatística em relação ao momento M4 (Teste de Friedman seguido do teste de Dunn; $p < 0,05$). **Legenda:** LF = baixa frequência; HF = alta frequência; CONT = controle; EXP = experimental; M = momento; ms = milissegundos; nu = unidades normalizadas.

4.2.4. Análise da VFC no domínio do caos

4.2.4.1. *Plot* de Poincaré

A tabela 6 mostra os índices do *plot* de Poincaré (SD1, SD2 e a relação SD1/SD2) durante a realização dos protocolos experimental e controle nos momentos M1, M2, M3 e M4.

Observa-se que, tanto no PC quanto no PE, foram observadas diferenças significantes nos índices SD1 e SD2, e para a relação SD1/SD2 no PE quando comparado o momento M1 a todos os outros momentos do exercício.

Diferenças significantes foram também observadas quando comparado o momento M2 ao M4 para o índice SD1 no PE, para o índice SD2 no PC e para a relação SD1/SD2 no PC. Ainda, para a relação SD1/SD2 diferença significante foi observada apenas no PC quando comparados os momentos M2 e M3 ao M1.

A análise dos índices entre os protocolos não mostrou diferenças estatisticamente significantes.

Tabela 6. Valores médios seguidos dos respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% dos índices obtidos do *plot* de Poincaré (SD1, SD2 e relação SD1/SD2) dos protocolos controle e experimental em repouso e exercício.

Índice	Protocolo	Momentos			
		M1	M2	M3	M4
SD1 (ms)	CONT	25,34 ± 13,44 (25,1) [a] [20,41 - 30,27]	2,61 ± 0,64 (2,5) [2,37 - 2,85]	2,38 ± 0,61 (2,3) [2,15 - 2,61]	2,33 ± 0,54 (2,2) [2,13 - 2,53]
	EXP	28,97 ± 13,88 (26,2) [a] [23,88 - 34,06]	3,05 ± 1,15 (2,7) [b] [2,63 - 3,48]	2,52 ± 0,60 (2,4) [2,30 - 2,74]	2,39 ± 0,67 (2,3) [2,14 - 2,64]
SD2 (ms)	CONT	57,49 ± 20,45 (55,0) [a] [49,99 - 64,99]	11,98 ± 5,62 (10,5) [b] [9,91 - 14,04]	8,85 ± 3,04 (8,8) [7,73 - 9,97]	8,02 ± 2,78 (7,6) [7,00 - 9,04]
	EXP	62,26 ± 23,15 [c] (54,5) [53,77 - 70,75]	12,74 ± 4,89 (12,7) [10,95 - 14,54]	10,64 ± 4,82 (10,1) [8,87 - 12,41]	9,39 ± 3,11 (9,2) [8,25 - 10,53]
SD1/SD2	CONT	0,44 ± 0,20 (0,42) [d] [0,37 - 0,52]	0,25 ± 0,11 (0,23) [b] [0,21 - 0,29]	0,30 ± 0,12 (0,26) [0,25 - 0,35]	0,32 ± 0,14 (0,28) [0,27 - 0,37]
	EXP	0,47 ± 0,17 (0,44) [a] [0,40 - 0,53]	0,26 ± 0,11 (0,22) [0,22 - 0,31]	0,28 ± 0,14 (0,24) [0,22 - 0,33]	0,28 ± 0,13 (0,26) [0,23 - 0,33]

[a]Valor com diferença estatística em relação aos momentos M2, M3 e M4 (Teste de Friedman seguido do teste de Dunn; $p < 0,05$); [b]Valor com diferença estatística em relação ao momento M4. (Teste de Friedman seguido do teste de Dunn; $p < 0,05$); [c]Valor com diferença estatística em relação aos momentos M2, M3 e M4 (ANOVA para medidas repetidas seguida do teste de Bonferroni; $p < 0,05$); [d]Valor com diferença estatística em relação aos momentos M2 e M3 (Teste de Friedman seguido do teste de Dunn; $p < 0,05$). **Legenda:** SD1 = desvio-padrão da variabilidade instantânea batimento a batimento; SD2 = desvio-padrão a longo prazo dos intervalos R-R contínuos; CONT = controle; EXP = experimental; M = momento; ms = milissegundos.

4.2.4.2. *Plot* de recorrência e análise de flutuações depurada de tendências

Os índices do *plot* de recorrência [REC (taxa de recorrência), DET (determinismo) e ApEn (entropia aproximada)] e da análise de flutuações depurada de tendências (DFA total, alfa-1 e alfa-2) analisados durante o repouso e exercício para os protocolos experimental e controle podem ser visualizados na tabela 7.

Não ocorreram diferenças significantes desses índices quando comparados os valores obtidos nos protocolos experimental e controle entre os momentos analisados. A análise entre os momentos em cada protocolo apresentou diferenças significantes.

Em relação ao *plot* de recorrência foram observadas diferenças significantes para o REC e o DET, tanto no PC quanto no PE, quando comparado o momento M1 a todos os outros momentos do exercício. Para a ApEn não foram observadas diferenças estatisticamente significantes na análise intraprotocolos.

Quanto à análise de flutuações depurada de tendências, observou-se diferença significante quando comparado o momento M1 a todos os outros momentos do exercício, tanto no PC quanto no PE, para os índices DFA total e alfa-2. Ainda, para o índice alfa-2 do PE diferenças foram observadas quando comparados os momentos M3 e M4 ao M2. Para o índice alfa-1, observou-se diferença significante na comparação dos momentos M1 e M2 ao M4 no PC e na comparação do momento M2 ao M4 no PE.

Tabela 7. Valores médios seguidos dos respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% para os índices obtidos pelo *plot* de recorrência e DFA dos protocolos controle e experimental em repouso e em exercício.

Índice	Protocolo	Momentos			
		M1	**M2**	**M3**	**M4**
REC (%)	**CONT**	25,65 ± 9,70 [a] (24,58) [22,09 - 29,21]	45,07 ± 6,74 (46,66) [42,60 - 47,55]	44,41 ± 7,28 (45,74) [41,74 - 47,09]	43,91 ± 7,47 (45,61) [41,17 - 46,65]
	EXP	23,98 ± 9,19 (23,84) [b] [20,61 - 27,35]	43,94 ± 6,11 (45,2) [41,70 - 46,18]	44,88 ± 6,46 (46,3) [42,51 - 47,25]	47,55 ± 7,34 (47,57) [44,85 - 50,24]
DET (%)	**CONT**	96,54 ± 2,68 (97,07) [b] [95,55 - 97,52]	99,20 ± 0,75 (99,58) [98,93 - 99,48]	98,74 ± 1,84 (99,33) [98,06 - 99,41]	98,96 ± 0,94 (99,31) [98,62 - 99,31]
	EXP	99,22 ± 2,62 (97,04) [b] [95,26 - 97,18]	99,25 ± 0,70 (99,54) [98,99 - 99,50]	99,16 ± 1,11 (99,51) [98,75 - 99,57]	99,29 ± 0,55 (99,44) [99,09 - 99,50]
ApEn	**CONT**	1,11 ± 0,10 (1,1) [1,07 - 1,15]	1,12 ± 0,20 (1,13) [1,04 - 1,19]	1,19 ± 0,18 (1,2) [1,12 - 1,26]	1,17 ± 0,15 (1,17) [1,11 - 1,22]
	EXP	1,07 ± 0,10 (1,09) [1,03 - 1,11]	1,11 ± 0,18 (1,13) [1,04 - 1,17]	1,13 ± 0,19 (1,18) [1,06 - 1,20]	1,11 ± 0,15 (1,12) [1,05 - 1,16]
DFA total	**CONT**	0,82 ± 0,19 [a] (0,83) [0,75 - 0,89]	1,16 ± 0,08 (1,16) [1,13 - 1,19]	1,19 ± 0,10 (1,18) [1,15 - 1,23]	1,17 ± 0,09 (1,20) [1,14 - 1,21]
	EXP	0,80 ± 0,15 [a] (0,80) [0,75 - 0,86]	1,14 ± 0,11 (1,15) [1,10 - 1,18]	1,19 ± 0,11 (1,18) [1,15 - 1,23]	1,19 ± 0,11 (1,20) [1,15 - 1,23]
alfa-1	**CONT**	0,89 ± 0,21 (0,88) [c] [0,81 - 0,96]	0,90 ± 0,27 (0,91) [c] [0,80 - 1,00]	0,78 ± 0,28 (0,76) [0,68 - 0,89]	0,68 ± 0,31 (0,58) [0,57 - 0,80]
	EXP	0,87 ± 0,22 (0,93) [0,79 - 0,96]	0,99 ± 0,28 [d] (1,04) [0,89 - 1,10]	0,87 ± 0,29 (0,90) [0,76 - 0,98]	0,81 ± 0,27 (0,85) [0,71 - 0,91]
alfa-2	**CONT**	0,81 ± 0,21 [a] (0,78) [0,73 - 0,89]	1,19 ± 0,12 (1,19) [1,15 - 1,24]	1,26 ± 0,12 (1,27) [1,22 - 1,31]	1,29 ± 0,15 (1,31) [1,24 - 1,35]
	EXP	0,79 ± 0,18 [a] (0,79) [0,72 - 0,86]	1,14 ± 0,15 [e] (1,14) [1,08 - 1,19]	1,24 ± 0,14 (1,26) [1,19 - 1,30]	1,25 ± 0,12 (1,28) [1,21 - 1,30]

[a]Valor com diferença estatística em relação aos momentos M2, M3 e M4 (ANOVA para medidas repetidas seguida do teste de Bonferroni; $p < 0,05$); [b]Valor com diferença estatística em relação aos momentos M2, M3 e M4 (Teste de Friedman seguido do teste de Dunn; $p < 0,05$); [c]Valor com diferença estatística em relação ao momento M4. (Teste de Friedman seguido do teste de Dunn; $p < 0,05$); [d]Valor com diferença estatística em relação ao momento M4 (ANOVA para medidas repetidas seguida do teste de Bonferroni; $p < 0,05$); [e]Valor com diferença estatística em relação aos momentos M3 e M4 (ANOVA para medidas repetidas seguida do teste de Bonferroni; $p < 0,05$).
Legenda: REC = taxa de recorrência; DET = determinismo; ApEn = entropia aproximada; DFA = análise de flutuações depurada de tendências; CONT = controle; EXP = experimental; M = momento.

4.3. Análise em recuperação

4.3.1. Parâmetros cardiorrespiratórios

A figura 4 mostra o comportamento da FC durante o período de recuperação e sua comparação em relação ao repouso inicial nos protocolos realizados. Nesse período, a FC reduziu mais lentamente no PC em comparação ao PE, sendo essa diferença estatisticamente significante a partir do terceiro minuto (99,77 ± 11,50 vs. 93,09 ± 9,40 bpm; $p < 0,05$) e mantida até o final do período de recuperação (84,12 ± 11,69 vs. 78,67 ± 9,27 bpm; $p < 0,05$). Em ambos os protocolos, ao final de 60 minutos de recuperação, a FC não retornou ao valor basal.

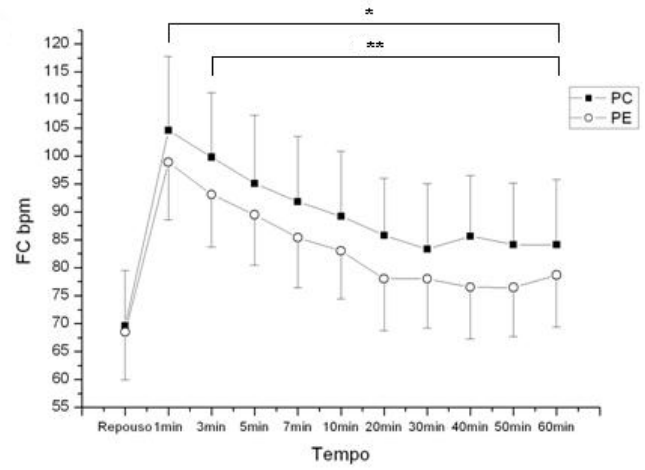

Figura 4. Comportamento da frequência cardíaca (FC) durante o período de recuperação e sua comparação em relação ao repouso inicial nos protocolos controle (PC) e experimental (PE). Valores expressos como média ± desvios-padrão. *Valor com diferença estatística em relação ao repouso (ANOVA para medidas repetidas seguida do teste de Bonferroni; $p < 0,05$); **Valor com diferença estatística em relação ao mesmo momento do protocolo experimental (Teste *t* de Student para dados não pareados; $p < 0,05$). **Legenda:** bpm = batimentos por minuto; min = minuto.

Nas tabelas 8 e 9 estão, respectivamente, os valores dos parâmetros PAS e PAD e dos parâmetros SpO_2 e f de repouso e recuperação para os dois protocolos realizados. No período de recuperação, valores significantemente maiores de PAS foram observados quando comparado o primeiro minuto ao repouso, tanto no PC (127,03 ± 12,63 vs. 116,12 ± 10,14 mmHg), quanto no PE (125,22 ± 11,57 vs. 113,54 ± 8,38 mmHg) e o terceiro minuto de recuperação ao repouso (119,61 ± 11,11 vs. 113,54 ± 8,38 mmHg) no PE. Além disso, no PC, a partir do trigésimo minuto de recuperação, a PAS exibiu valores significantemente menores quando comparados ao repouso, o que não ocorreu no PE. Para PAD diferenças significantes foram observadas no PC no primeiro, terceiro, quinto, trigésimo e quadragésimo minutos em comparação ao repouso, o que não foi observado no PE.

A análise da SpO_2 durante o período de recuperação mostrou que em todos os momentos analisados os valores foram menores no PC quando comparado ao PE ($p < 0,05$). Diferenças significantes foram também observadas no PC quando comparados os tempos 7, 10, 20 e 30 minutos ao repouso. Quanto à f, avaliada apenas no período de recuperação, observa-se valores significantemente maiores entre os tempos 1, 3, 5 e 7 em comparação ao repouso no PC, enquanto que, no PE essa significância se estendeu até o vigésimo minuto da recuperação.

Tabela 8. Valores médios, seguidos dos seus respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% de PAS e PAD obtidos nos protocolos controle e experimental em repouso e durante o período de recuperação.

Tempo	PAS (mmHg)		PAD (mmHg)	
	Controle	Experimental	Controle	Experimental
Repouso	116,12 ± 10,14 (120,0) [112,41 - 119,85]	113,54 ± 8,38 (110,0) [110,47 - 116,62]	75,87 ± 9,47 (80,0) [72,39 - 79,34]	75,12 ± 8,26 (70,0) [72,09 - 78,16]
1 min rec	127,03 ± 12,63 (120,0) [a] [122,40 - 131,67]	125,22 ± 11,57 (128,0) [a] [120,98 - 129,47]	69,90 ± 9,10 (70,0) [a] [66,56 - 73,24]	72,96 ± 8,94 (70,0) [69,68 - 76,24]
3 min rec	119,41 ± 11,76 (120,0) [115,10 - 123,73]	119,61 ± 11,11 (120,0) [a] [115,54 - 123,69]	71,22 ± 11,25 (70,0) [a] [67,10 - 75,35]	74,58 ± 9,00 (74,0) [71,27 - 77,88]
5 min rec	117,03 ± 10,89 (120,0) [113,04 - 121,03]	116,12 ± 11,45 (120,0) [111,93 - 120,33]	70,96 ± 10,81 (70,0) [a] [67,00 - 74,93]	74,45 ± 9,91 (78,0) [70,81 - 78,08]
7 min rec	116,38 ± 11,28 (110,0) [110,51 - 119,16]	115,61 ± 11,27 (120,0) [111,48 - 119,75]	73,22 ± 9,40 (70,0) [69,77 - 76,67]	74,96 ± 8,76 (78,0) [71,75 - 78,18]
10 min rec	114,83 ± 11,79 (110,0) [110,51 - 119,16]	114,58 ± 10,96 (118,0) [110,56 - 118,60]	74,06 ± 8,30 (76,0) [71,02 - 77,10]	75,09 ± 9,49 (76,0) [71,61 - 78,57]
20 min rec	113,48 ± 10,95 (110,0) [109,47 - 117,50]	112,25 ± 11,16 (110,0) [108,16 - 116,35]	73,48 ± 9,29 (70,0) [70,07 - 76,89]	74,58 ± 8,00 (70,0) [71,64 - 77,51]
30 min rec	110,96 ± 12,47 (110,0) [a] [106,39 - 115,54]	112,45 ± 10,33 (110,0) [108,66 - 116,24]	71,67 ± 9,42 (70,0) [a] [68,22 - 75,13]	75,48 ± 9,15 (70,0) [72,12 - 78,84]
40 min rec	110,83 ± 13,04 (110,0) [a] [106,06 - 115,62]	109,93 ± 10,58 (110,0) [106,05 - 113,82]	71,41 ± 9,98 (70,0) [a] [67,75 - 75,08]	74,19 ± 8,79 (70,0) [70,96 - 77,42]
50 min rec	112,19 ± 13,21 (110,0) [a] [107,35 - 117,04]	112,70 ± 10,46 (118,0) [108,87 - 116,55]	74,83 ± 10,64 (70,0) [70,93 - 78,74]	74,83 ± 7,94 (70,0) [71,92 - 77,75]
60 min rec	111,74 ± 11,97 (110,0) [a] [107,35 - 116,13]	115,35 ± 10,43 (120,0) [111,53 - 119,18]	74,64 ± 9,97 (70,0) [70,98 - 78,30]	77,80 ± 8,17 (80,0) [74,81 - 80,80]

[a]Valor com diferença estatística em relação ao repouso (ANOVA para medidas repetidas seguida do teste de Bonferroni; $p < 0,05$. **Legenda:** PAS = pressão arterial sistólica; PAD = pressão arterial diastólica; mmHg = milímetros de mercúrio; min = minuto; rec = recuperação.

Tabela 9. Valores médios, seguidos dos seus respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% de SpO_2 e f obtidos nos protocolos controle e experimental em repouso e durante o período de recuperação.

Tempo	SpO_2 (%)		f (irpm)	
	Controle	Experimental	Controle	Experimental
Repouso	97,12 ± 0,88 (97,0) [96,80 - 97,45]	97,45 ± 0,67 (97,0) [97,20 - 97,69]	16,25 ± 3,41 (16,0) [15,00 - 17,51]	15,74 ± 2,90 (16,0) [14,67 - 16,80]
1 min rec	96,64 ± 1,05 (97,0) [b] [96,26 - 97,03]	97,25 ± 0,85 (97,0) [96,94 - 97,57]	22,70 ± 4,54 (24,0) [a] [21,04 - 24,37]	23,35 ± 4,74 (24,0) [a] [21,61 - 25,09]
3 min rec	96,67 ± 0,79 (97,0) [b] [96,38 - 96,96]	97,32 ± 0,70 (97,0) [97,06 - 97,58]	20,90 ± 3,53 (20,0) [a] [19,60 - 22,19]	21,67 ± 3,83 (24,0) [a] [20,27 - 23,08]
5 min rec	96,74 ± 0,81 (97,0) [b] [96,44 - 97,04]	97,32 ± 0,79 (97,0) [97,03 - 97,61]	19,74 ± 3,41 (20,0) [a] [18,48 - 20,99]	20,51 ± 3,53 (20,0) [a] [19,21 - 21,81]
7 min rec	96,58 ± 0,88 (97,0) [a,b] [96,25 - 96,90]	97,29 ± 0,64 (97,0) [97,05 - 97,52]	18,70 ± 3,32 (20,0) [a] [17,48 - 19,93]	19,61 ± 3,32 (20,0) [a] [18,39 - 20,83]
10 min rec	96,54 ± 0,96 (97,0) [a,b] [96,19 - 96,90]	97,12 ± 0,67 (97,0) [96,88 - 97,37]	17,41 ± 3,35 (16,0) [b] [16,18 - 18,65]	19,22 ± 3,33 (20,0) [a] [18,00 - 20,44]
20 min rec	96,38 ± 0,98 (96,0) [a,b] [96,02 - 96,75]	97,12 ± 0,95 (97,0) [96,77 - 97,48]	17,16 ± 3,29 (16,0) [15,95 - 18,37]	18,06 ± 3,24 (20,0) [a] [16,87 - 19,25]
30 min rec	96,45 ± 0,96 (96,0) [a,b] [96,09 - 96,80]	97,51 ± 0,85 (98,0) [97,20 - 97,82]	16,90 ± 3,04 (16,0) [15,78 - 18,02]	17,16 ± 2,95 (16,0) [16,07 - 18,24]
40 min rec	96,80 ± 0,87 (97,0) [b] [96,48 - 97,12]	97,64 ± 0,79 (98,0) [97,35 - 97,93]	16,64 ± 3,28 (16,0) [15,44 - 17,84]	17,16 ± 3,29 (16,0) [15,95 - 18,37]
50 min rec	97,16 ± 0,82 (97,0) [b] [96,86 - 97,46]	97,61 ± 0,61 (98,0) [97,38 - 97,83]	15,61 ± 2,98 (16,0) [14,51 - 16,70]	16,77 ± 2,99 (16,0) [15,67 - 17,87]
60 min rec	97,09 ± 0,87 (97,0) [b] [96,77 - 97,41]	97,80 ± 0,87 (98,0) [97,48 - 98,12]	15,09 ± 2,67 (16,0) [14,11 - 16,07]	15,74 ± 2,90 (16,0) [14,67 - 16,80]

[a]Valor com diferença estatística em relação ao repouso (ANOVA para medidas repetidas seguida do teste de Bonferroni; $p < 0,05$); [b]Valor com diferença estatística em relação ao mesmo momento do protocolo experimental (Teste *t* de Student para dados não pareados; $p < 0,05$). **Legenda:** SpO_2 = saturação parcial de oxigênio; f = frequência respiratória; irpm = incursões respiratórias por minuto; min = minuto; rec = recuperação.

4.3.2. Análise da VFC no domínio do tempo

Para análise da VFC no domínio do tempo durante a recuperação foram utilizados os índices SDNN e RMSSD em seis diferentes momentos denominados: M1 (5 minutos finais do repouso), M5 (5º ao 10º minuto de recuperação), M6 (15º ao 20º minuto de recuperação), M7 (25º ao 30º minuto de recuperação), M8 (40º ao 45º minuto de recuperação) e M9 (55º ao 60º minuto de recuperação), como mostra a tabela 10.

Diferenças estatisticamente significantes para os dois índices foram observadas na análise intra e interprotocolos. Para o índice SDNN, observou-se diferença significante na comparação dos momentos M5, M6 e M7 da recuperação em relação ao M1, tanto do PC quanto do PE. Para esse mesmo índice foram observadas diferenças significantes entre os protocolos nos momentos M6 e M9.

Em relação ao índice RMSSD, observou-se diferença significante na comparação dos momentos M5, M6, M7, M8 e M9 da recuperação em relação ao M1 no PC e na comparação dos momentos M5 e M6 ao M1 no PE. Ainda, diferenças estatisticamente significantes foram observadas quando comparados os momentos M5, M6, M7, M8 e M9 do PC aos mesmos momentos do PE.

Tabela 10. Valores médios seguidos dos respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% dos índices de VFC no domínio do tempo dos protocolos controle e experimental nas condições de repouso e recuperação.

Índice	Protocolo	Momentos					
		M1	M5	M6	M7	M8	M9
SDNN (ms)	CONT	44,96 ± 15,8 (42,7) [39,15 - 50,77]	30,63 ± 12,74 (29,2) [a] [25,96 - 35,31]	29,82 ± 12,81 (26,1) [a,b] [25,12 - 34,52]	33,68 ± 14,54 (31,6) [a] [28,34 - 39,02]	38,52 ± 16,43 (36,0) [32,49 - 44,54]	39,63 ± 19,63 (35,7) [b] [32,43 - 46,83]
	EXP	49,03 ± 17,96 (46,5) [42,44 - 55,62]	31,96 ± 10,83 (28,3) [a] [27,98 - 35,93]	38,16 ± 15,95 (33,8) [a] [32,30 - 44,01]	39,37 ± 15,25 (36,7) [a] [33,77 - 44,97]	43,60 ± 17,43 (43,3) [37,21 - 49,99]	50,49 ± 22,46 (47,7) [42,25 - 58,73]
RMSSD (ms)	CONT	35,8 ± 18,97 (35,5) [28,84 - 42,76]	10,60 ± 7,87 (8,5) [a,b] [7,72 - 13,49]	17,12 ± 12,49 (11,1) [a,b] [12,54 - 21,71]	20,67 ± 14,43 (16,9) [a,b] [15,38 - 25,96]	20,65 ± 13,61 (19,7) [a,b] [15,66 - 25,65]	21,63 ± 15,55 (17,2) [a,b] [15,92 - 27,33]
	EXP	40,91 ± 19,6 (37,0) [33,72 - 48,11]	14,21 ± 8,80 (11,8) [a] [10,99 - 17,44]	22,00 ± 12,42 (18,9) [a] [17,45 - 26,56]	28,01 ± 14,65 (27,5) [22,64 - 33,39]	29,19 ± 16,00 (24,2) [23,32 - 35,06]	34,05 ± 20,34 (28,9) [26,59 - 41,51]

[a]Valor com diferença estatística em relação ao momento M1 (Teste de Friedman seguido do teste de Dunn; $p < 0,05$); [b]Valor com diferença estatística em relação ao mesmo momento do PE (Teste Mann-whitney; $p < 0,05$). **Legenda:** SDNN = desvio-padrão da média de todos os intervalos RR normais; RMSSD = raiz quadrada da média dos quadrados das diferenças entre os intervalos RR normais sucessivos; CONT = controle; EXP = experimental; M = momento; ms = milissegundos.

4.3.3. Análise da VFC no domínio da frequência

A tabela 11 mostra a análise da VFC no domínio do frequência em repouso e durante a recuperação dos protocolos controle e experimental. Foram analisados os índices LF (ms^2), HF (ms^2), LF (nu), HF (nu) e a relação LF/HF.

Para o índice LF (ms^2) foram observadas diferenças significantes apenas na análise intraprotocolos. Tanto no PC quanto no PE foram observadas diferenças significantes para esse índice quando comparados os momentos M5 e M6 ao M1.

Para os demais índices, diferenças estatisticamente significantes foram encontradas na análise intra e interprotocolos.

Foram observadas diferenças significantes quando comparados os momentos M5, M6, M7 e M8 ao M1 no PC, e os momentos M5 e M6 ao M1 no PE para o índice HF (ms^2). Na análise interprotocolos diferenças significantes também foram observadas nos momentos M5, M8 e M9.

O comportamento dos índices LF (nu) e HF (nu) foi semelhante quando analisados inter e intraprotocolos. Houve diferenças estatisticamente significantes quando comparados todos os momentos da recuperação ao M1 no PC e quando comparado M5 ao M1 no PE. Na análise entre os protocolos, diferenças significantes foram observadas nos momentos M5, M8 e M9.

Quanto à relação LF/HF, foram observadas diferenças estatisticamente significantes quando comparados todos os momentos ao M1 no PC e quando comparado o momento M5 ao M1 no PE. Diferenças significantes foram também observadas nos momentos M8 e M9 quando comparado o protocolo controle ao experimental.

Tabela 11. Valores médios seguidos dos respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% dos índices de VFC no domínio da frequência dos protocolos controle e experimental na condição de repouso e recuperação.

Índice	Protocolo	Momentos					
		M1	M5	M6	M7	M8	M9
LF (ms^2)	CONT	627,22 ± 488,69 (448,0) [448,0 - 806,46]	183,22 ± 194,00 (127,0) [a] [112,08 - 254,38]	317,32 ± 361,89 (234,0) [a] [184,60 - 450,05]	427,45 ± 370,75 (358,0) [291,48 - 563,42]	575,74 ± 674,29 (396,0) [328,44 - 823,04]	608,45 ± 585,18 (321,0) [393,83 - 823,07]
	EXP	814,93 ± 672,76 (529,0) [568,20 - 1061,7]	195,35 ± 119,13 (175,0) [a] [151,66 - 239,05]	364,87 ± 320,19 (262,0) [a] [247,44 - 482,30]	514,64 ± 466,55 (476,0) [343,53 - 685,76]	704,39 ± 690,92 (417,0) [451,10 - 957,68]	882,35 ± 1173,7 (396,0) [451,90 - 1312,8]
HF (ms^2)	CONT	612,58 ± 620,93 (423,0) [384,85 - 840,31]	68,25 ± 94,10 (31,0) [a,c] [33,74 - 102,77]	198,13 ± 247,98 (59,0) [a] [107,18 - 289,08]	258,32 ± 293,40 (102,0) [a] [150,72 - 365,93]	189,80 ± 205,92 (121,0) [a,c] [114,29 - 265,33]	285,51 ± 392,27 (100,0) [c] [141,65 - 429,38]
	EXP	675,38 ± 653,54 (442,0) [435,70 - 915,07]	122,54 ± 149,95 (78,0) [a] [67,55 - 177,54]	275,96 ± 303,31 (153,0) [a] [164,73 - 387,21]	387,41 ± 364,26 (328,0) [253,83 - 521,01]	410,74 ± 407,51 (225,0) [261,29 - 560,20]	555,87 ± 648,99 (345,0) [317,85 - 793,89]
LF (nu)	CONT	55,52 ± 17,93 (55,4) [48,95 - 62,10]	77,11 ± 11,76 (78,9) [a,d] [72,80 - 81,43]	70,57 ± 17,32 (71,8) [a] [64,21 - 76,93]	69,53 ± 16,92 (70,6) [a] [63,32 - 75,74]	74,93 ± 13,86 (79,2) [a,c] [69,85 - 80,02]	74,55 ± 13,25 (74,4) [a,c] [69,69 - 79,42]
	EXP	57,32 ± 18,8 (58,8) [50,42 - 64,21]	68,88 ± 17,33 (70,7) [b] [62,52 - 75,24]	62,48 ± 20,44 (67,1) [54,98 - 69,98]	60,87 ± 18,74 (58,7) [54,00 - 67,74]	64,09 ± 15,14 (63,1) [58,54 - 69,65]	61,07 ± 17,63 (63,3) [54,60 - 67,54]
HF (nu)	CONT	44,47 ± 17,93 (44,6) [37,89 - 51,04]	22,76 ± 11,84 (21,1) [a,d] [18,42 - 27,11]	29,42 ± 17,32 (28,2) [a] [23,07 - 35,78]	30,46 ± 16,92 (29,4) [a] [24,25 - 36,67]	25,06 ± 13,86 (20,8) [a,c] [19,97 - 30,15]	25,44 ± 13,25 (25,6) [a,c] [20,58 - 30,30]
	EXP	42,67 ± 18,8 (41,2) [35,78 - 49,57]	31,11 ± 17,33 (29,3) [b] [24,75 - 37,47]	37,51 ± 20,44 (32,9) [30,01 - 45,01]	39,12 ± 18,74 (41,3) [32,25 - 45,99]	35,90 ± 15,14 (36,9) [30,34 - 41,45]	38,92 ± 17,63 (36,7) [32,46 - 45,39]
LF/HF	CONT	1,74 ± 1,44 (1,24) [1,21 - 2,27]	5,47 ± 5,11 (3,74) [a] [3,60 - 7,35]	4,16 ± 3,96 (2,55) [a] [2,71 - 5,61]	4,58 ± 5,65 (2,39) [a] [2,51 - 6,65]	4,51 ± 3,59 (3,81) [a,c] [3,20 - 5,84]	4,13 ± 3,04 (2,90) [a,c] [3,01 - 5,25]
	EXP	1,94 ± 1,53 (1,42) [1,37 - 2,50]	3,60 ± 3,11 (2,41) [a] [2,46 - 4,74]	3,11 ± 3,65 (2,04) [1,77 - 4,45]	2,39 ± 2,05 (1,42) [1,64 - 3,15]	2,53 ± 2,03 (1,70) [1,79 - 3,28]	2,38 ± 2,25 (1,72) [1,55 - 3,21]

[a]Valor com diferença estatística em relação ao momento M1 (Teste de Friedman seguido do teste de Dunn; $p < 0,05$); [b]Valor com diferença estatística em relação ao momento M1 (ANOVA para medidas repetidas seguida do teste de Bonferroni; $p < 0,05$); [c]Valor com diferença estatística em relação ao mesmo momento do PE (Teste Mann-whitney; $p < 0,05$); [d]Valor com diferença estatística em relação ao mesmo momento do PE (Teste t de *Student* para dados não pareados; $p < 0,05$). **Legenda:** LF = baixa frequência; HF = alta frequência; CONT = controle; EXP = experimental; M = momento; ms = milissegundos; nu = unidades normalizadas.

4.3.4. Análise da VFC no domínio do caos

4.3.4.1. *Plot* de Poincaré

Os índices do *plot* de Poincaré SD1, SD2 e a relação SD1/SD2 da VFC no domínio do caos foram analisados durante a realização dos protocolos experimental e controle nos momentos M1 (repouso) e M5, M6, M7, M8 e M9 (recuperação), como mostra a tabela 12.

Foram observadas diferenças estatisticamente significantes para todos os índices tanto na análise intra quanto interprotocolos.

Para o índice SD1, foram observadas diferenças estatisticamente significantes quando comparados todos os momentos ao M1 no PC, e quando comparados os momentos M5 e M6 ao M1 no PE. Na análise entre os protocolos, diferenças significantes foram também observadas em todos os momentos da recuperação.

Na análise do índice SD2, foram observadas diferenças estatisticamente significantes quando comparados os momentos M5, M6 e M7 ao M1 no PC e M5 e M6 ao M1 no PE. Na análise entre os protocolos, diferenças significantes foram observadas no momento M6 da recuperação.

Quanto à relação SD1/SD2, foram observadas diferenças estatisticamente significantes quando comparado o momento M1 a todos os demais momentos da recuperação no PC, e quando comparado o momento M1 aos momentos M5, M6 e M8 no PE. Na análise entre os protocolos foram observadas diferenças significantes quando comparado os valores obtidos para os momentos M7, M8 e M9.

Tabela 12. Valores médios seguidos dos respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% dos índices obtidos do *plot* de Poincaré (SD1, SD2 e relação SD1/SD2) dos protocolos controle e experimental nas condições de repouso e recuperação.

Índice	Protocolo	Momentos					
		M1	M5	M6	M7	M8	M9
SD1 (ms)	CONT	25,34 ± 13,44 (25,1) [20,41 - 30,27]	7,50 ± 5,57 (6,0) [a,b] [5,46 - 9,55]	12,12 ± 8,84 (7,8) [a,b] [8,87 - 15,36]	14,64 ± 10,22 (12,0) [a,b] [10,89 - 18,39]	14,63 ± 9,64 (14,0) [a,b] [11,09 - 18,17]	15,31 ± 11,00 (12,2) [a,b] [11,27 - 19,35]
	EXP	28,97 ± 13,88 (26,2) [23,88 - 34,06]	10,06 ± 6,23 (8,4) [a] [7,77 - 12,35]	15,67 ± 8,72 (13,4) [a] [12,47 - 18,87]	19,83 ± 10,38 (19,5) [16,03 - 23,64]	20,68 ± 11,34 (17,1) [16,52 - 24,84]	24,12 ± 14,40 (20,4) [18,84 - 29,41]
SD2 (ms)	CONT	57,49 ± 20,45 (55,0) [49,99 - 64,99]	42,40 ± 17,78 (38,7) [a] [35,88 - 48,93]	40,09 ± 16,60 (34,6) [a,b] [34,00 - 46,17]	44,89 ± 18,93 (42,7) [a] [37,95 - 51,83]	51,95 ± 22,40 (48,3) [43,73 - 60,16]	53,48 ± 26,31 (48,3) [43,83 - 63,13]
	EXP	62,26 ± 23,15 (54,5) [53,77 - 70,75]	43,57 ± 15,32 (39,4) [a] [37,95 - 49,19]	51,15 ± 21,99 (45,6) [a] [43,08 - 59,21]	51,56 ± 20,08 (48,2) [44,19 - 58,92]	57,64 ± 23,06 (55,8) [49,18 - 66,10]	66,46 ± 30,03 (61,5) [55,45 - 77,48]
SD1/SD2	CONT	0,44 ± 0,20 (0,42) [0,37 - 0,52]	0,18 ± 0,10 (0,17) [a] [0,14 - 0,22]	0,27 ± 0,12 (0,24) [a] [0,23 - 0,32]	0,30 ± 0,14 (0,28) [a,b] [0,25 - 0,35]	0,28 ± 0,15 (0,25) [a,b] [0,22 - 0,33]	0,27 ± 0,13 (0,22) [a,b] [0,22 - 0,31]
	EXP	0,47 ± 0,17 (0,44) [0,40 - 0,53]	0,24 ± 0,14 (0,24) [a] [0,19 - 0,29]	0,32 ± 0,15 (0,28) [a] [0,26 - 0,37]	0,38 ± 0,15 (0,38) [0,32 - 0,43]	0,36 ± 0,13 (0,32) [a] [0,31 - 0,41]	0,37 ± 0,17 (0,34) [0,30 - 0,43]

[a]Valor com diferença estatística em relação ao momento M1 (Teste de Friedman seguido do teste de Dunn; $p < 0,05$); [b]Valor com diferença estatística em relação ao mesmo momento do PE (Teste Mann-whitney; $p < 0,05$). **Legenda:** SD1 = desvio-padrão da variabilidade instantânea batimento a batimento; SD2 = desvio-padrão a longo prazo dos intervalos R-R contínuos; CONT = controle; EXP = experimental; M = momento; ms = milissegundos.

‘4.3.4.2. *Plot* de recorrência e análise de flutuações depurada de tendências

Os índices obtidos pelo *plot* de recorrência (REC, DET e ApEn) e pela análise de flutuações depurada de tendências (DFA total, alfa-1 e alfa-2) analisados durante a realização dos protocolos experimental e controle são mostrados na tabela 13.

Em relação ao *plot* de recorrência foram observadas diferenças estatisticamente significantes tanto para o REC quanto para o DET quando comparados todos os momentos analisados ao M1 no PC e os momentos M5 e M6 ao M1 no PE. Diferenças significantes para a REC nos momentos M7, M8 e M9 e para o DET nos momentos M8 e M9 foram também observadas quando comparados os protocolos controle e experimental. Para a ApEn, foram observadas diferenças quando comparados os momentos M5 e M8 ao M1 no PC e quando comparados os momentos M8 e M9 do PC aos mesmos momentos do PE.

Quanto à análise dos índices obtidos pelo DFA, foram observadas diferenças estatisticamente significantes para todos os índices do PC quando comparados os momentos da recuperação ao momento de repouso M1. No PE, foram observadas diferenças quando comparados os momentos M5 e M6 ao M1 para o índice DFA total; quando comparados os momentos M5, M6, M7 e M8 ao M1 para o índice alfa-1; e quando comparados os momentos M5, M6 e M9 ao M1 para o índice alfa-2.

Na análise interprotocolos, diferenças estatisticamente significantes foram observadas para os momentos M5, M7 e M8 no índice DFA total; para os momentos M7, M8 e M9 no alfa-1; e para o momento M5 no alfa-2.

Tabela 13. Valores médios seguidos dos respectivos desvios-padrão, mediana e intervalo de confiança a 95% para os índices obtidos pelo *plot* de recorrência e DFA dos protocolos controle e experimental nas condições de repouso e recuperação.

Índice	Protocolo	Momentos					
		M1	M5	M6	M7	M8	M9
REC (%)	CONT	25,65 ± 9,70 (24,58) [22,09 - 29,21]	42,73 ± 9,85 (42,03) [a] [39,11 - 46,34]	34,20 ± 9,97 (35,87) [a] [30,54 - 37,86]	33,88 ± 10,55 (33,81) [a,c] [30,01 - 37,75]	35,07 ± 11,21 (36,33) [a,c] [30,96 - 39,19]	35,47 ± 8,84 (37,66) [a,d] [32,23 - 38,72]
	EXP	23,98 ± 9,19 (23,84) [20,61 - 27,35]	38,29 ± 11,14 (40,0) [b] [34,20 - 42,38]	33,89 ± 12,89 (35,12) [b] [29,16 - 38,62]	27,49 ± 9,35 (28,06) [24,06 - 30,92]	27,73 ± 9,86 (28,36) [24,11 - 31,35]	28,77 ± 10,90 (26,74) [24,77 - 32,77]
DET (%)	CONT	96,54 ± 2,68 (97,07) [95,55 - 97,52]	99,35 ± 0,92 (99,65) [a] [99,01 - 99,69]	98,43 ± 1,71 (99,11) [a] [97,81 - 99,06]	98,24 ± 1,77 (98,79) [a] [97,59 - 98,90]	98,36 ± 2,05 (99,23) [a,d] [97,60 - 99,11]	98,66 ± 1,75 (99,30) [a,d] [98,02 - 99,30]
	EXP	96,22 ± 2,62 (97,04) [95,26 - 97,18]	98,73 ± 1,77 (99,46) [a] [98,08 - 99,38]	97,97 ± 2,22 (98,98) [a] [97,16 - 98,79]	97,31 ± 2,46 (98,32) [96,40 - 98,22]	97,30 ± 2,33 (98,44) [96,45 - 98,16]	97,28 ± 2,43 (97,87) [96,39 - 98,17]
ApEn	CONT	1,11 ± 0,10 (1,1) [1,07 - 1,15]	0,84 ± 0,31 (0,95) [a] [0,73 - 0,96]	1,03 ± 0,15 (1,06) [0,97 - 1,08]	1,05 ± 0,17 (1,13) [0,99 - 1,12]	0,95 ± 0,19 (1,06) [a,d] [0,90 - 1,04]	0,98 ± 0,16 (0,98) [d] [0,92 - 1,04]
	EXP	1,07 ± 0,10 (1,09) [1,03 - 1,11]	0,93 ± 0,27 (1,02) [0,83 - 1,03]	1,03 ± 0,17 (1,05) [0,96 - 1,09]	1,08 ± 0,10 (1,09) [1,04 - 1,12]	1,10 ± 0,10 (1,14) [1,06 - 1,14]	1,08 ± 0,14 (1,11) [1,03 - 1,14]
DFA total	CONT	0,82 ± 0,19 (0,83) [0,75 - 0,89]	1,10 ± 0,17 (1,08) [a,c] [1,03 - 1,16]	0,98 ± 0,17 (1,02) [a] [0,92 - 1,05]	0,97 ± 0,16 (0,97) [a,c] [0,91 - 1,03]	1,00 ± 0,20 (1,05) [a,c] [0,92 - 1,07]	0,99 ± 0,16 (0,99) [a] [0,93 - 1,05]
	EXP	0,80 ± 0,15 (0,80) [0,75 - 0,86]	0,96 ± 0,16 (0,97) [b] [0,90 - 1,02]	0,92 ± 0,19 (0,86) [b] [0,85 - 1,00]	0,88 ± 0,16 (0,88) [0,82 - 0,94]	0,88 ± 0,17 (0,90) [0,81 - 0,94]	0,90 ± 0,18 (0,90) [0,83 - 0,97]
alfa-1	CONT	0,89 ± 0,21 (0,88) [0,81 - 0,96]	1,19 ± 0,18 (1,21) [b] [1,12 - 1,26]	1,10 ± 0,23 (1,13) [b] [1,02 - 1,19]	1,08 ± 0,23 (1,05) [b,c] [0,99 - 1,17]	1,15 ± 0,23 (1,16) [b,c] [1,06 - 1,23]	1,17 ± 0,21 (1,20) [b,c] [1,09 - 1,25]
	EXP	0,87 ± 0,22 (0,93) [0,79 - 0,96]	1,08 ± 0,23 (1,12) [b] [1,00 - 1,17]	1,01 ± 0,24 (0,99) [b] [0,92 - 1,11]	0,96 ± 0,24 (0,96) [b] [0,87 - 1,05]	0,98 ± 0,21 (0,94) [b] [0,90 - 1,05]	0,95 ± 0,24 (0,91) [0,86 - 1,04]
alfa-2	CONT	0,81 ± 0,21 (0,78) [0,73 - 0,89]	1,07 ± 0,21 (1,06) [b,c] [0,99 - 1,15]	0,93± 0,19 (0,96) [b] [0,86 - 1,00]	0,91 ± 0,16 (0,89) [b] [0,85 - 0,97]	0,92 ± 0,21 (0,95) [b] [0,85 - 1,00]	0,92 ± 0,18 (0,91) [b] [0,85 - 0,98]
	EXP	0,79 ± 0,18 (0,79) [0,72 - 0,86]	0,93 ± 0,18 (0,91) [b] [0,86 - 1,00]	0,91 ± 0,23 (0,83) [b] [0,82 - 0,99]	0,87 ± 0,16 (0,83) [0,81 - 0,93]	0,85 ± 0,19 (0,86) [0,77 - 0,92]	0,92 ± 0,21 (0,91) [b] [0,84 - 1,00]

[a]Valor com diferença estatística em relação ao momento M1 (teste de Friedman seguido do teste de Dunn; $p < 0,05$); [b]Valor com diferença estatística em relação ao momento M1 (ANOVA para medidas repetidas seguida do teste de Bonferroni; $p < 0,05$; [c]Valor com diferença estatística em relação ao mesmo momento do PE (Teste t de *Student* para dados não pareados; $p < 0,05$); [d]Valor com diferença estatística em relação ao mesmo momento do PE (Teste Mann-whitney; $p < 0,05$). **Legenda:** REC = taxa de recorrência; DET = determinismo; ApEn = entropia aproximada; DFA = análise de flutuações depurada de tendências; CONT = controle; EXP = experimental; M = momento.

Discussão

5. DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo sugerem que o protocolo de hidratação empregado influenciou o comportamento dos parâmetros cardiorrespiratórios de jovens submetidos a uma atividade física submáxima de intensidade constante e longa duração, ao possibilitar, durante a sua realização, oscilações mínimas dessas variáveis e consequentemente, menor sobrecarga ao sistema e, durante a recuperação, retorno mais rápido das mesmas às condições basais.

No que se refere aos métodos de análise de VFC, o protocolo de hidratação executado, apesar de ter produzido em geral menores alterações nos índices de VFC, não foi suficiente para influenciar, significantemente, os índices lineares e não lineares durante o exercício físico. Contudo, induziu no período de recuperação modificações significantes na modulação autonômica cardíaca, promovendo recuperação mais rápida dos índices de VFC, analisados tanto nos domínios do tempo e da frequência quanto no domínio do caos.

5.1. Análise em exercício – parâmetros cardiorrespiratórios

A avaliação da massa corporal dos voluntários antes e ao final dos protocolos aplicados mostrou que a quantidade de líquido perdida no PC foi em média 2% do peso corporal, perda essa que foi evitada com a hidratação. Esses achados podem explicar a queda da PAS e da PAD durante o exercício quando nenhum fluido foi ingerido, e a manutenção de seus valores, quando a solução hidroeletrolítica foi administrada. Presume-se que a redução do VS ocasionada pela queda da volemia e consequente comprometimento do retorno venoso, condições que são observadas

com o aumento do déficit hídrico [32,34,36,41,45,46], seja responsável pelo comportamento da pressão arterial que foi encontrado no presente estudo.

Padrão semelhante ao observado para a PAS e para a PAD foi encontrado no estudo de González-Alonso *et al.* [124]. Apesar de permanecerem constantes durante os primeiros 90 minutos de exercício, as pressões arteriais reduziram significantemente a partir de duas horas de exercício desidratado, sendo esse comportamento não observado quando mantida a hidratação. Outro estudo observou redução significante a partir de uma hora de exercício da PAS e da pressão arterial média na condição desidratada comparada à condição hidratada Contudo, a PAD foi notavelmente constante em todo o exercício, sem qualquer influência da hidratação [8].

Contrapondo-se à queda da pressão arterial, os valores de FC, mesmo que não significantes, foram maiores quando nenhum fluido foi ingerido durante o exercício. Corroborando com esse achado, Hamilton *et al.* [7] e González-Alonso *et al.* [8] evidenciaram aumento da FC (10% e 19%), bem como redução do VE (15% e 28%) quando os sujeitos executavam duas horas de exercício sem o consumo de qualquer fluido. Quando água ou fluido a base de pó de *gatorade* foram administrados, a FC aumentou respectivamente, 5% e 6%, e o VE não se alterou [7,8].

Khanna e Manna [125], ao submeterem atletas a um esforço submáximo, também observaram valores de FC menores quando bebida a base de carboidratos e eletrólitos foi ingerida a cada 15 minutos durante o exercício, ao contrário da não suplementação. Contrariando esses achados, Horswill *et al.* [126] não encontraram evidências de que a ingestão aguda de carboidratos antes e durante uma hora de

exercício a 65% do VO_2 máximo altera a resposta da FC como também da temperatura central.

Possivelmente, condições como alteração do metabolismo muscular, redução da sensibilidade dos barorreceptores [63], dificuldade na manutenção da pressão arterial [81], aumento dos níveis de catecolaminas circulantes e maior hipertermia [8], possam ter influenciado o controle autonômico da FC [10,83] e estarem envolvidos com a sua elevação na condição hipoidratada.

Além disso, a diminuição do volume sanguíneo reduz a pressão venosa central, o enchimento cardíaco e, consequentemente o VE, exigindo um aumento compensatório na FC [32,34,36,41]. Ao realizar um exercício de forma constante e por um longo período de tempo (acima de 30 minutos) e ainda, sem respeitar os procedimentos de reidratação, uma sequência de eventos fisiológicos tende a acontecer, originando o fenômeno denominado *cardiovascular drift* [127,128]. Com a redução da pré-carga, ocorre a consequente redução do VS. Considerando que o exercício é realizado de forma constante, há necessidade de manutenção do equilíbrio metabólico. Dessa forma, a FC tende a se elevar para compensar a atenuação do VE [127,128].

Em relação ao comportamento observado para a SpO_2, levando em consideração que todos os voluntários eram saudáveis e sem qualquer tipo de alteração respiratória, a queda observada na SpO_2 quando comparado o repouso com o tempo de 90 minutos em ambos os protocolos sugere uma eventualidade sem implicações fisiológicas. Entretanto, a incapacidade do sistema circulatório sustentar um aumento linear na distribuição de oxigênio para os músculos locomotores [129] pode estar implicada na queda da SpO_2 ao final do exercício.

5.2. Análise em exercício – variabilidade da frequência cardíaca

A análise dos componentes de VFC que refletem predominantemente o tônus parassimpático do SNA [20,71], RMSSD, HF (nu) e SD1, evidenciou valores maiores, contudo não significantes, quando bebida isotônica foi administrada aos voluntários em comparação ao PC. Como já foi descrito, a redução da resposta barorreceptora, a dificuldade na manutenção da pressão arterial e a elevação dos níveis de catecolaminas circulantes durante o exercício são fatores responsáveis por reduzir a modulação vagal em indivíduos desidratados [63,81,82,130] e que podem ter influenciado os menores valores desses índices no PC.

Embora se tenha verificado tal comportamento, é sabido que para compensar a demanda exigida pelo organismo submetido ao exercício dinâmico, o ramo simpático do SNA passa a predominar sobre o ramo parassimpático [131]. O aumento da FC, que ocorre com o aumento do metabolismo, tem sido associado à redução da VFC global [132], sendo essa também evidenciada em nossos achados.

Os índices SDNN, SD2 e SD1/SD2, que refletem a variabilidade global, ou seja, tanto a modulação vagal quanto a modulação simpática [20,71], apresentaram-se reduzidos no período de exercício. No entanto, apesar de não significante, a bebida isotônica administrada promoveu menor redução desses índices comparada à condição controle. Possivelmente, fatores predisponentes à redução da modulação vagal em indivíduos desidratados [63,81,82,130] tenham influenciado as respostas dos índices globais na condição hipoidratada.

A redução da VFC global é esperada durante o exercício físico [70] a fim de proporcionar aumentos na FC, VS, DC e PAS, e consequentemente atender as necessidades metabólicas do organismo [133]. Tendo como base esse relato, pode-se justificar o incremento, durante o exercício físico, nos valores de LF (nu),

componente da VFC modulado predominantemente pelo ramo simpático [20], e da relação LF/HF, que expressa o balanço simpato-vagal [20]. Segundo Mendonca *et al.* [134], o aumento desses índices espectrais, sugere ativação simpática com uma mudança bem definida para sua dominância durante o exercício dinâmico de intensidades baixa e moderada.

Javorka *et al.* [135], ao monitorarem a VFC de 17 indivíduos submetidos a oito minutos de "*step test*" com uma frequência correspondente a 70% da potência máxima individual, também evidenciaram redução dos índices SDNN, RMSSD e HF e aumento do índice LF durante o exercício físico.

A redução da VFC global, proveniente da redução da atividade cardíaca vagal durante o exercício físico, é acompanhada da diminuição da potência absoluta (ms^2) de cada componente espectral [132]. Esse comportamento foi também observado no presente estudo. Os índices LF (ms^2) e HF (ms^2) reduziram durante o exercício físico comparado ao repouso, independente da administração de bebida isotônica. Estudos mostram que ambos os índices espectrais decrescem exponencialmente em função da intensidade do exercício [136,137]. Dessa forma, devido à manutenção da carga de trabalho ao longo da atividade dinâmica do presente estudo, as mínimas variações observadas nos valores desses índices foram esperadas.

No estudo de Casties *et al.* [74], resultados semelhantes para os índices SDNN e RMSSD foram observados quando sete jovens realizaram três estágios de oito minutos de duração, consecutivos, a 40, 70 e 90% do VO_2 máximo. Contudo, contrariando com os nossos achados, foi observada redução dos índices LF (nu) e LF/HF, e aumento de HF (nu) em todas as intensidades. Os autores justificam tal comportamento pelo efeito mecânico da hiperpnéia sobre o nó sinusal, além da sincronização entre batimentos cardíacos, respiração e pedalada. Provavelmente, a

forma de execução do exercício físico, no que se refere à intensidade e à duração da atividade, tenha favorecido essa divergência de resultados.

Quando foram empregados métodos não lineares para análise da VFC, esses mesmos autores observaram que durante o exercício de alta intensidade (90% do VO_2 máximo), a análise de flutuações depuradas de tendências revelou uma organização fractal da VFC que tendeu a aleatoriedade [(74)].

Em nosso estudo, mesmo durante o exercício de moderada intensidade (60% do VO_{2pico}), os valores do expoente alfa-1 do DFA reduziram e tenderam à aleatoriedade, sendo esse comportamento observado em maior grau na condição hipoidratada. De forma inversa, os valores do DFA total e alfa-2 aumentaram, tendendo para uma condição linear, independente da hidratação.

Sabe-se que na análise dos expoentes obtidos a partir do DFA, valores próximos a 1,0 são característicos de um sistema fractal, o qual é considerado benéfico, pois representa o equilíbrio entre a completa aleatoriedade e previsibilidade [(138)]. Já valores próximos a 0,5 estão associados a um sinal aleatório, ao passo que valores próximos a 1,5 são fortemente associados à linearidade do sinal [(139)].

A redução de alfa-1 durante o exercício, observada mais expressivamente no PC, sugere maior perda ou desorganização das propriedades de correlação fractal de curto prazo da dinâmica da FC para um comportamento mais aleatório quando os indivíduos encontram-se hipoidratados.

Em relação ao comportamento dos índices do *plot* de recorrência, ambos os valores de REC e DET exibiram aumento significante durante o exercício físico comparado ao repouso inicial, independente da administração de fluido reidratante;

ao passo que, para os valores de ApEn, não foram observadas diferenças durante o exercício físico comparado ao repouso inicial, em ambos os protocolos.

Segundo Webber e Zbilut [140] processos lineares produzem elevada porcentagem de pontos de recorrência e de determinismo, enquanto que, em processos caóticos são observadas baixa taxa de recorrência e de determinismo. Já processos aleatórios podem produzir alta ou baixa taxa de recorrência, mas sempre baixa porcentagem de determinismo.

A entropia aproximada (ApEn), que quantifica a complexidade de uma série temporal, revela, segundo Pincus *et al.* [141], que quanto mais complexa a série maior será o seu valor e quanto mais regular e previsível for menor o seu valor.

Os resultados sugerem que o exercício físico executado nesse estudo, independente do estado de hidratação, promoveu perda do comportamento caótico (não linear) da FC.

Em resumo, a quantidade de solução hidroeletrolítica administrada durante o exercício físico, apesar de ter produzido em geral menores alterações nos índices de VFC, não foi suficiente para influenciar de forma significativa as alterações observadas na modulação autonômica cardíaca induzidas pelo protocolo de exercício realizado.

5.3. Análise em recuperação – parâmetros cardiorrespiratórios

A recuperação da FC imediatamente após o exercício é mediada pela reativação na modulação da atividade parassimpática e a taxa de declínio desse parâmetro parece ser reflexo da recuperação mais rápida da atividade simpática necessária durante o exercício físico [142]. Adicionalmente, a taxa de retorno da FC

aos valores basais após o exercício está associada à boa condição física e de saúde [143].

O seguimento da ingestão de solução hidroeletrolítica no período de pós-exercício promoveu, no presente estudo, melhor recuperação da FC em comparação à condição na qual nenhum fluido foi administrado.

Tem sido sugerido que a hidratação promove redução da atividade simpática que, provavelmente, decorre de um efeito secundário da atividade vagal aferente reforçada em resposta à modulação dos barorreceptores durante a distensão gástrica [63,144]. Vianna *et al.* [145] mostraram que o consumo de água acelerou a reativação cardíaca vagal pós-exercício, mas as respostas de FC não sofreram significante influência. Já Routledge *et al.* [146] constataram que ingestão de 500 ml de água provocou uma resposta bradicárdica, seguida por um aumento da atividade cardíaca vagal. Esses aspectos podem ter influenciado o padrão de resposta da FC observado em nosso estudo quando a solução hidroeletrolítica foi ingerida.

Adicionalmente, o aumento da temperatura corporal, desencadeado pelo exercício e pela hipoidratação, é conhecido por aumentar o disparo do nó sinusal [130,147,148]. Ainda, a hiperosmolaridade ocasionada pela desidratação, foi referida como provável causa do aumento da atividade simpática em pessoas desidratadas [42]. Dessa maneira, o estado de hidratação e a temperatura corporal do indivíduo podem alterar o grau do controle autonômico da FC durante a recuperação do exercício [10].

No presente estudo, imediatamente após o exercício, o valor de temperatura corporal dos indivíduos na condição hipoidratada foi maior do que na condição hidratada. Partindo desse pressuposto, pode-se inferir que a pequena variação na temperatura corporal evidenciada na condição hidratada associada à manutenção

do estado de hidratação no pós-exercício também influenciaram o comportamento da FC observado no presente estudo.

Apesar da solução hidroeletrolítica ter proporcionado melhor recuperação da FC, não foi observado retorno de seus valores às condições basais. Khanna e Manna [125] após administrarem 100 ml de bebida contendo carboidratos e eletrólitos ao longo de 20 minutos pós-exercício submáximo evidenciaram que, apesar da melhora significante da FC após a suplementação, o parâmetro não retornou aos valores pré-exercício. Presume-se que o tempo de recuperação utilizado no estudo de Khanna e Manna [125] (20 minutos), bem como em nosso estudo (60 minutos), não foi suficiente para total restauração da função cardiovascular, visto que após 120 minutos Costill e Sparks [66] evidenciaram retorno da FC às condições basais.

Em relação ao comportamento da PAS, os maiores valores observados nos minutos iniciais da recuperação em relação ao repouso inicial, em ambos os protocolos, parece estar associado ao término imediato do exercício físico, uma vez que o mesmo exige do organismo capacidade em coordenar múltiplas respostas metabólicas frente ao aumento das necessidades da musculatura esquelética em atividade [149].

Já os valores de PAD mantiveram-se constantes quando houve a reposição líquida e exibiram queda significante nos primeiros minutos da recuperação no PC. A redução da PAD na condição hipoidratada pode estar relacionada ao aumento da temperatura corporal, evidenciado após o exercício físico. A fim de auxiliar o processo de dissipação do calor, o sistema cardiovascular reduz a resistência periférica promovendo vasodilatação com concomitante aumento do fluxo sanguíneo cutâneo [27,29,30].

Ainda assim, a hidratação teve pouco efeito sobre os valores de pressão arterial, podendo ser consideradas ocasionais as diferenças encontradas ao longo do período de recuperação. Brown *et al.* [150], ao avaliarem as respostas cardiovasculares à água potável, observaram que ao longo de uma hora, a ingestão do líquido promoveu pouco efeito sobre a pressão arterial em jovens saudáveis. Vianna *et al.* [145], após submeterem dez sujeitos a ingestão de 500 ml (experimental) e 50 ml (controle) de água imediatamente após o teste de quatro segundos, observaram que o padrão da PAS pós-exercício não foi afetado pela quantidade de água consumida.

Charkoudian *et al.* [63] desenvolveram um estudo sobre a resposta barorreflexa arterial e evidenciaram resultados alterados quando infusão intravenosa de solução salina foi utilizada como fluido reidratante após o exercício. Utilizando um protocolo de 90 minutos de exercício para causar desidratação, os autores observaram redução da atividade barorreflexa, que foi avaliada por meio da capacidade de resposta da FC às mudanças de PAS, quando comparada aos indivíduos euidratados. No entanto, a infusão de solução salina após o exercício não alterou o aumento da FC ou a redução da resposta barorreflexa em comparação aos valores pré-exercício, o que fornecem evidências adicionais de que as alterações barorreflexas não contribuem para prevenir a intolerância ortostática em pessoas hipoidratadas.

Contrapondo-se às repostas de pressão arterial observadas neste estudo, a SpO_2 foi significantemente influenciada pela hidratação no período pós-exercício. González-Alonso e Calbet [151] evidenciaram que o estresse no calor reduz o VO_2 máximo, acelera a queda do DC e da pressão arterial média, que levam ao decréscimo do fluxo sanguíneo muscular e da oferta de oxigênio. Provavelmente, a

preservação do sistema circulatório na condição hidratada tenha beneficiado o comportamento da SpO_2 observado em nosso estudo.

Por fim, o comportamento da f não foi influenciado pela condição de hidratação e mostrou-se dentro dos padrões de normalidade. Os maiores valores encontrados nos primeiros minutos da recuperação comparados ao repouso são esperados, já que estímulos físicos e químicos que ocorrem com o exercício, como a diminuição do pH e o aumento da temperatura, promovem a elevação da frequência respiratória [152,153].

5.4. Análise em recuperação – variabilidade da frequência cardíaca

As respostas de VFC, tanto por meio de métodos lineares quanto por métodos não lineares, foram influenciadas no período pós-exercício quando solução hidroletrolítica foi continuamente administrada.

Os índices que refletem a predominância da atividade vagal, RMSSD, HF (ms^2), HF (nu) e SD1, analisados no presente estudo, exibiram um aumento gradativo e recuperação rápida, observada em torno de 25 minutos, na condição hidratada. Em contrapartida, não foi observada recuperação completa desses índices na condição hipoidratada.

Neste sentido, os índices que refletem predominantemente a atividade nervosa simpática, LF (ms^2) e LF (nu), também se recuperaram mais rapidamente no PE, principalmente o índice LF (nu) que aos 15 minutos do período pós-exercício retornou à condição basal. No PC, apesar do índice LF (ms^2) ter demonstrado comportamento similar ao observado no PE, o índice LF (nu) não se recuperou, sugerindo uma predominância simpática na condição hipoidratada.

A manutenção do volume e da osmolaridade plasmática associadas à conservação da temperatura corporal pode ter influenciado a recuperação dos índices de VFC, avaliados tanto no domínio do tempo quanto da frequência, quando solução isotônica foi continuamente administrada pós-exercício. Por outro lado, a hiperosmolaridade plasmática e o aumento da temperatura corporal, fatores que estão associados à desidratação, possivelmente prejudicaram a recuperação das variáveis autonômicas à condição basal no PC.

Durante condições de desidratação ocorre redução do volume intravascular e hiperosmolaridade plasmática que desencadeiam aumento da atividade simpática e do controle barorreflexo a fim de atuarem como mecanismos protetores contra a hipotensão [154]. Charkoudian *et al.* [63] observaram também que a combinação de exercício e desidratação causa intolerância ortostática e taquicardia pós-exercício em indivíduos saudáveis.

As alterações na osmolaridade plasmática parecem ser responsáveis por influenciar o controle barorreflexo da atividade nervosa simpática. Wenner *et al.* [44], ao isolarem o efeito do aumento da osmolaridade plasmática sobre o controle barorreflexo, observaram que quando o volume intravascular foi mantido, a administração de solução salina hipertônica (3% de cloreto de sódio) aumentou o controle barorreflexo da atividade simpática em humanos comparada à solução salina isotônica (0,9% de cloreto de sódio). Scrogin *et al.* [155] também demonstraram que a queda de 1% na osmolaridade plasmática resultou em diminuição de 5% no fluxo simpático.

Adicionalmente, o estresse térmico, que é aumentado pelo exercício e pela hipoidratação, tem sido associado à diminuição da modulação cardíaca vagal [130]. Os achados do estudo de Crandall *et al.* [130] ainda revelam que a diminuição da

atividade parassimpática e o aumento da atividade simpática, provavelmente contribuem para a elevação da FC em decorrência da hipertermia.

O índice LF/HF, também analisado em nosso estudo, confirma a predominância simpática na condição hipoidratada no período de recuperação. O balanço simpato-vagal foi menor no PE comparado ao PC, sendo observada, aos 15 minutos, recuperação desse índice na condição hidratada.

Yun *et al.* [144] relataram que a hidratação pode reduzir a relação simpato-vagal por redução da atividade simpática através da modulação dos barorreceptores cardiovasculares. A hidratação reduz o impulso da atividade simpática para manter o volume intravascular e aumenta o impulso parassimpático a fim de promover a diurese [144]. Ainda, de acordo com estudos experimentais [156-158], a redução da atividade simpática é provavelmente um efeito secundário do aumento da atividade vagal em resposta à modulação dos barorreceptores gástricos induzidos pela distensão.

Brown *et al.* [150] e Lipp *et al.* [159] evidenciaram que a osmolaridade, e não a distensão gástrica, parece ser o aspecto determinante na regulação da resposta autonômica cardíaca induzida pela água. Brown *et al.* [150] observaram que a ingestão de água promoveu aumento da resistência periférica total, do componente HF da VFC e da sensibilidade dos barorreceptores. Já Lipp *et al.* [159], ao infundirem 500 ml de água ou fluido salino por meio de uma sonda nasogástrica em pacientes com atrofia de múltiplos sistemas, concluíram que a baixa osmolaridade foi o fator determinante para desencadear reflexos cardiovasculares.

Vianna *et al.* [145], ao utilizarem o teste de quatro segundos para demonstrar os efeitos do consumo de água durante a recuperação do exercício aeróbico sobre a reativação vagal, observaram que a ingestão rápida de 500 ml de água em

temperatura ambiente, após 30 minutos de exercício de ciclismo submáximo, acelera a reativação cardíaca vagal, contudo sem completamente restaurá-la. Os autores também especularam que a rápida reativação cardíaca vagal observada pós-exercício foi invocada principalmente por mecanismos osmóticos que, mediados pela estimulação de estruturas osmossensíveis no trato gastrintestinal ou na circulação portal, potencialmente influenciaram a atividade cardíaca vagal [63,150,159,160].

A influência da hipoidratação e o efeito combinado do estado de hidratação e a realização de exercício no calor sobre o SNA foi também estudado por Carter *et al.* [10]. Cinco sujeitos nas condições euidratado e desidratado (4% de perda da massa corporal) foram estudados em repouso (45 minutos sentados em repouso inicial), exercício (90 minutos de exercício em cicloergômetro com intensidade equivalente a 60% do VO_{2pico}) e recuperação (45 minutos em repouso pós-exercício). A hipoidratação reduziu os índices LF, VLF e a relação LF/HF, enquanto, que o índice HF foi significantemente maior. Apesar dessa condição ter influenciado positivamente a resposta vagal (HF), a redução global da VFC e o abrandamento das oscilações bruscas em LF e HF observadas após o exercício sugerem efeito deletério global do estado de desidratação sobre a estabilidade autonômica cardíaca.

No presente estudo, o estado hipoidratado também reduziu a VFC global após o exercício. Os índices SDNN, SD2 e SD1/SD2 recuperaram-se mais rapidamente na condição hidratada comparada à condição hipoidratada, sendo aos 25 minutos do pós-exercício observado retorno dos índices SD2 e SD1/SD2 à condição basal. Essa resposta, mais uma vez, confirma a influência do estado de hidratação sobre a estabilidade autonômica cardíaca pós-exercício.

A observação dos índices não lineares durante o período pós-exercício permite constatar menor recuperação da complexidade do SNA na condição hipoidratada. Na condição hidratada, os índices de VFC recuperam-se de maneira gradual e retornam a valores que não diferem significantemente em relação ao basal em torno de 25 minutos pós-exercício.

Heffernan *et al.* [161] sugerem que a retirada vagal é mais importante para a modulação não linear que o tônus simpático. Porém, deve-se atentar ao fato de que os índices analisados no domínio do caos não permitem distinção exata da contribuição dos ramos autonômicos sobre as flutuações não-lineares como se observa nos métodos lineares.

Em relação aos índices REC e DET, obtidos por meio do *plot* de recorrência, foi observada recuperação dos mesmos em torno de 25 minutos na condição hidratada que não foi observada no PC. De acordo com o que foi relatado por Webber e Zbilut [140], podemos inferir que a hidratação promoveu uma recuperação mais rápida da dinâmica caótica da FC no período pós-exercício em comparação à condição hipoidratada.

Ainda, em relação ao *plot* de recorrência, tem sido relatado que o índice ApEn diminui com a perda da homeostasia ou caos, e aproxima-se dos comportamentos lineares [162]. Os nossos achados são concordantes com esses autores, pois valores menores para ApEn foram associados à hipoidratação.

A análise do DFA total, que quantifica as propriedades fractais da série temporal [163], apontou diferenças estatisticamente significantes entre os protocolos e também revelou que o estado hipoidratado prejudica o retorno da dinâmica da FC à sua condição caótica.

Casties *et al.* [74], após submeterem sujeitos a uma sessão de exercícios graduados de 30 minutos a 40-90% do VO_2 máximo, também observaram uma desorganização da dinâmica dos batimentos cardíacos. Os autores explicam que o momento pós-esforço envolve o restabelecimento do controle vagal associado à hiperpnéia residual, presente em decorrência da eliminação do lactato após o exercício, atribuindo a esses eventos a manutenção de valores elevados nos índices não-lineares durante a recuperação [74]. Contudo, em nosso estudo, a hiperpnéia pós-exercício foi observada em ambos os protocolos e, provavelmente não tenha sido o fator responsável pelos valores mantidos elevados nos índices não-lineares durante a recuperação no PC.

Em relação ao comportamento do índice alfa-1, baseando-se no que foi descrito por Tulppo *et al.* [164] e Acharya *et al.* [163], a condição hipoidratada evidenciou alterações na dinâmica da FC em direção a uma dinâmica mais linear, ao passo que a condição hidratada apresentou uma dinâmica mais fractal.

Em condições que a ação dos componentes simpático e parassimpático do SNA sobre a FC é organizada de forma recíproca, ou seja, o aumento da atividade de um sistema está acompanhado da diminuição do outro, observa-se uma forte correlação fractal de curto prazo, expressa por aumento do valor de alfa-1 [164-166].

A análise dos índices lineares de VFC na condição hipoidratada mostrou que o desequilíbrio entre os componentes simpático e parassimpático do SNA persiste no período de recuperação, com predomínio do simpático, o que justificaria os maiores valores do alfa-1 na condição hipoidratada em comparação à condição hidratada.

Quanto ao expoente fractal de longo prazo (alfa-2), pode-se observar nos primeiros minutos da recuperação que a condição hipoidratada exibiu maiores

valores para esse índice. Adicionalmente, houve recuperação do mesmo no PE, que não foi observada no PC.

Em resumo, os resultados deste trabalho sugerem que o protocolo de hidratação empregado promoveu mais rápida recuperação da condição autonômica, que foi modificada durante o exercício físico, quando aplicados métodos de análise lineares e não lineares de VFC, em comparação aos indivíduos que se encontravam numa condição hipoidratada.

Conclusões

6. CONCLUSÕES

As conclusões obtidas neste estudo são:

1) Em exercício, a ingestão de solução hidroeletrolítica proporcionou manutenção dos valores de PAS e de PAD, e menor incremento da FC; em contrapartida, queda da PAS e da PAD e maior incremento da FC foram observados quando a solução não foi administrada; não sendo observadas alterações significantes na SpO_2;

2) Os índices de VFC no domínio do tempo e da frequência mostraram que o protocolo de exercício executado, independente do estado de hidratação, promoveu modificações na modulação autonômica cardíaca, caracterizada por aumento da atividade simpática e diminuição da atividade parassimpática, enquanto que, os índices no domínio do caos sugerem que o exercício físico promoveu perda do comportamento caótico da frequência cardíaca. A quantidade de solução hidroeletrolítica administrada durante o exercício físico, apesar de ter produzido em geral menores alterações nos índices de VFC, não foi suficiente para influenciar, de forma significativa, as alterações observadas na modulação autonômica cardíaca durante a sua realização;

3) Ao longo do período de recuperação o seguimento da ingestão de solução hidroeletrolítica promoveu retorno mais rápido da FC próximo às condições basais, bem como conservou, nesse mesmo período, os valores de PAD e SpO_2, sendo esse comportamento também observado para PAS, a partir do quinto minuto, e para f, a partir do trigésimo minuto de recuperação;

4) Diferentemente da condição observada durante a realização do exercício, no período de recuperação o protocolo de hidratação executado induziu

modificações significantes na modulação autonômica cardíaca, promovendo recuperação mais rápida dos índices de VFC, analisados tanto nos domínios do tempo e da frequência quanto no domínio do caos.

Referências

7. REFERÊNCIAS

1. Mello MT, Fernandes AC, Tufik S. Epidemiological survey of the practice of physical exercise in the general population of São Paulo city - Brazil. Am Coll Spor Med 1998;30(Supl):11.

2. [IBGE] Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados sobre exercício físico, Indicadores sociais [on-line], 1998. Disponível em: http://www.sempreemforma.com.br/vida_saudavel/infogeral/dados-ibge-exerc-fisic.htm [28 out 2010].

3. Foss ML, Keteyian SJ. Bases Fisiológicas do Exercício e do Esporte. 6ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2000. p. 464-77.

4. Vanderlei LCM, Okai LA, Lorençoni RMR. Influência da reabilitação cardiovascular sobre a pressão arterial em paciente revascularizado e hipertenso – estudo de caso. Rev. Soc. Cardiol. Estado de São Paulo (Anais) 1997 Mai/Jun;7(3):51.

5. Simões MC. Formulação de um repositor hidroeletrolítico para o trabalho físico ostensivo de policiais militares, adaptado as variações climáticas de Florianópolis [tese]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas; 2003. p 26-31.

6. Murray R. Rehydration strategies--balancing substrate, fluid, and electrolyte provision. Int J Sports Med 1998 Jun;19(Supl 2):S133-5.

7. Hamilton, MT, González-Alonso J, Montain SJ, Coyle EF. Fluid replacement and glucose infusion during exercise prevent cardiovascular drift. J Appl Physiol 1991; 71(3):871-7.

8. Gonzalez-Alonso J, Mora-Rodriguez R, Below PR, Coyle EF. Dehydration reduces cardiac output and increases systemic and cutaneous vascular resistance during exercise. J. AppZ. Physiol 1995;79(5):1487-96.

9. Silami-Garcia E, Rodríguez LOC, Faria MHS, Araújo-Ferreira AP, Nassif-Leonel C, Oliveira MC, *et al.* Efeitos de carboidratos e eletrólitos sobre a termorregulação e a potência anaeróbia medida após um exercício prolongado no calor. Rev Bras Educ Fís Esp 2004 Abr/Jun;18(2):179-89.

10. Carter III R, Cheuvront SN, Wray DW, Kolka MA, Stephenson LA, Sawka MN. The influence of hydration status on heart rate variability after exercise heart stress. J Therm Biol 2005;30:495-502.

11. Guyton AC, Hall JE. The autonomic nervous system and the adrenal medulla. In: Textboof of Medical Physiology. 11th ed. Philadelphia: WB Saunders Co; 2006. p. 748-59.

12. Paschoal MA, Volanti VM, Pires CS, Fernandes FC. Variabilidade da frequência cardíaca em diferentes faixas etárias. Rev Bras Fisioter 2006 out/dez;10(4):413-9.

13. Júnior RF, Salgado HC. Estudo de variabilidade de parâmetros cardiovasculares como ferramenta para avaliação da modulação simpática cardiovascular. Rev Bras Hipertens 2005;12(4):242-4.

14. Task Force of the European Society of Cardiology of the North American Society of pacing electrophysiology. Heart rate variability standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Circulation 1996;93;1043-65.

15. Acharya UR, Joseph KP, Kannathal N, Lim CM, Suri JS. Heart rate variability: a review. Med Bio Eng Comput 2006; 44(12):1031-51.

16. Aubert AE, Seps B, Beckers F. Heart rate variability in athletes. Sports Med 2003;33(12):889-919.

17. Pumprla J, Howorka K, Groves D, Chester M, Nolan J. Functional assessment of heart rate variability: physiological basis and practical applications. Int J Cardiol 2002;84:1-14.

18. Rocha RM, Albuquerque DC, Albanesi Filho FM. Variabilidade da frequência cardíaca e ritmo circadiano em pacientes com angina estável. Rev Soc Cardiol Estado do Rio de Janeiro, 2005 Set/Out;18(5):429-42.

19. Chan HL, Lin MA, Chão PK, Lin CH. Correlates of the shift in heart rate variability with postures and walking by time–frequency analysis. Computer methods and programs in biomedicine 2007;86:124-130.

20. Rassi Jr A. Compreendendo melhor as medidas de análise da variabilidade da frequência cardíaca. J Diag Cardiol. 8 ed., 2000. [Citado 2008 fev 15]. Disponível em: www.cardios.com.br/jornal-01/tese%20completa.htm.

21. Higgins JP. Nonlinear systems in medicine. Yale J Biol Med 2002;75(5-6):247-60.

22. Voss A, Kurths J, Kleiner HJ, Witt A, Wessel N, Saparin P, *et al.* The application of methods of non-linear dynamics for the improved and predictive recognition of patients threatened by sudden cardiac death. Cardiovasc Research 1996;31:419-33.

23. Godoy MF, Takakura IT, Correa PR. Relevância da análise do comportamento dinâmico não-linear (Teoria do Caos) como elemento prognóstico de morbidade e mortalidade em pacientes submetidos à cirurgia de revascularização miocárdica. Arq Ciênc Saúde 2005;12(4):167-71.

24. Gavin TP. Clothing and thermoregulation during exercise. Sports Med 2003;33(13):941-7.

25. Viveiros JP, Meyer F, Kruel LFM. Imersão em água fria para o manejo da hipertermia severa. Rev Bras Med Esporte 2009;15(4):311-5.

26. Sessler DI. Temperature monitoring and perioperative thermoregulation. Anesthesiology. 2008;109(2):318-38.

27. Kurz A. Physiology of thermoregulation. Best Pract Res Clin Anaesthesiol 2008;22(4):627-44.

28. Braz JRC. Fisiologia da termorregulação normal. Rev Neurocienc 2005;13(3):12-7.

29. Sawka MN, Young AJ. Physiological Systems and Their Responses to Conditions of Heat and Cold. In: Tipton CM, Sawka MN, Tate CA, Terjung RL, editors. ACSM`s Advanced Exercises Physiology. Baltimore: Lippincott, Williams & Wilkins; 2006:535-63.

30. Maughan RJ, Shirreffs SM, Watson P. Exercise, heat, hydration and the brain. J Am Coll Nutr 2007;26(5 Supl):604S-12S.

31. Gonzalez-Alonso J, Crandall CG, Johnson, JM. The cardiovascular challenge of exercising in the heat. J Physiol 2008;586(1):45-53.

32. Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, Stachenfeld NS. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. Med Sci Sports Exerc 2007;39(2):377-90.

33. Morgan RM, Patterson MJ, Nimmo MA. Acute effects of dehydration on sweat composition in men during prolonged exercise in the heat. Acta Physiol Scand 2004;182(1):37-43.

34. Merry TL, Ainslie PN, Cotter JD. Effects of aerobic fitness on hypohydration-induced physiological strain and exercise impairment. Acta Physiol 2010;198(2):179-90.

35. Stachenfeld NS. Acute effects of sodium ingestion on thirst and cardiovascular function. Curr Sports Med Rep 2008;7(Supl 4):S7-13.

36. Volpe SL, Poule KA, Bland EG. Estimation of prepractice hydration status of National Collegiate Athletic Association Division I athletes. J Athl Train 2009;44(6):624-9.

37. Barbosa PA, Sztajnbok J. Distúrbios hidroeletrolíticos. J Pediatr 1999;75(Supl 2):S223-33.

38. Marins JCB. Homeostase hídrica corporal em condições de repouso e durante o exercício físico. Rev Bras Ativ Fis Saude Esp 1998;3(2):58-72.

39. Sawka MN, Montain SJ, Latzka WA. Hydration effects on thermoregulation and performance in the heat. Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol 2001;128(4):679-90.

40. Sawka MN, Montain SJ. Fluid and electrolyte supplementation for exercise heat stress. Am J Clin Nutr. 2000;72(Supl 2):564S-72S.

41. Casa DJ. Exercise in the Heat. I. Fundamentals of Thermal Physiology, Performance Implications, and Dehydration. J Athl Train 1999;34(3):246-252.

42. Charkoudian N, Rabbitts JA. Sympathetic neural mechanisms in human cardiovascular health and disease. Mayo Clin Proc 2009;84(9):822-30.

43. Sharpe EE, Strom NA, Roberts SK, Kingsley-Berg S, Curry TB, Eisenach JH *et al.* Influences of dehydration and angiotensin receptor blockade on control of sympathetic nerve activity in healthy humans. The FASEB Journal 2008;22:740-14.

44. Wenner MM, Rose WC, Delaney EP, Stillabower ME, Farquhar WB. Influence of plasma osmolality on baroreflex control of sympathetic activity. Am J Physiol Heart Circ Physiol 2007;293(4):H2313-9.

45. Murray B. Hydration and physical performance. J Am Coll Nutr 2007;26(Supl 5):542S-8S.

46. Rodriguez NR, DiMarco NM, Langley S. Nutrition and Athletic Performance. Med Sci Sports Exerc 2009:709-31.

47. Coyle EF. Fluid and fuel intake during exercise. J Sports Sci 2004;22(1):39-55.

48. Salum A, Fiamoncini RL. Controle de peso corporal x desidratação de atletas profissionais de futebol. Revista de Educación Física y Deportes. 2006;10(92).http://www.efdeportes.com/efd92/desidrat.htm [Consulta14/06/2007].

49. Prado ES, Barroso SS, Góis HO, Reinert T. Estado de hidratação em nadadores após três diferentes formas de reposição hídrica na cidade de Aracaju - SE. Fit Perf J 2009;8(3):218-25.

50. Montain SJ. Hydration recommendations for sport 2008. Curr Sports Med Rep 2008;7(4):187-92.

51. Guerra I, Soares EA, Burini RC. Aspectos nutricionais do futebol de competição. Rev Bras Med Esporte 2001;7(6):200-6.

52. Johannsen NM, Lind E, King DS, Sharp RL. Effect of preexercise electrolyte ingestion on fluid balance in men and women. Med Sci Sports Exerc 2009;41(11):2017-25.

53. Sims ST, Van Vliet L, Cotter JD, Rehrer NJ. Sodium loading aids fluid balance and reduces physiological strain of trained men exercising in the heat. Med Sci Sports Exerc 2007;39(1):123-30.

54. Convertino VA, Armstrong LE, Coyle EF, Mack GW, Sawka MN, Senay LC Jr, *et al.* American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. Med Sci Sports Exerc 1996;28(1):i-vii.

55. Casa DJ, Armstrong LE, Hillman SK, Montain SJ, Reiff RV, Rich BSE, *et al.* National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for Athletes. Journal of Athletic Training 2000;35(2):212–24.

56. Cheuvront SN, Montain S, Sawka M. Fluid replacement and Performance during the marathon. Sports Med 2007;37(4-5):353-7.

57. Montain SJ, Coyle EF. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. J Appl Physiol 1992;73(4):1340–50.

58. Hernandez AJ, Nahas RM. Modificações dietéticas, reposição hídrica, suplementos alimentares e drogas: comprovação de ação ergogênica e potenciais riscos para a saúde. Rev Bras Med Esporte 2009;15(3):3-12.

59. Ali A, Gardiner R, Foskett A, Gant N. Fluid balance, thermoregulation and sprint and passing skill performance in female soccer players. Scand J Med Sci Sports. 2010. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.01055.x

60. Anastasiou CA, Kavouras SA, Arnaoutis G, Gioxari A, Kollia M, Botoula E, *et al.* Sodium replacement and plasma sodium drop during exercise in the heat when fluid intake matches fluid loss. J Athl Train 2009;44(2):117-23.

61. Machado-Moreira CA, Vimieiro-Gomes AC, Silami-Garcia E, Rodrigues LOC. Hidratação durante o exercício: a sede é suficiente? Rev Bras Med Esporte 2006;12(6):405-9.

62. Meyer F, Perrone CA. Hidratação pós-exercício – Recomendações e Fundamentação Científica. R. Bras. Ci e Mov. 2004;12(2):87-90.

63. Charkoudian N, Halliwill JR, Morgan BJ, Eisenach JH, Joyner MJ. Influences of hydration on postexercise cardiovascular control in humans. J Physiol 2003;552:635-44.

64. Evans GH, Shirreffs SM, Maughan RJ. Postexercise rehydration in man: the effects of osmolality and carbohydrate content of ingested drinks. Nutrition 2009;25(9):905-13.

65. Shirreffs SM, Aragon-Vargas LF, Keil M, Love TD, Phillips S. Rehydration after exercise in the heat: a comparison of 4 commonly used drinks. Int J Sport Nutr Exerc Metab 2007;17(3):244-58.

66. Costill DL, Sparks KE. Rapid fluid replacement following thermal dehydration. J Appl Physiol 1973;34(3):299-303.

67. Mitchell JB, Phillips MD, Mercer SP, Baylies HL, Pizza FX. Postexercise rehydration: effect of Na(+) and volume on restoration of fluid spaces and cardiovascular function. J Appl Physiol 2000;89(4):1302-9.

68. Shirreffs SM, Taylor AJ, Leiper JB, Maughan RJ. Post-exercise rehydration in man: effects of volume consumed and drink sodium content. Med Sci Sports Exerc 1996;28(10):1260-71.

69. Zuttin RS, Moreno MA, César MC, Martins LEB, Catai AM, Silva E. Avaliação da modulação autonômica da freqüência cardíaca nas posturas supina e sentada de homens jovens sedentários. Rev Bras Fisioter 2008;12(1):7-12.

70. Alonso DO, Forjaz CLM, Rezende LO, Braga AMFW, Barretto ACP, Negrão CE, *et al.* Comportamento da freqüência cardíaca e da sua variabilidade durante as diferentes fases do exercício físico progressivo máximo. Arq Bras Cardiol 1998;71(6):787-92.

71. Brunetto AF, Silva BM, Roseguini BT, Hirai DM, Guedes DP. Limiar ventilatório e variabilidade da frequência cardíaca em adolescentes. Rev Bras Med Esporte 2005;11(1):22-7.

72. Martinmäki K, Rusko H. Time-frequency analysis of heart rate variability during immediate recovery from low and high intensity exercise. Eur J Appl Physiol 2008;102(3):353-60.

73. Kaikkonen P, Hynynen E, Mann T, Rusko H, Nummela A. Can HRV be used to evaluate training load in constant load exercises? Eur J Appl Physiol 2010;108(3):435-42.

74. Casties JF, Mottet D, Le Gallais D. Non-linear analyses of heart rate variability during heavy exercise and recovery in cyclists. Int J Sports Med 2006;27(10):780-5.

75. Goldberger JJ, Le FK, Lahiri M, Kannankeril PJ, Ng J, Kadish AH. Assessment of parasympathetic reactivation after exercise. Am J Physiol Heart Circ Physiol 2006;290(6):H2446-52.

76. Kaikkonen P, Rusko H, Martinmäki K. Post-exercise heart rate variability of endurance athletes after different high-intensity exercise interventions. Scand J Med Sci Sports 2008;18(4):511-9.

77. Kaikkonen P, Nummela A, Rusko H. Heart rate variability dynamics during early recovery after different endurance exercises. Eur J Appl Physiol 2007;102(1):79-86.

78. Perini R, Orizio C, Comandè A, Castellano M, Beschi M, Veicsteinas A. Plasma norepinephrine and heart rate dynamics during recovery from submaximal exercise in man. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1989;58(8):879-83.

79. Buchheit M, Laursen PB, Ahmaidi S. Parasympathetic reactivation after repeated sprint exercise. Am J Physiol Heart Circ Physiol 2007;293(1):H133-41.

80. Seiler S, Haugen O, Kuffel E. Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. Med Sci Sports Exerc 2007;39(8):1366-73.

81. González-Alonso J, Mora-Rodríguez R, Below PR, Coyle EF. Dehydration markedly impairs cardiovascular function in hyperthermic endurance athletes during exercise. J Appl Physiol 1997;82(4):1229-36.

82. Sawka MN, Young AJ, Francesconi RP, Muza SR, Pandolf KB. Thermoregulatory and blood responses during exercise at graded hypohydration levels. J Appl Physiol 1985;59(5):1394-401.

83. Journeay WS, Carter R 3rd, Kenny GP. Thermoregulatory control following dynamic exercise. Aviat Space Environ Med 2006;77(11):1174-82.

84. Novais LD. Avaliação da variabilidade da frequência cardíaca em repouso de homens saudáveis sedentários e de hipertensos e coronariopatias em treinamento físico. Rev Bras Fisioter 2004;8(3):207-13.

85. Vanderlei LCM, Pastre CM, Hoshi RA, Carvalho TD, Godoy MF. Noções básicas de variabilidade da frequência cardíaca e sua aplicabilidade clínica. Rev Bras Cir Cardiovasc 2009;24(2):205-17.

86. Barros VCV, Brito MR. Estudo da variabilidade da frequência cardíaca no paciente após infarto agudo do miocárdio. Rev Soc Mineira de Cardiol. [Citado 2010 fev 02]; 5(1). Disponível em: http://www.bibliomed.com.br/lib/showdoc.cfm?LibDocID=13320&ReturnCatID=14138&action=full.

87. Almeida MB, Araújo CGS. Efeitos do treinamento aeróbico sobre a frequência cardíaca. Rev Bras Med Esporte 2003;9(2):104-12.

88. Reis AF, Bastos BG, Mesquita ET, Romeu Filho LJM, Nóbrega ACL. Disfunção parassimpática, variabilidade de frequência cardíaca e estimulação colinérgica após infarto agudo do miocárdio. Arq Bras Cardiol 1998;70(3):193-7.

89. Longo A, Ferreira D, Correia MJ. Variabilidade da frequência cardíaca. Rev Port Cardiol 1995;14(3):241-62.

90. Barbosa PR, Barbosa Filho J, Sá CAM. Influência da idade, sexo e doença coronária sobre a modulação autonômica do coração. Arq Bras Cardiol 1996;67(5):325-9.

91. Marães VRFS, Santos MDB, Catai AM, Moraes FR, Oliveira L, Gallo Júnior L, *et al.* Modulação do sistema nervoso autônomo na resposta da freqüência cardíaca em repouso e a manobra de valsalva com o incremento da idade. Rev Bras Fisioter 2004;8(2):97-103.

92. Bilan A, Witczak A, Palusiński R, Myśliński W, Hanzlik J. Circadian rhythm of spectral indices of heart rate variability in healthy subjects. Electrocardiol 2005;38(3):239-43.

93. Rumenig E, Bertuzzi RCM, Nakamura FY, Franchini E, Matsushigue KA, Kiss MAPD. Cinética e variabilidade da freqüência cardíaca mediante exercício físico predominantemente aeróbio: influência da intensidade e do tempo de análise. Rev Bras Educ Fís Esp 2007;21(3):205-18.

94. Silva VDR, Sant'Ana JE, Vanderlei LCM, Carvalho AC. Análise do comportamento de parâmetros cardiovasculares durante a realização de exercícios físicos em hemiplégicos Crônicos. Arq Ciênc Saúde 2006;13(4):181-5.

95. Teixeira LCA. Análise do padrão de resposta da freqüência cardíaca pelos métodos de séries temporais e semiparamétrico e de sua variabilidade na determinação do limiar de anaerobiose [dissertação]. São Carlos: Universidade

Federal de São Carlos. Programa de Pós-Graduação Interunidades em Bioengenharia; 2003. p. 39-42.

96. Gonçalves HMSLM. Caracterização da variabilidade da frequência cardíaca através de métodos lineares e não-lineares [dissertação]. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto; 2004. p. 10-20.

97. Ribeiro JP, Moraes Filho RS. Variabilidade da frequência cardíaca como instrumento de investigação do sistema nervoso autônomo. Rev Bras Hipertens 2005;12(1):14-20.

98. Murray DR. What is "heart rate variability" and is it blunted by tumor necrosis factor? Chest 2003;123(3):664-7.

99. Pagani M, Lombardi F, Guzzetti S, Rimoldi O, Furlan R, Pizzinelli P, *et al.* Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. Circulation 1986;59(2):178-93.

100. Malliani A, Pagani M, Lombardi F, Cerutti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. Circulation 1991;84(2):482-92.

101. Huikuri HV, Makikallio TH, Perkiomaki J. Measurement of Heart Rate Variability by Methods Based on Nonlinear Dynamics. J Electrocardiology 2003;36:95-9.

102. Pivatelli FC. Variabilidade da frequência cardíaca em pacientes com angina estável submetidos a cineangiocoronariografia [dissertação]. São José do Rio Preto: Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto (FAMERP); 2008. p. 6-16.

103. Corrêa PR. Variabilidade da frequência cardíaca no Domínio do Caos como preditora de infecções pulmonares em pacientes submetidos à cirurgia de revascularização do miocárdio [tese]. São José do Rio Preto: Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto (FAMERP); 2006. p. 2-11.

104. Pardini R, Matsudo S, Araújo T, Matsudo V, Andrade E, Braggion G, *et al.* Validação do questionário internacional de nível de atividade física (IPAQ - versão 6): estudo piloto em adultos jovens brasileiros. Rev Bras Ciên e Mov 2001;9(3):45-51.

105. Tebexreni AS, Lima EV, Tambeiro VL, Neto TLB. Protocolos tradicionais em ergometria, suas aplicações práticas “versus” protocolo de rampa. Rev Soc Cardiol Estado de São Paulo 2001;11(3):519-28.

106. Novitsky S, Segal KR, Chart-Aryamontri B, Guvakov D, Katch VL. Validity of a new portable indiretc calorimeter: the Aerosport TEM 100. Eur J Appl Physiol 1995;70:104- 6.

107. Wideman L, Stoudemire NM, Pass KA, McGinnes CL, Gaesser GA, Weltman A. Assessment of the Aerosport Teem 100 portable metabolic measurement system. Med Sci Sports Exerc 1996;28:509-15.

108. Von Duvillard SP, Braun WA, Markofski M, Beneke R, Leithäuser R. Fluids and hydration in prolonged endurance performance. Nutrition 2004;20(7-8):651-6.

109. Shirreffs SM. Hydration in sport and exercise: water, sports drinks and other drinks. Nutrition Bulletin 2009;34(4):374-9.

110. Armstrong LE. Hydration assessment techniques. Nutr Rev 2005;63(6 Pt 2):S40-54.

111. Sociedade Brasileira de Cardiologia / Sociedade Brasileira de Hipertensão / Sociedade Brasileira de Nefrologia. VI Diretrizes Brasileiras de Hipertensão. Arq Bras Cardiol 2010;95(1 supl.1):1-51

112. Gamelin FX, Berthoins S, Bosquet L. Validity of the polar S810 heart rate monitor to measure R-R intervals at rest. Med Sci Sports Exerc 2006;38(5):887-893.

113. Kingsley M, Lewis MJ, Marson RE. Comparison of polar S810s and an ambulatory ECG system for RR interval measurement during progressive exercise. Int J Sports Med 2005;26:39-44.

114. Vanderlei LCM, Silva RA, Pastre CM, Azevedo FM, Godoy MF. Comparison of the Polar S810i monitor and the ECG for the analysis of heart rate variability in the time and frequency domains. Braz J Med Biol Res 2008;41(10):854-9.

115. Porto LGG, Junqueira Júnior LF. Comparison of Time-Domain Short-Term Heart Interval Variability Analysis Using a Wrist-Worn Heart Rate Monitor and the Conventional Electrocardiogram. PACE 2009; 32:43–51.

116. Tarvainen MP, Niskanen JA, Lipponen PO, Ranta-aho, Karjalainen PA. Kubios HRV – A software for advanced heart rate variability analysis. In: Sloten JV, Verdonck P, Nyssen M, Haueisen J, editors. 4th European Conference os the International Federation for Medical and Biological Engineering. Berlin: Springer; 2008. p. 1022-5.

117. Goldberger AL, Amaral LA, Glass L, Hausdorff JM, Ivanov PC, Mark RG, *et al.* PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals. Circulation 2000;101(23):E215-E220.

118. Lopes FL, Pereira FM, Reboredo MM, Castro TM, Vianna JM, Novo Jr JM, *et al.* Reduction of heart rate variability in middle-aged individuals and the effect of strength training. Rev Bras Fisioter 2007;11(2):113-9.

119. Marães VFSR, Teixeira LCA, Catai AM, Milan LA, Rojas FAR, Oliveira L, *et al.* Determinação e avaliação do limiar de anaerobiose a partir de métodos de análise da frequência cardíaca de sua variabilidade. Rev Soc Cardiol Estado de São Paulo 2003;13(4):1-6.

120. Terathongkum S, Pickler RH. Relationships among heart rate variability, hypertension, and relaxation techniques. J Vasc Nurs 2004;22(3):78–82.

121. Marwan N, Kurths J. Nonlinear analysis of bivariate data with cross recurrence plots. Phys Lett A 2002;302(5-6):299-307.

122. Irwin S, Tecklin JS. Fisioterapia cardiopulmonar. 3ed. São Paulo: Manole; 2003. p. 348-9.

123. Nunes WA, Terzi RGG. Pulse oximeters in the evaluation of oxygen transportation in critical patients. Rev Latino-Am Enfermagem 1999;7(2):79-85.

124. González-Alonso J, Calbet JA, Nielsen B. Muscle blood flow is reduced with dehydration during prolonged exercise in humans. J Physiol 1998;513:895-905.

125. Khanna GL, Manna I. Supplementary effect of carbohydrate-electrolyte drink on sports performance, lactate removal & cardiovascular response of athletes. Indian J Med Res 2005;121(5):665-9.

126. Horswill CA, Stofan JR, Lovett SC, Hannasch C. Core temperature and metabolic responses after carbohydrate intake during exercise at 30 degrees C. J Athl Train 2008;43(6):585-91.

127. Coyle EF, González-Alonso J. Cardiovascular drift during prolonged exercise: new perspectives. Exerc Sport Sci Rev 2001;29(2):88-92.

128. Almeida MB. Frequência cardíaca e exercício: uma interpretação baseada em evidências. Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum 2007;9(2)196-202.

129. Mortensen SP, Dawson EA, Yoshiga CC, Dalsgaard MK, Damsgaard R, Secher NH, *et al.* Limitations to systemic and locomotor limb muscle oxygen delivery and uptake during maximal exercise in humans. J Physiol 2005;566(Pt 1):273-85.

130. Crandall CG, Zhang R, Levine BD. Effects of whole body heating on dynamic baroreflex regulation of heart rate in humans. Am J Physiol Heart Circ Physiol 2000;279(5):H2486-92.

131. Boettger S, Puta C, Yeragani VK, Donath L, Müller HJ, Gabriel HH, *et al.* Heart rate variability, QT variability, and electrodermal activity during exercise. Med Sci Sports Exerc 2010;42(3):443-8.

132. Perini R, Veicsteinas A. Heart rate variability and autonomic activity at rest and during exercise in various physiological conditions. Eur J Appl Physiol 2003;90(3-4):317-25.

133. Brum PC, Forjaz CLM, Tinucci T, Negrão CE. Adaptações agudas e crônicas do exercício físico no sistema cardiovascular. Rev Paul Educ Fís 2004;18:21-31.

134. Mendonca GV, Fernhall B, Heffernan KS, Pereira FD. Spectral methods of heart rate variability analysis during dynamic exercise. Clin Auton Res 2009;19:237–45.

135. Javorka M, Turianikova Z, Tonhajzerova I, Javorka K, Baumert M. The effect of orthostasis on recurrence quantification analysis of heart rate and blood pressure dynamics. Physiol Meas 2009;30(1):29-41.

136. Perini R, Milesi S, Fisher NM, Pendergast DR, Veicsteinas A. Heart rate variability during dynamic exercise in elderly males and females. Eur J Appl Physiol 2000;82(1-2):8-15.

137. Sandercock GRH, Brodie DA. The use of heart rate variability measures to assess autonomic control during exercise. Scand J Med Sci Sports 2006;16(5):302-13.

138. Millar PJ, Rakobowchuk M, Adams MM, Hicks AL, McCartney N, MacDonald MJ. Effects of short-term training on heart rate dynamics in individuals with spinal cord injury. Auton Neurosci 2009;150(1-2):116-21.

139. Vanderlei LC, Pastre CM, Júnior IF, de Godoy MF. Fractal correlation of heart rate variability in obese children. Auton Neurosci 2010 24;155(1-2):125-9.

140. Webber CL Jr, Zbilut JP. Dynamical assessment of physiological systems and states using recurrence plot strategies J Appl Physiol 1994;76(2):965-73.

141. Pincus SM, Huang WM. Approximate entropy: statistical properties and applications. Commun Statist Theory Meth. 1992; 21: 3061-77.

142. Imai K, Sato H, Hori M, Kusuoka H, Ozaki H, Yokoyama H, *et al.* Vaguely mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in-patients with chronic heart failure. J Am Coll Cardiol 1994;24:1529-35.

143. Shetler K, Marcus R, Froelicher VF, Vora S, Kalisetti D, Prakash M, *et al.* Heart rate recovery: Validation and methodologic issues. J Am Coll Cardiol 2001;38:1980-7.

144. Yun AJ, Lee PY, Bazar KA. Clinical benefits of hydration and volume expansion in a wide range of illnesses may be attributable to reduction of sympatho-vagal ratio. Med Hypotheses 2005;64(3):646-50.

145. Vianna LC, Oliveira RB, Silva BM, Ricardo DR, Araújo CG. Water intake accelerates post-exercise cardiac vagal reactivation in humans. Eur J Appl Physiol 2008;102(3):283-8.

146. Routledge HC, Chowdhary S, Coote JH, Townend JN. Cardiac vagal response to water ingestion in normal human subjects. Clin Sci (Lond). 2002;103(2):157-62.

147. Gorman AJ, Proppe DW. Influence of heat stress on arterial baroreflex control of heart rate in the baboon. Circ Res 1982;51:73–82.

148. Gorman AJ, Proppe DW. Mechanisms producing tachycardia in conscious baboons during environmental heat stress. J Appl Physiol 1984;56:441–446.

149. Le VV, Mitiku T, Sungar G, Myers J, Froelicher V. The blood pressure response to dynamic exercise testing: a systematic review. Prog Cardiovasc Dis 2008;51(2):135-60.

150. Brown CM, Barberini L, Dulloo AG, Montani JP. Cardiovascular responses to water drinking: does osmolality play a role? Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol 2005;289(6):R1687-92.

151. González-Alonso J, Calbet JA. Reductions in systemic and skeletal muscle blood flow and oxygen delivery limit maximal aerobic capacity in humans. Circulation 2003;107(6):824-30.

152. Hayashi K, Honda Y, Ogawa T, Kondo N, Nishiyasu T. Relationship between ventilatory response and body temperature during prolnged submaximal exercise. J Appl Physiol 2006;100(2):414-20.

153. White MD. Components and mechanisms of thermal hyperpnea. J Appl Physiol 2006;101(2):655-63.

154. Charkoudian N, Eisenach JH, Joyner MJ, Roberts SK, Wick DE. Interactions of plasma osmolality with arterial and central venous pressures in control of sympathetic activity and heart rate in humans. Am J Physiol Heart Circ Physiol 2005;289(6):H2456–60.

155. Scrogin KE, Grygielko ET, Brooks VL. Osmolality: a physiological longterm regulator of lumbar sympathetic nerve activity and arterial pressure. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol 1999;276(6):R1579–86.

156. Berthoud HR, Blackshaw LA, Brookes SJ, Grundy D. Neuroanatomy of extrinsic afferents supplying the gastrointestinal tract. Neurogastroenterol Motil 2004;16(Supl 1):28–33.

157. Qin C, Chandler MJ, Miller KE, Foreman RD. Responses and afferent pathways of C (1)–C (2) spinal neurons to gastric distension in rats. Auton Neurosci 2003;104(2):128–36.

158. Bazar KA, Yun AJ, Lee PY. Debunking a myth: neurohormonal and vagal modulation of sleep centers, not redistribution of blood flow, may account for postprandial somnolence. Med Hypotheses 2004;63(5):778-82.

159. Lipp A, Tank J, Franke G, Arnold G, Luft FC, Jordan J. Osmosensitive mechanisms contribute to the water drinkinginduced pressor response in humans. Neurology 2005;65(6):905–7.

160. Raj SR, Biaggioni I, Black BK, Rali A, Jordan J, Taneja I, *et al.* Sodium paradoxically reduces the gastropressor response in patients with orthostatic hypotension. Hypertension 2006;48(2):329–34.

161. Heffernan KS, Fahs CA, Shinsako KK, Jae SY, Fernhall B. Heart rate recovery and heart rate complexity following resistance exercise training and detraining in young men. Am J Physiol Heart Circ Physiol 2007;293:H3180- 6.

162. Corrêa PR, Catai AM, Takakura IT, Machado MN, Godoy MF. Variabilidade da frequência cardíaca e infecções pulmonares pós revascularização miocárdica. Arq Bras Cardiol 2010. doi: 10.1590/S0066-782X2010005000123.

163. Acharya RU, Lim CM, Joseph P. Heart rate variability analysis using correlation dimension and detrended fluctuation analysis. ITBM-RBM 2002;23(6):333-9.

164. Tulppo MP, Kiviniemi AM, Hautala AJ, Kallio M, Seppänen T, Mäkikallio TH, *et al.* Physiological background of the loss of fractal heart rate dynamics. Circulation 2005;112(3):314-9.

165. Hautala AJ, Mäkikallio TH, Seppänen T, Huikuri HV, Tulppo MP. Short-term correlation properties of R-R interval dynamics at different exercise intensity levels. Clin Physiol Funct Imaging 2003;23(4):215–23.

166. Tulppo MP, Hughson RL, Mäkikallio TH, Airaksinen KE, Seppänen T, Huikuri HV. Effects of exercise and passive head-up tilt on fractal and complexity properties of heart rate dynamics. Am J Physiol 2001;280(3):H1081–7.

Anexos

ANEXO I

QUESTIONÁRIO INTERNACIONAL DE ATIVIDADE FÍSICA - VERSÃO CURTA IPAQ

Nome:_____ _____

Data: _____/ _____ / _____ **Idade:** _____ **Sexo: F ( ) M ( )**

Nós estamos interessados em saber que tipos de atividade física as pessoas fazem como parte do seu dia a dia. Este projeto faz parte de um grande estudo que está sendo feito em diferentes países ao redor do mundo. Suas respostas nos ajudarão a entender que tão ativos nós somos em relação à pessoas de outros países. As perguntas estão relacionadas ao tempo que você gasta fazendo atividade física na **ÚLTIMA** semana. As perguntas incluem as atividades que você faz no trabalho, para ir de um lugar a outro, por lazer, por esporte, por exercício ou como parte das suas atividades em casa ou no jardim. Suas respostas são MUITO importantes. Por favor responda cada questão mesmo que considere que não seja ativo. Obrigado pela sua participação!

Para responder as questões lembre que:

- atividades físicas **VIGOROSAS** são aquelas que precisam de um grande esforço físico e que fazem respirar MUITO mais forte que o normal
- atividades físicas **MODERADAS** são aquelas que precisam de algum esforço físico e que fazem respirar UM POUCO mais forte que o normal

Para responder as perguntas pense somente nas atividades que você realiza **por pelo menos 10 minutos contínuos** de cada vez.

1a Em quantos dias da última semana você **CAMINHOU** por pelo menos 10 minutos contínuos em casa ou no trabalho, como forma de transporte para ir de um lugar para outro, por lazer, por prazer ou como forma de exercício?

dias _____ por **SEMANA** ( ) Nenhum

1b Nos dias em que você caminhou por pelo menos 10 minutos contínuos quanto tempo no total você gastou caminhando **por dia**?
horas: _____ Minutos: _____

2a. Em quantos dias da última semana, você realizou atividades **MODERADAS** por pelo menos 10 minutos contínuos, como por exemplo pedalar leve na bicicleta, nadar, dançar, fazer ginástica aeróbica leve, jogar vôlei recreativo, carregar pesos leves, fazer serviços domésticos na casa, no quintal ou no jardim como varrer, aspirar, cuidar do jardim, ou qualquer atividade que fez aumentar moderadamente sua respiração ou batimentos do coração **(POR FAVOR NÃO INCLUA CAMINHADA)**
dias _____ por **SEMANA** ( ) Nenhum

2b. Nos dias em que você fez essas atividades moderadas por pelo menos 10 minutos contínuos, quanto tempo no total você gastou fazendo essas atividades **por dia**?
horas: _____ Minutos: _____

3a Em quantos dias da última semana, você realizou atividades **VIGOROSAS** por pelo menos 10 minutos contínuos, como por exemplo correr, fazer ginástica aeróbica, jogar futebol, pedalar rápido na bicicleta, jogar basquete, fazer serviços domésticos pesados em casa, no quintal ou cavoucar no jardim, carregar pesos elevados ou qualquer atividade que fez aumentar **MUITO** sua respiração ou batimentos do coração.
dias _____ por **SEMANA** ( ) Nenhum

3b Nos dias em que você fez essas atividades vigorosas por pelo menos 10 minutos contínuos quanto tempo no total você gastou fazendo essas atividades **por dia**?
horas: _____ Minutos: _____

Estas últimas questões são sobre o tempo que você permanece sentado todo dia, no trabalho, na escola ou faculdade, em casa e durante seu tempo livre. Isto inclui o tempo sentado estudando, sentado enquanto descansa, fazendo lição de casa

visitando um amigo, lendo, sentado ou deitado assistindo TV. Não inclua o tempo gasto sentando durante o transporte em ônibus, trem, metrô ou carro.

4a. Quanto tempo no total você gasta sentado durante um **dia de semana**?
_____horas ____minutos

4b. Quanto tempo no total você gasta sentado durante em um **dia de final de semana**?
_____horas ____minutos

PERGUNTA SOMENTE PARA O ESTADO DE SÃO PAULO

5. Você já ouviu falar do Programa Agita São Paulo? ( ) Sim ( ) Não

6. Você sabe o objetivo do Programa? ( ) Sim ( ) Não

ANEXO II

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

PESQUISA: Variabilidade da frequência cardíaca durante exercício e recuperação: Influência da hidratação com água e solução isotônica.
COORDENADOR: Prof. Dr. Luiz Carlos Marques Vanderlei.
PESQUISADORA: Isadora Lessa Moreno.

As informações contidas nesta folha, fornecidas por LUIZ CARLOS MARQUES VANDERLEI ou ISADORA LESSA MORENO têm por objetivo firmar acordo escrito com o voluntário para participação da pesquisa acima referida, autorizando sua participação com pleno conhecimento da natureza dos procedimentos que será submetido.

1) *Natureza da pesquisa*: Você é convidado a participar desta pesquisa, que tem como finalidade investigar a influência da hidratação com água ou bebida isotônica sobre o sistema cardiorrespiratório, por meio da análise da frequência cardíaca, pressão arterial, frequência respiratória, saturação parcial de oxigênio e a modulação autonômica do coração, analisada através da variabilidade da frequência cardíaca, em exercício e recuperação.

2) *Participantes da pesquisa*: 31 voluntários, com características sócio-econômicas e faixa etária entre 18 e 25 anos, considerados como ativo por meio do Questionário Internacional de Atividade Física.

3) *Envolvimento na pesquisa*: Ao participar deste estudo você deverá permitir que dois questionários sejam aplicados: um contendo seus dados pessoais e outro para classificar o grau de suas atividades de vida diária. O procedimento experimental será executado em duas etapas. Na primeira você será submetido a um teste de esforço máximo, cujos resultados serão utilizados para determinação da intensidade de exercício que você executará na segunda etapa. Na segunda etapa você participará de três protocolos experimentais que terão a duração de aproximadamente três horas cada protocolo. Para realização destes protocolos será necessária a ingestão de 500 ml de água, 2 horas antes do horário previsto para o seu início. Durante a execução dos protocolos será afixada ao seu tórax uma cinta

de captação e no seu punho um receptor de frequência cardíaca e você terá sua pressão arterial, frequência respiratória e saturação parcial de oxigênio mensuradas em diversos momentos durante sua realização. Você tem liberdade de se recusar a participar e ainda se recusar a continuar participando em qualquer fase da pesquisa, sem qualquer prejuízo para você. Sempre que quiser poderá pedir mais informações sobre a pesquisa através do telefone dos integrantes da equipe do projeto e, se necessário através do telefone do Comitê de Ética em Pesquisa.

4) *Sobre as coletas*: As coletas serão marcadas com antecedência e serão realizadas no Laboratório de Fisioterapia Desportiva da Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT/UNESP, localizado à rua Roberto Simonsen, 305 – Discente III, sala 87 – Presidente Prudente, SP, entre 13:00 e 17:00 horas. Os experimentos serão realizados com um intervalo mínimo de 48 horas entre eles.

5) *Protocolo experimental*: Na primeira etapa do protocolo você será submetido a um teste de esforço máximo que será realizado em uma esteira rolante e terá os seus parâmetros cardiorrespiratórios controlados. Na segunda etapa, para a realização dos três protocolos experimentais você deverá alimentar-se com uma dieta leve e hidratar-se com 500ml de água 2 horas antes dos protocolos. Seu peso, altura e temperatura serão coletados assim que chegar no local. Antes do início dos protocolos serão colocadas a cinta de um freqüencímetro cardíaco no seu tórax e um relógio receptor em seu pulso, e você ficará deitado confortavelmente, durante dez minutos. Ao final deste período serão mensuradas pressão arterial, frequência cardíaca, frequência respiratória e a saturação parcial de oxigênio. Em seguida você dará início à realização de uma atividade física que terá a duração de 90 minutos em esteira ergométrica com uma intensidade equivalente a 60% da obtida no teste de esforço, intensidade esta considerada como moderada. Sua frequência cardíaca será monitorada ao longo de todo o protocolo pelo freqüencímetro, sua pressão arterial será verificada de forma indireta, utilizando-se um esfigmomanômetro aneróide e um estetoscópio, a frequência respiratória será mensurada por observação do movimento do seu tórax e a saturação parcial de O_2 por um equipamento chamado oxímetro. Estes parâmetros serão mensurados no final do 10º minuto de repouso pré-exercício e a partir do décimo minuto do início do exercício com intervalos de dez minutos. Após o exercício você permanecerá deitado confortavelmente por 60 minutos e os parâmetros anteriormente citados serão novamente mensurados no 1º, 3º, 5º, 7º, 10º e a partir daí a cada 10 minutos

até o final da recuperação. Você será também submetido em dois dos protocolos a um procedimento de hidratação durante o exercício e a recuperação no qual fará a ingestão de água ou bebida isotônica em intervalos de quinze minutos a partir do décimo quinto minuto de exercício, sendo que a quantidade dessas substâncias a serem ingeridas será proporcional à perda de peso corporal obtida na análise do primeiro protocolo experimental.

6) *Riscos e desconforto*: Os procedimentos utilizados nesta pesquisa obedecem aos Critérios da Ética na Pesquisa com Seres Humanos conforme resolução n. 196/96 do Conselho Nacional de Saúde – Brasília – DF. Nenhum dos procedimentos utilizados oferece desconfortos ou riscos a sua pessoa, exceto o cansaço normal de uma atividade física.

7) *Confidencialidade*: Todas as informações coletadas neste estudo são estritamente confidenciais. Seus dados serão identificados com um código, e não com seu nome. Apenas os membros da pesquisa terão conhecimento dos dados, assegurando assim sua privacidade.

8) *Benefícios*: Ao participar desta pesquisa você não terá nenhum beneficio direto. Entretanto, esperamos que este estudo traga informações importantes sobre a influência da hidratação no comportamento autonômico cardíaco em exercício e recuperação, de forma que o conhecimento que será construído a partir dessa pesquisa possa ser utilizado em beneficio de outros indivíduos que praticam atividade física, como é o caso de indivíduos com problemas cardíacos. Os pesquisadores envolvidos com a pesquisa se comprometem a divulgar os resultados obtidos.

9) *Pagamento*: Você não terá nenhum tipo de despesa por participar desta pesquisa, bem como nada será pago por sua participação.

10) *Liberdade de recusar ou retirar o consentimento*: Você tem a liberdade de retirar seu consentimento a qualquer momento e deixar de participar do estudo sem penalizações.

Após estes esclarecimentos, solicitamos o seu consentimento de forma livre para participar desta pesquisa. Portanto, preencha os itens que seguem:

CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Eu, _____, RG_____ após a leitura e compreensão destas informações, entendo que minha participação é voluntária, e que posso sair a qualquer momento do estudo, sem prejuízo algum. Confiro que recebi cópia deste termo de consentimento, e autorizo a execução do trabalho de pesquisa e a divulgação dos dados obtidos neste estudo.

Obs: Não assine esse termo se ainda tiver dúvida a respeito.

Presidente Prudente, _____/_____/_____
Telefone para contato:_____
Assinatura do Voluntário:_____
Assinatura do Coordenador:_____
Assinatura do Membro da Equipe:_____

Contato: Isadora Lessa Moreno – End: Rua João Gonçalves Foz, 1609, apto 13 – Jd das Rosas – Pres. Prudente – SP – CEP: 19060-050 – Tel. (0xx18) 8810-6051. E-mail: isadora_fisio@yahoo.com.br
Contato: Prof. Dr. Luiz Carlos Marques Vanderlei (0xx18) 3916-3246 – residência; (0xx18) 3229-5388 ramal 5365 – Departamento de Fisioterapia/UNESP.
Contato: Profa. Dr. Edna Maria do Carmo – Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa da FCT-UNESP - (0xx18) 3229-5365 ramal 202 / 3229-5388 ramal 5466 – E-mail: cep@fct.unesp.br

ANEXO III

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Presidente Prudente

Presidente Prudente, 01 de Junho de 2007.

Ilmo.(a) Sr.(a)
Prof. Dr. Luiz Carlos Marques Vanderlei

Ref. projeto intitulado: "Variabilidade da freqüência cardíaca durante exercício e recuperação: Influência da hidratação com água e solução isotônica", sob responsabilidade do prof. Dr. Luiz Carlos Marques Vanderlei.

Processo no. 168/2007

Recebemos o seu projeto, o qual foi examinado pelo assessor, tendo recebido o parecer anexo.

Decorrente do exposto, este Comitê, em concordância com o parecer, considera o projeto **APROVADO**.

Informamos, ainda, que ao final do desenvolvimento da pesquisa, deverá ser encaminhado ao CEP um **relatório final** sucinto, contendo cópia de todos os Termos de Consentimento Livre e Esclarecido, sendo que os originais desses TCLE deverão permanecer em poder do orientador da pesquisa pelo período mínimo de 5 anos após o encerramento do estudo, para eventual fiscalização da CONEP.

Atenciosamente.

Profa. Dra. **Ivania Garavello**
Vice-Coordenadora do Comitê de Ética em Pesquisa

Faculdade de Ciências e Tecnologia
Comitê de Ética em Pesquisa
Rua Roberto Simonsen, 305 CEP 19060-900 Presidente Prudente SP
Tel 18 229-5355/r.26 fax 18 229-5353

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo