

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE DESPORTOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA**

**JONATHAN ACHE DIAS**

**EFEITO DO TREINAMENTO INTERVALADO DE SALTOS  
VERTICAIS CONTÍNUOS SOBRE A APTIDÃO ANAERÓBIA E  
VARIÁVEIS DETERMINANTES DO DESEMPENHO DE  
ENDURANCE: UM ENSAIO RANDOMIZADO**

**FLORIANÓPOLIS (SC)  
2015**



**Jonathan Ache Dias**

**EFEITO DO TREINAMENTO INTERVALADO DE SALTOS  
VERTICAIS CONTÍNUOS SOBRE A APTIDÃO ANAERÓBIA E  
VARIÁVEIS DETERMINANTES DO DESEMPENHO DE  
ENDURANCE: UM ENSAIO RANDOMIZADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física do Centro de Desportos da Universidade Federal de Santa Catarina como pré-requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Renato Pereira Moro

**FLORIANÓPOLIS (SC)  
2015**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária  
da UFSC.

Ache Dias, Jonathan

Efeito do treinamento intervalado de saltos verticais contínuos sobre a aptidão anaeróbia e variáveis determinantes do desempenho de endurance: um ensaio randomizado / Jonathan Ache Dias ; orientador, Antônio Renato Pereira Moro - Florianópolis, SC, 2015.  
162 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Desportos. Programa de Pós-Graduação em Educação Física.

Inclui referências

1. Educação Física. 2. Treinamento Pliométrico. 3. Treinamento Intervalado de Alta Intensidade. 4. Endurance. 5. Coordenação Intrassegmentar. I. Pereira Moro, Antônio Renato . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Física. III. Título.

Jonathan Ache Dias

**EFEITO DO TREINAMENTO INTERVALADO DE SALTOS  
VERTICAIS CONTÍNUOS SOBRE A APTIDÃO ANAERÓBIA E  
VARIÁVEIS DETERMINANTES DO DESEMPENHO DE  
ENDURANCE: UM ENSAIO RANDOMIZADO**

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de “Doutor em Educação Física”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Educação Física da UFSC.

Florianópolis, 15 de maio de 2015.

---

Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Educação Física

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Antônio Renato Pereira Moro (presidente/orientador) - UFSC

---

Prof. Dr. Fabrizio Caputo - UDESC

---

Prof. Dr. Luis Mochizuki - USP

---

Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo - UFSC

---

Prof. Dr. Ricardo Dantas de Lucas - UFSC



A meus pais Prof. Dr. José Francisco  
Silva Dias e Prof.<sup>a</sup> Esp. Maria Inês  
Ache Dias, irmãos Yuri e Raíssa, pelo  
amor e apoio incondicional.





## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar à Deus, sem ele nada disso seria possível.

Aos meus antepassados e principalmente aos meus pais (Maria Inês e José Francisco) por terem me concebido e criado da melhor maneira possível.

Aos meus irmãos Yuri e Raíssa, pela parceria, apoio e amizade.

À minha companheira Angélica Ovando, também doutoranda, pelo amor, apoio, amizade, aprendizado, convívio e pela paciência com a turbulência gerada pela realização do doutorado.

Ao meu orientador Antônio Moro, pela oportunidade e por acreditar no meu trabalho, mesmo nas ideias mais absurdas.

Aos meus amigos e colegas de laboratório Rodolfo Dellagrana e Anderson Teixeira pela amizade, apoio nas coletas, incentivo e por participarem como amostra. Sem vocês eu não teria chegado aqui.

Aos meus amigos e colegas de laboratório Juliano Dal Pupo e Daniele Detanico pela amizade, convívio e aprendizado nestes últimos seis anos. Em especial ao Juliano que, além do apoio na formulação deste estudo, participou como amostra.

Ao Diego Antunes pelo apoio nas coletas.

A todos os indivíduos que participaram como amostra no estudo, pelo empenho e dedicação.

Aos colegas do LAEF Paulo Nascimento, Kristopher Souza e Marília Serpa pelo apoio nas coletas.

Aos professores Luiz Guglielmo e Fabrizio Caputo pelas sugestões na qualificação e pelo apoio durante as coletas. Mesmo com todos os problemas possíveis no analisador de gases e lactímetro vocês não mediram esforços para que eu pudesse realizar as coletas.

Aos colegas do LAEF Vitor Costa e Lorival Carminatti pelas dicas metodológicas.

Aos demais professores BIOMECC e LAEF, Saray dos Santos, Fernando Diefenthaler, Cintia Freitas e Ricardo Dantas pelo convívio e ensinamentos.

A todos os demais colegas e amigos do BIOMECC e LAEF, Tatiane Piucco, Diogo dos Reis, Alexandre Crespo, Bruno Moura, Joscelito Berneira, José Raphael Silva, Elisa Lemos, Patrícia Ramos, Anderson Simas, Luiz Antonio de Lima, Josefina Bertoli, Rodrigo Gheller, Eliane Ramos, Aline Tamborindeguy, Bruno Follmer, Alberto Kruschewsky, Mateus Rossato, Ewertton Bezerra, Juliano Da Silva, Jaelson Gonçalves Ortiz, Jolmerson Carvalho, Pablo Aguires, Daiane Wommer, Naiandra Dittrich, Francimara Arins e Dona Rose pelo convívio e aprendizado.

Aos amigos catarinas e “catauchos” que me acolheram nesta cidade em 2006, Wladimir Kulkamp, Andre Rocha, Caroline Martins, Daiane Bündchen e Alexandre Jung pela amizade e pelos momentos de descontração.

A todos um MUITO OBRIGADO.

“Se, a princípio, a ideia não é absurda,  
então não há esperança para ela.”

Albert Einstein



## RESUMO

No intuito de desenvolver um treinamento intervalado de *sprints* com um novo modo de exercício, a presente tese propôs a aplicação intermitente do teste de saltos verticais contínuos com 30s de duração (CJ<sub>30</sub>). O objetivo principal do estudo foi analisar o efeito desse treinamento (JIT), aplicado durante quatro semanas, sobre o desempenho do salto vertical com contramovimento (CMJ), a força explosiva, a aptidão anaeróbia, as variáveis determinantes do desempenho de *endurance* e as variáveis biomecânicas e fisiológicas da corrida em velocidade submáxima. O objetivo secundário foi verificar a relação da rigidez (vertical, KV e perna, KL) e coordenação intrassegmentos (CRP), medidas em velocidade submáxima, com a economia de corrida (EC). Vinte e dois (12 mulheres e 10 homens) corredores (as) recreacionais foram divididos randomicamente nos grupos experimental (GE) e controle (GC) por meio de sorteio. Todos os participantes realizaram treinamento contínuo em esteira, três vezes por semana, com intensidade de 70% do pico de velocidade (PV) identificado durante teste incremental. No treinamento do GE foram incluídas duas sessões do JIT por semana. Uma sessão do JIT foi composta de quatro a seis séries de CJ<sub>30</sub> com cinco minutos de intervalo. Para análise estatística foi utilizada a ANOVA modelo misto com  $p \leq 0,05$  e o *Effect Size* (ES). Na avaliação do CMJ houve efeito moderado do treinamento apenas no GE: 4,7% (ES = 0,99) para altura do salto vertical (H), 3,7% (ES = 0,82) para potência pico (PP) e 3,5% (ES = 0,83) para potência média (PM). A taxa de desenvolvimento de torque (TDT) do quadríceps aumentou 29,5% (ES = 1,02) no GE. Na avaliação do CJ<sub>30</sub>, considerando-se apenas os primeiros saltos (20%;  $\approx$  5 saltos), houve um aumento moderado no GE de 7,4% (ES = 0,87) para H e 5,6% (ES = 0,73) para PP; e moderado/alto de 11,7% (ES = 1,2) para a profundidade de agachamento ( $\Delta Y$ ). Considerando-se todos os saltos realizados no CJ<sub>30</sub> também houve aumento de moderado a alto no GE de 10,1% (ES = 1,04) para H, 9,5% (ES = 1,1) para PP e 8,8% (ES = 1,1) para  $\Delta Y$ . Foi verificado aumento de moderado a alto no GE de 2,7% (ES = 1,11) para PV, 9,1% (ES = 1,28) para o VO<sub>2pico</sub> e 9,7% (ES = 1,23) para o limiar de lactato (vOBLA). No teste de EC a 9 km.h<sup>-1</sup> verificou-se que a maioria das variáveis biomecânicas sofreram efeito do treinamento, tanto para o GE quanto para o GC, mas o consumo de oxigênio (VO<sub>2</sub>) e custo energético (CE) não sofreram efeito do treinamento. Destaca-se o aumento da rigidez vertical e da perna (8,1%), diminuição do tempo de voo (3,28%) e maior estado coordenativo do acoplamento coxa-perna (CRP; 3,4%). Verificou-se também correlação positiva do VO<sub>2</sub> e CE com

o CRP coxa-perna ( $r \approx 0,5$ ). Por fim, pode-se concluir que a inclusão do JIT no treinamento de contínuo de *endurance* teve efeito significativo sobre o desempenho do CMJ (H), potência muscular (PP e PM), força explosiva (representada pela TDT), potência (H e PP dos primeiros saltos do CJ<sub>30</sub>) e capacidade (H e PP do CJ<sub>30</sub>) anaeróbia e potência (PV e VO<sub>2</sub> pico) e capacidade (vOBLA) aeróbia. Além disso, pode-se concluir que o estado coordenativo mais estável do acoplamento coxa-perna está ligado a menores valores de VO<sub>2</sub> e CE e que KV e KL não têm relação significativa com a EC.

**Palavras-chave:** Treinamento Pliométrico. Treinamento Intervalado. *Endurance*. Coordenação Intrassegmentos.

# **EFFECT OF A HIGH INTENSITY INTERVAL TRAINING OF CONTINUOUS VERTICAL JUMPS ON ANAEROBIC FITNESS AND DETERMINANTS OF ENDURANCE PERFORMANCE: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL**

## **ABSTRACT**

In order to develop a sprint interval training with a new exercise regimen, this thesis proposed the intermittent application of the continuous vertical jump test with 30s of duration (CJ<sub>30</sub>). The main objective of the study was to analyze the effect of this training (JIT), applied for four weeks, on countermovement jump (CMJ) performance, explosive strength, anaerobic fitness, determinants of endurance performance and biomechanical and physiological variables in submaximal running velocity. The secondary objective was to verify the relationship of the stiffness (vertical, KV and leg, KL) and intralimb coordination (CRP) measurements with the running economy (RE). Twenty-two (12 women and 10 men) recreational runners were randomized into experimental (EG) and control (CG) group by tossing a coin. All participants trained on a treadmill, three times a week, with an intensity of 70% of the peak treadmill velocity (PV) measured in a progressive maximal exercise test. In the EG training were included two sessions of JIT per week. The JIT session was composed of four to six CJ<sub>30</sub> bouts with five-minute intervals. Statistical analysis was performed using ANOVA mixed model with  $p \leq 0.05$  and the effect size (ES). In the CMJ evaluation, there was moderate training effect only in GE: 4.7% (SE = 0.99) for vertical jump height (H), 3.7% (ES = 0.82) for peak power (PP) and 3.5% (ES = 0.83) for mean power (MP). The rate of torque development (RTD) of the quadriceps increased 29.5% (ES = 1.02) on EG. In evaluating the CJ<sub>30</sub>, considering only the first jumps (20%;  $\approx$  five jumps), there was a moderate increase in GE of 7.4% (ES = 0.87) for H and 5.6% (ES = 0.73) for PP; and moderate-high increase of 11.7% (ES = 1.2) for the squat depth ( $\Delta Y$ ). Considering all jumps performed in CJ<sub>30</sub>, there was an increase from moderate to high in EG of 10.1% (ES = 1.04) for H, 9.5% (ES = 1.1) for PP and 8.8% (ES = 1.1) for  $\Delta Y$ . Moderate to high increase was observed in GE of 2.7% (ES = 1.11) for PV, 9.1% (ES = 1.28) for  $VO_{2peak}$  and 9.7% (ES = 1.23) for the lactate threshold (vOBLA). In the RE test at 9 km.h<sup>-1</sup> it was found training effect for the most of the biomechanical variables in both GE and GC, but no effect was found for the oxygen consumption ( $VO_2$ ) and energy cost (EC). It is highlighted the increase in vertical and

leg stiffness (8.1%), decrease in flight time (3.28%) and a higher coordinative state of thigh-leg coupling (CRP; 3.4%). There was also positive correlation between  $\text{VO}_2$  and EC with the thigh-leg CRP ( $r \approx 0.5$ ). Finally, it can be concluded that the inclusion of the JIT in the continuous endurance training had a significant effect on CMJ performance (H), muscle power (PP and PM), explosive strength (RTD), anaerobic power (H and PP of the first 6s of  $\text{CJ}_{30}$ ) and capacity (H and PP of  $\text{CJ}_{30}$ ) and aerobic power (PV and  $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ) and capacity (vOBLA). Moreover, it may be concluded that more stable coordinative state of thigh-leg coupling is associated to lower  $\text{VO}_2$  and EC values and that stiffness had no significant relationship with RE.

**Keywords:** Pliometric Training. Interval training. Endurance. Intersegmental Coordination.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Processo de decisão para as respostas agudas ao TIAI (Buchheit, 2013a).....	36
<b>Figura 2.</b> Digrama de fluxo da análise de inclusão e exclusão, randomização e perda amostral. ....	62
<b>Figura 3.</b> Design do processo de avaliação e treinamento. ....	65
<b>Figura 4.</b> Força de reação do solo (FRS) do teste CJ <sub>30</sub> no protocolo livre da plataforma de força. ....	70
<b>Figura 5.</b> Curva força de reação vertical do solo (FRS) de um salto isolado do CJ <sub>30</sub> (esquerda) e um salto com contramovimento (direita). 71	
<b>Figura 6.</b> Representação do sistema massa-mola (Adaptado de Slawinski et al. (2008)). ....	74
<b>Figura 7.</b> Ângulos segmentares adotados durante avaliação da corrida em esteira.....	76
<b>Figura 8.</b> Exemplo de diagrama de fase normalizado (Dal Pupo et al., 2013).....	77
<b>Figura 9.</b> Exemplo do ângulo de fase da coxa.....	78
<b>Figura 10.</b> Box plot da percepção subjetiva de esforço (PSE) e dor (PSD) ao final de todas as sessões de JIT.....	84
<b>Figura 11.</b> Ângulo de fase relativa (CRP) do acoplamento coxa-perna nas condições pré e pós-treinamento para os grupos experimental (GE) e controle (GC) na velocidade de 9 km.h <sup>-1</sup> . A linha pontilhada divide a fase de apoio e recuperação (saída do pé). ....	92
<b>Figura 12.</b> Ângulo de fase relativa (CRP) do acoplamento perna-pé nas condições pré e pós-treinamento para os grupos experimental (GE) e controle (GC). A linha pontilhada divide a fase de suporte (contato) e recuperação (saída do pé). ....	93
<b>Figura 13.</b> Correlação entre VO <sub>2</sub> e KV. Painel superior, 22 participantes; Painel inferior, 20 participantes (dois homens foram excluído).....	96
<b>Figura 14.</b> Efeito agudo (desconsiderando as setas) e crônico esperado (setas verticais na cor cinza) do CJ <sub>30</sub> sobre a altura do salto, potência mecânica e rigidez (adaptado de Dal Pupo et al. (2013)). ....	106



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Estudo do efeito do SIT com cicloergômetro em não-atletas	42
<b>Tabela 2.</b> Características antropométricas pré e pós treinamento dos grupos experimental (GE) e controle (GC) (média±DP).....	83
<b>Tabela 3.</b> Média e desvio padrão das variáveis biomecânicas dos três saltos com contramovimento. ....	85
<b>Tabela 4.</b> Tendência central e variabilidade das variáveis biomecânicas dos saltos realizados nos primeiros 6 segundos (20% dos saltos) do CJ <sub>30</sub> . ....	86
<b>Tabela 5.</b> Tendência central e variabilidade das variáveis biomecânicas considerando-se todos os saltos realizados no CJ <sub>30</sub> . ....	87
<b>Tabela 6.</b> Tendência central e variabilidade das variáveis da avaliação isocinética. ....	88
<b>Tabela 7.</b> Média e desvio padrão das variáveis medidas no teste incremental. ....	89
<b>Tabela 8.</b> Média e desvio padrão das variáveis biomecânicas medidas no teste de economia de corrida a 9 km.h <sup>-1</sup> . ....	90
<b>Tabela 9.</b> Média e desvio padrão das variáveis fisiológicas medidas no teste de economia de corrida a 9 km.h <sup>-1</sup> . ....	91
<b>Tabela 10.</b> Correlação cruzada entre as curvas do CRP do acoplamento Coxa-Perna em zero lag. ....	93
<b>Tabela 11.</b> Correlação cruzada entre as curvas do CRP do acoplamento perna-pé. ....	94
<b>Tabela 12.</b> Média e desvio padrão das variáveis fisiológicas medidas no teste de tempo de exaustão a 100% do PV (T <sub>lim</sub> ).....	94
<b>Tabela 13.</b> Correlação entre VO <sub>2</sub> , CE, KV, KL e CRP a 9 km.h <sup>-1</sup> na condição pré-treinamento (n=22). ....	95
<b>Tabela 14.</b> Coorelação entre VO <sub>2</sub> , EC, KV, KL e CRP a 8 km.h <sup>-1</sup> na condição pré-treinamento (n=12 mulheres). ....	95
<b>Tabela 15.</b> Coorelação entre VO <sub>2</sub> , EC, KV, KL e CRP a 10 km.h <sup>-1</sup> na condição pré-treinamento (n=10 homens). ....	97



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\Delta y$	profundidade de agachamento
%G	percentual de gordura
%FC <sub>max</sub>	percentual da FC <sub>max</sub> estimada pela idade
C	fase de contato ou suporte da passada da corrida
CAE	ciclo alongamento-encurtamento
CE	custo energético
CJ	teste de saltos contínuos, <i>continuos jump test</i>
CJ <sub>30</sub>	<i>continuos jump test</i> de 30 segundos
CM	centro de massa do corpo
CMJ	salto vertical com contramovimento
CP	acoplamento coxa-perna
C <sub>passo</sub>	comprimento do passo na corrida
CRP	fase relativa contínua, representa a coordenação intrassegmentos
CVM	contração muscular voluntária máxima
EC	economia de corrida
F <sub>max</sub>	força máxima da reação do solo no salto e na corrida
FC	frequência cardíaca
FC <sub>max</sub>	frequência cardíaca máxima
F <sub>passo</sub>	frequência de passos na corrida
GC	grupo controle
GE	grupo experimental
H <sub>1,2,3,4</sub>	hipóteses do estudo
H <sub>1°</sub>	altura máxima do CM durante o primeiro salto do CJ <sub>30</sub>
H	altura máxima do CM durante o salto vertical
JIT	<i>jumping interval training</i> , treinamento intervalado de saltos contínuos
KL	rigidez da perna no salto ou na corrida
KV	rigidez vertical no salto ou na corrida
MC	massa corporal
MLG	massa livre de gordura
NS	número de saltos realizados em 30 segundos
PM	potência média
PP	potência pico
PSE	percepção subjetiva de esforço
PSD	percepção subjetiva de dor

PTIC <sub>ISO</sub>	pico de torque isocinético concêntrico dos isquiotibiais
PTI <sub>ISM</sub>	pico de torque isométrico dos isquiotibiais
PTQC <sub>ISO</sub>	pico de torque isocinético concêntrico do quadríceps
PTQE <sub>ISO</sub>	pico de torque isocinético excêntrico do quadríceps
PTIE <sub>ISO</sub>	pico de torque isocinético excêntrico dos isquiotibiais
PTQ <sub>ISM</sub>	pico de torque isométrico do quadríceps
PV	pico de velocidade no teste incremental
R	fase de recuperação da passada na corrida
RER	razão de troca respiratória ( $VCO_2/VO_2$ )
RMS	<i>root mean square</i> , valor quadrático médio
SIT	treinamento intervalado de <i>sprints</i> , <i>Sprint interval training</i>
TDF	taxa de desenvolvimento de força no CMJ
TDT <sub>Q</sub>	taxa de desenvolvimento de torque (isométrica) do quadríceps
TDT <sub>I</sub>	taxa de desenvolvimento de torque (isométrica) dos isquiotibiais
TIAI	treinamento intervalado de alta intensidade
T <sub>lim</sub>	tempo limite ou tempo de exaustão a 100% do PV
VCRP	variabilidade individual do CRP
VO <sub>2</sub>	consumo de oxigênio
VCO <sub>2</sub>	consumo de dióxido de carbono
VO <sub>2pico</sub>	pico de consumo de oxigênio
VO <sub>2pico</sub> T <sub>lim</sub>	pico de consumo de oxigênio no T <sub>lim</sub>
VO <sub>2max</sub>	consumo máximo de oxigênio
vOBLA	velocidade no limiar anaeróbio

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	25
<b>1.1 Problema</b> .....	25
<b>1.2 Objetivo</b> .....	28
1.2.1 Geral.....	28
1.2.2 Específicos .....	29
<b>1.3 Justificativa</b> .....	29
<b>1.4 Hipóteses</b> .....	31
<b>1.5 Delimitação do estudo</b> .....	32
<b>1.6 Limitações do estudo</b> .....	32
2 REVISÃO DA LITERATURA .....	33
<b>2.1 Treinamento intervalado de alta intensidade</b> .....	33
2.1.1 Modelos de treinamento intervalado .....	34
2.1.2 Adaptações metabólicas e neuromusculares do SIT .....	35
2.1.3 Efeito do SIT sobre a aptidão anaeróbia e indicadores do desempenho de <i>endurance</i> .....	41
<b>2.2 Economia de corrida e variáveis biomecânicas da corrida</b> ....	45
<b>2.3 Treinamento pliométrico</b> .....	47
2.3.1 Adaptações musculoesqueléticas .....	48
2.3.2 Adaptações neuromusculares .....	51
2.3.3 Efeito do treinamento pliométrico sobre o desempenho atletico e, em especial, os indicadores do desempenho de <i>endurance</i> .....	55
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	61
<b>3.1 Delineamento do estudo</b> .....	61
<b>3.2 Participantes do estudo</b> .....	61
<b>3.3 Protocolo de treinamento</b> .....	63
<b>3.4 Estrutura das avaliações</b> .....	64
<b>3.5 Instrumentos de medida</b> .....	65

<b>3.6 Protocolos de medida, procedimentos e definição das variáveis</b>	66
3.6.1 Avaliação antropométrica	66
3.6.2 Teste de saltos contínuos máximos (CJ <sub>30</sub> )	69
3.6.3 Teste incremental de corrida	71
3.6.4 Teste da economia de corrida (EC) e tempo de exaustão (T <sub>lim</sub> )	72
3.6.5 Teste de força no dinamômetro isocinético	78
<b>3.7 Análise de dados e estatística</b>	79
4 RESULTADOS	83
5 DISCUSSÃO	99
<b>5.1 Efeito do treinamento</b>	99
5.1.1 Desempenho do salto vertical, potência muscular, força explosiva, potência e capacidade anaeróbia	99
5.1.2 Potência e capacidade aeróbia	107
5.1.3 Variáveis biomecânicas e fisiológicas da corrida em velocidade submáxima	109
<b>5.2 Relação entre economia de corrida, rigidez e coordenação intrassegmentos</b>	114
6 CONCLUSÕES	119
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E APLICAÇÃO PRÁTICA	121
8 REFERÊNCIAS	123
ANEXO A – Parecer consubstanciado do cep	147
ANEXO B – Escala de Borg (PSE)	151
ANEXO C – Escala analógica visual de dor (PSD)	153
APÊNDICE A – Termo de consentimento livre e esclarecido	155
APÊNDICE B - Tabela com dados referentes a verificação do erro das esteira da UDESC e da UFSC	161



## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Problema

Em programas de treinamento, tanto exercícios de baixa intensidade (longa duração), quando exercícios de alta intensidade (curta duração) são responsáveis pelo aumento do nível de desempenho em provas de *endurance*, gerando adaptações cardiorrespiratórias, metabólicas e musculoesqueléticas (LAUREN e JENKINS, 2002; LAURSEN, 2010; BUCHHEIT e LAURSEN, 2013a). O treinamento de intervalado de alta intensidade (TIAI) tem sido considerado a maneira mais eficiente, em relação ao tempo despendido para o treinamento, para melhorar o desempenho de atletas (LAURSEN, 2002; BILLAT, 2001a). O TIAI envolve repetições curtas (<45s) a longas (1 a 8 min) de exercícios de alta intensidade, intercaladas com períodos de recuperação (ativo ou passivo) (BILLAT 2001a; BUCHHEIT e LAURSEN, 2013b) e pode causar melhoras tanto no metabolismo anaeróbio (BURGOMASTER et al., 2005), quanto no metabolismo aeróbio (RODAS et al., 2000) de fornecimento de energia, dependendo da manipulação da duração dos estímulos e períodos de intervalo (PARRA et al., 2000; BILLAT 2001ab).

Apesar do conhecimento limitado da literatura em relação à dose-reposta do TIAI, tem sido sugerido que protocolos que estimulem 100% do consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2max}$ ), percentuais próximos (submáximo ou supramáximo) ou exercícios *all-out* (*sprint interval training*, SIT), são os estímulo mais efetivos para aumentar o  $VO_{2max}$  (LAURSEN e JENKINS, 2002; MIDGLEY, MCNAUGHTON e WILKINSON, 2006). Nessas intensidades é possível tanto recrutar grandes unidades motoras (tipo II), quanto atingir valores próximos ao débito cardíaco máximo gerando adaptações oxidativas das fibras musculares e alargamento do miocárdio (BUCHHEIT e LAURSEN, 2013a). Além do  $VO_{2max}$ , outras variáveis determinantes do desempenho de *endurance* parecem ser afetadas pelo TIAI, como a velocidade no  $VO_{2max}$  ( $vVO_{2max}$ ) (GUGLIELMO, 2005; DENADAI et al., 2006), a economia de corrida (EC) (FRANCH et al., 1998; BILLAT et al. 1999; DENADAI et al., 2006; HELGERUD et al. 2007), a velocidade no segundo limiar de lactato ( $vOBLA$ ) (DENADAI et al., 2006) e o tempo de exaustão ( $T_{lim}$ ) em velocidade aeróbia máxima ( $vVO_{2max}$ ) (ESFARJANI e LAURSEN, 2007).

O TIAI tem sido investigado nos mais variados modos de exercício, como: a corrida (BILLAT et al., 1999; GUGLIELMO, 2005; DENADAI et al., 2006; HELGERUD et al., 2007; MACPHERSON et al., 2011), o ciclismo (BURGOMASTER et al., 2008; HAZELL et al., 2010), a natação (SPERLICH et al., 2010; DEMINICE et al., 2010) e o remo (DRILLER et al., 2009). Em geral, o modelo SIT tem sido um dos modelos mais investigados na literatura, provavelmente devido facilidade no controle da intensidade, realizada na forma de *sprint* máximo, aplicado na maioria das vezes em cicloergômetro (BURGOMASTER, 2005; GIBALA 2006 e 2007; BURGOMASTER, 2008; e HAZELL et al. 2010). Esse modelo normalmente utiliza de três a seis repetições intermitentes de esforços máximos de 30s com quatro minutos de intervalo por sessão. Macpherson et al. (2011), analisando um SIT realizado em esteira mecanizada, concluíram que esse treinamento provoca adaptações muito parecidas com o treinamento de *endurance* tradicional (contínuo), mas as adaptações do SIT são de origem mais periférica do que central. Meta-análises (SLOTH et al., 2013; GIST et al., 2014) têm apresentado fortes evidências de que o SIT gera mudanças no potencial oxidativo dos músculos, provocando aumento do  $VO_{2max}$ , tanto em indivíduos sedentários, quanto em indivíduos ativos ou treinados.

Além do treinamento intervalado de alta intensidade (CONLEY, KRAHENBUHL e BURKETT, 1981; FRANCH et al., 1998; BILLAT et al. 1999; GUGLIELMO, 2005; DENADAI et al., 2006; HELGERUD et al. 2007), o treinamento resistido (JOHNSTON et al., 1997; MILLET et al., 2002; YAMAMOTO et al., 2008; STØREN et al., 2008; GUGLIELMO, GRECO e DENADAI, 2009; PIACENTINI et al., 2013) e o treinamento com saltos (TUNNER, WINGS e SCHWANE, 2003; SPURRS, MURPHY e WATSFORD, 2003) têm sido propostos com intuito de melhorar o desempenho de *endurance*, visto a importância das características neuromusculares (NOAKES, 1988; PAAVOLAINEN et al., 1999; NUMMELA et al., 2006; BONACCI et al., 2009; LAZZER et al., 2014). Tem sido sugerido também que a união desses treinamentos parece provocar os melhores ganhos em desempenho (PAAVOLAINEN et al., 1999; SAUNDERS et al., 2006; BARNES et al., 2013).

O treinamento com saltos verticais é amplamente utilizado no meio esportivo para o treinamento de diversas modalidades que necessitam desenvolver a potência muscular e outras expressões da força explosiva (MARKOVIC et al., 2007; BOSCO, 2007). Tem sido sugerido que o desempenho dos saltos verticais está relacionado com o desempenho de provas de meio-fundo e fundo (HUDGINS et al., 2013),

sendo assim os saltos verticais parecem ser importantes na avaliação e treinamento de atletas de *endurance*.

O treinamento com saltos aumenta a capacidade dos músculos em gerar potência (TUNNER, WINGS e SCHWANE, 2003) e pode aumentar a rigidez musculotendínea (FOURÉ, NORDEZ e CORNU, 2010), visto que potencializa a utilização do ciclo alongamento-encurtamento (CAE) e utiliza a habilidade dos tecidos moles em estocar e retornar a energia, reduzindo assim o gasto energético (CAVAGNA, SAIBENE e MARGARIA, 1964). Por esse motivo tem sido sugerido que a rigidez musculotendínea pode ser um fator determinante para a habilidade do corpo em usar essa energia estocada (DALLEAU et al., 1998) e que o treinamento com saltos pode ter efeito sobre a EC (TUNNER, WINGS e SCHWANE, 2003; SPURRS, MURPHY e WATSFORD, 2003). Além disso, altas taxas de produção de força, que são alcançadas por meio do treinamento pliométrico, também parecem estar relacionadas com EC (BULBULIAN et al., 1986; HOUMARD et al., 1991; PIACENTINI et al., 2013). Indivíduos que tem maior EC utilizam menos oxigênio que indivíduos que possuem menor EC em uma mesma velocidade submáxima (CONLEY e KRAHENBUHL, 1980). Portanto, aumentar a EC pode levar o atleta a ter melhores resultados em provas de fundo e meio-fundo.

Outro aspecto que pode estar ligado à EC, mas que parece não ter sido suficientemente explorado na literatura (BONACCI et al., 2009) é a coordenação muscular de membros inferiores (MMI). Alguns estudos tem sugerido que as coativações musculares (contrações simultâneas de um par de músculos) de MMI mais longas ou maiores tendem a tornar as articulações mais estáveis (mais rígidas), o que tornaria o aproveitamento da energia elástica mais eficiente e diminuiria o custo metabólico (HORTOBÁGYI e DEVITA, 2000; KYROLAINEN, BELLI e KOMI, 2001). Nesse sentido, segundo Heise, Shinohara e Binks (2008), longas coativações, que poderiam representar a coordenação muscular, entre o quadríceps e o gastrocnêmio durante a fase de apoio da corrida estão relacionadas com um custo metabólico menor.

Em estudo recente, foi sugerido que durante uma sequência de saltos contínuos máximos (30s) a coordenação intrassegmentos dos MMI (tronco-coxa) na fase concêntrica dos saltos parece melhorar, enquanto a rigidez musculotendínea tende a diminuir, quando comparados os instantes iniciais (0-5s) e finais (25-30s) do teste (DAL PUPO et al., 2013). Este fato sugere que pode haver um mecanismo para contrabalancear a diminuição da rigidez na tentativa de manter o desempenho na sequência de saltos. Segundo Turpin et al. (2011), a

fadiga muscular induz redução na capacidade do musculo de realizar força e uma possível estratégia para compensar o efeito da fadiga é modificar a coordenação muscular. Nesse sentido, pode-se hipotetizar que o treinamento com saltos provocaria melhora na coordenação de MMI e que esta melhora poderia ser transferida para a corrida, causando impacto sobre a EC.

No intuito de propor um treinamento que una as características do SIT e do treinamento com saltos verticais, e que possa ser utilizado como treinamento complementar de atletas de *endurance*, sugere-se o treinamento intervalado de saltos verticais contínuos (*jumping interval training*, JIT). No JIT, os *sprints* realizados normalmente com ações cíclicas como correr, pedalar, nadar ou remar são substituídos pela aplicação intermitente do teste de saltos verticais contínuos (*continuous jump test* – CJ). O CJ foi proposto por Bosco, Luhtanen e Komi (1983) como ferramenta para medida da potência mecânica gerada pelos MMI e avaliação da resistência à força rápida (termo definido pelo autor), e está fortemente relacionado com a força dinâmica rápida e expressões da força explosiva (BOSCO, 2007). Este teste foi recentemente considerado, na sua forma de 30s, como válido e confiável para medir potência e capacidade anaeróbia, quando comparado ao teste clássico de Wingate (DAL PUPO et al., 2014).

Diante do exposto, formulou-se os seguintes problemas de pesquisa: o JIT, aplicado durante quatro semanas, é capaz de promover mudanças no desempenho do salto vertical, força explosiva e aptidão anaeróbia de corredores recreacionais? A inclusão JIT no treinamento aeróbio contínuo é capaz de promover mudanças nos indicadores de desempenho de *endurance* e nas variáveis biomecânicas e fisiológicas da corrida em velocidade submáxima? Por fim, existe relação entre EC, rigidez e coordenação intrassegmentos na corrida realizada em esteira?

## 1.2 Objetivo

### 1.2.1 Geral

Analisar o efeito do JIT, aplicado durante quatro semanas, sobre o desempenho do salto vertical, a força explosiva, a aptidão anaeróbia, as variáveis determinantes do desempenho de *endurance* e as variáveis biomecânicas e fisiológicas da corrida em velocidade submáxima de corredores recreacionais.

### 1.2.2 Específicos

- a) verificar o efeito do JIT sobre o desempenho do salto vertical com contramovimento (CMJ), representado pela altura do salto, e demais variáveis biomecânicas do salto.
- b) verificar o efeito do JIT sobre a potência anaeróbia, representada pelas pela média da altura e potência dos primeiros saltos (20%) do teste de saltos contínuos (CJ<sub>30</sub>).
- c) verificar o efeito do JIT sobre a capacidade anaeróbia, representada pela média da altura e potência de todos os saltos realizados no CJ<sub>30</sub>.
- d) verificar o efeito do JIT sobre o pico de torque (PT) e a taxa de desenvolvimento de torque (TDT), indicadora da força explosiva, dos músculos extensores e flexores do joelho.
- e) verificar se a inclusão do JIT no treinamento aeróbio contínuo é capaz de provocar alterações na potência e capacidade aeróbia.
- f) verificar se a inclusão do JIT no treinamento aeróbio contínuo é capaz de provocar alterações nas variáveis biomecânicas e fisiológicas da corrida em velocidade submáxima.
- g) verificar se existe relação entre EC e coordenação intrassegmentos.
- h) verificar se existe relação entre EC e rigidez musculotendínea.

### 1.3 Justificativa

Nas últimas três décadas, diversos tipos de treinamentos complementares ao treinamento aeróbio de longa duração e ao TIAI têm sido propostos a fim de melhorar o desempenho de *endurance* (IAIA e BANGSBO, 2010). Apesar de o treinamento de força máxima e pliométrico estarem em evidência na complementação do treinamento, parece não haver um modelo de treinamento ideal ou mescla ideal de diferentes treinamentos que induzam melhoras no desempenho de *endurance* (MIDGLEY, MCNAUGHTON e JONES, 2007). Além disso, pouco se sabe das adaptações neuromusculares que ocorrem em diferentes modos de treinamento (como correr, pedalar, treinamento misto e treinamento de força) e como estas mudanças no controle neuromuscular podem estar ligadas aos indicadores de desempenho de *endurance*, em especial, a EC (BONACCI et al., 2009).

Geralmente a mescla de um ou mais tipos de treinamento, envolvendo treinamento de força máxima, potência (relatado muitas vezes como explosivo) e pliométrico (PAAVOLAINEN et al., 1999) tem provocado maiores aumentos da EC. Entretanto, a diversidade de

exercícios utilizados na literatura dificulta a comparação dos resultados entre diferentes estudos e na definição de exercícios específicos que apresetam maior impacto sobre a EC. Treinamentos pliométricos, por exemplo, têm sido compostos por diversos saltos verticais e horizontais, realizados com uma ou duas pernas (máximos e submáximos). Na maioria das vezes os saltos são realizados de forma intermitente, variando de 1 a 3 séries de 5 a 10 repetições, normalmente sem detalhes sobre o intervalo entre os séries e repetições (TUNER, OWINGS e SCHWANE, 2003; SPURRS, MURPHY, WATSFORD, 2003).

Devido à necessidade constante de otimização do tempo e praticidade, o desenvolvimento de novos métodos de treinamento que contribuam com o desempenho atlético são plenamente justificáveis (IAIA e BANGSBO, 2010). Por esse motivo, está sendo proposto o JIT. Além de ser fácil de aplicar, pois não depende de local e equipamentos especiais, ele pode provocar o estímulo metabólico e neuromuscular ao atleta de *endurance*, pois mescla as qualidades do TIAI e de saltos verticais. Estudos indicam que o SIT, que pode ser realizados em pouto tempo, apresenta o mesmo efeito de treinamentos contínuos prolongados (HAZELL et al., 2012; MACPHERSON et al., 2011). Em estudo recente, a inclusão de um treinamento pliométrico, composto por saltos em profundidade (*drop jumps*) e corridas intermitentes a 100 e 120% da máxima fase estável de lactato (MFEL), no treinamento usual de atletas de handebol foi capaz de melhorar a performance anaeróbia dos jogadores (CHERIF et al., 2012). Talvez, a provável vantagem do JIT sobre o treinamento testado por Cherif et al. (2012) seja a praticidade, pois, teoricamente, pode-se gerar um estímulo parecido com apenas um tipo exercício, que pode ser realizado em apenas 1 metro<sup>2</sup>.

Markovic et al. (2007) sugerem que o SIT apresenta ligeira vantagem sobre o treinamento com saltos horizontais e saltos em profundidade para melhorar a função muscular e o desempenho atlético, evidenciada pelo aumento da força e potência do quadríceps, na capacidade de realizar *sprints* e em testes de agilidade. Em contrapartida, Bosco (2007), baseado em seus estudos na década de 70 e 80, mostra que, apesar de apresentarem velocidades angulares um pouco menores que a corrida, os saltos em profundidade envolvem estímulos de carga superiores ao do *sprint*, o que pode compensar a diferença de velocidade e explicaria a relação entre a capacidade de saltar e a velocidade máxima de corrida (MERO et al., 1981).

No treinamento com saltos contínuos proposto no presente estudo, o estímulo de carga parece ser ideal, visto que a maior potência é gerada com massa do próprio corpo (MARKOVIC e JARIC, 2007).

Portanto, não é necessário equipamento adicional para realização do JIT. Além disso, como são saltos contínuos, eles podem ser classificados como uma série de saltos em profundidade a partir do segundo salto, visto que os saltos são realizados precedidos por queda. Segundo Boobert (1990), o treinamento com esse tipo de salto melhora a potência muscular, principalmente dos músculos extensores do joelho e flexores plantares, e a coordenação de movimento. Além disso, potencializa o estímulo neuromuscular devido a maior sobrecarga na fase negativa. Esta potencialização dos saltos em profundidade proporciona o aumento da rigidez (KUBO et al., 2007; BURGESS et al., 2007; FOURÉ, NORDEZ e CORNU et al. 2010), que está relacionada à economia de movimento (MCCAULLEY et al. 2007).

Apesar de ter sido mostrado que exercícios que provocam a exaustão do CAE resultam em redução aguda da rigidez musculotendínea (KUITUNEN et al., 2002; KUITUNEN et al., 2007) e que o efeito agudo da aplicação do teste CJ<sub>30</sub> tende a diminuir a rigidez quando comparado os primeiros e últimos saltos de uma série de 30 segundos (DAL PUPO et al., 2013), espera-se que o efeito crônico seja contrário, visto que o treinamento deve gerar adaptações positivas levando a um aumento da rigidez a médio prazo.

Outra característica que é estimulada, por meio dos saltos contínuos, é a força explosiva (BOSCO, 2007), representada pela taxa de desenvolvimento de força (TDF). Essa característica parece estar ligada ao desempenho de *endurance* e seu aumento também está relacionado com a economia de movimento (PIACENTINI et al. 2013; HEGGELUND et al. 2013). Nesse sentido, a união de exercícios com saltos verticais dentro do modelo SIT poderia beneficiar o desempenho atlético geral, indicadores do desempenho de *endurance* e talvez para a EC, visto que ela parece estar relacionada com a eficiência mecânica do salto (BOSCO et al., 1987).

#### 1.4 Hipóteses

- H<sub>1</sub> – o JIT será capaz de aumentar a altura do CMJ e o valor das demais variáveis biomecânicas do salto.
- H<sub>2</sub> – o JIT será capaz de aumentar a potência anaeróbia.
- H<sub>3</sub> – o JIT será capaz de aumentar a capacidade anaeróbia.
- H<sub>4</sub> – o JIT será capaz de aumentar o PT e a força explosiva (TDT) dos músculos extensores e flexores do joelho, especialmente para o quadríceps.

- H<sub>5</sub> – a inclusão do JIT no treinamento aeróbio contínuo será capaz de aumentar a potência aeróbia (pico de velocidade - PV ou pico de consumo de O<sub>2</sub> - VO<sub>2pico</sub>), capacidade aeróbia (vOBLA) e T<sub>lim</sub>.
- H<sub>6</sub> – a inclusão do JIT no treinamento aeróbio contínuo será capaz de aumentar a rigidez, tornar o estado coordenativo dos acoplamentos coxa-perna e perna-pé (CRP) mais estável e melhorar a EC durante corrida em velocidade submáxima.
- H<sub>7</sub> – o VO<sub>2</sub> e o custo energético (CE) em velocidade submáxima estarão relacionados positivamente com o CRP.
- H<sub>8</sub> – o VO<sub>2</sub> e o custo energético (CE) em velocidade submáxima estarão negativamente relacionados com a rigidez musculotendínea, representada pela rigidez vertical e da perna.

## 1.5 Delimitação do estudo

O estudo analisou o efeito da inclusão do JIT no treinamento aeróbio contínuo de corredores recreacionais de ambos os sexos, envolvidos em atividades acadêmicas na Universidade do Estado de Santa Catarina e Universidade Federal de Santa Catarina.

## 1.6 Limitações do estudo

Este estudo apresenta algumas limitações, são elas:

- A não utilização de atletas. Optou-se por analisar o efeito do treinamento em corredores recreacionais, visto a maior probabilidade de controle e garantia da uniformidade dos estímulos. Atletas de alto nível raramente apresentam periodização parecida e estariam dispostos a seguir o treinamento proposto. Por esta razão, os não-atletas foram escolhidos nesta primeira etapa de desenvolvimento do treinamento proposto.

- A falta de medida de desempenho, como provas de 3 km ou 5 km. Apesar de ser uma variável importante, nem todos os corredores recreacionais têm experiência e noção de tempo das provas. Apesar de serem provas curtas, o *padding* dos atletas poderia variar entre pré e pós-treinamento. Essas variações, não necessariamente, poderiam ocorrer em consequência do treinamento. A confiabilidade teste-reteste do desempenho dessas provas poderia ser baixa nos participantes, inviabilizando sua medida na verificação do efeito de treinamento.



## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Este tópico tem como objetivo apresentar um breve estado da arte dos temas relacionados a tese. As seções apresentam informações sobre treinamento intervalado de alta intensidade, treinamento pliométrico e os aspectos biomecânicos da corrida.

### 2.1 Treinamento intervalado de alta intensidade

Em programas de treinamento, tanto exercícios de baixa intensidade (longa duração), quando exercícios de alta intensidade (curta duração) são responsáveis pelo aumento do nível de desempenho devido à adaptações cardiorrespiratórias e musculoesqueléticas (LAUREN e JENKINS, 2002; LAURSEN, 2010; BUCHHEIT e LAURSEN, 2013a). As mudanças provocadas pelo treinamento ocorrem em nível central ou periféricos incluindo melhoras na dinâmica cardiovascular (BUCHHEIT et al., 2013a), no padrão do recrutamento neural (MINETT e DUFFIELD, 2014) e na morfologia, atividade enzimática e metabolismo muscular (ZIERATH e HAWLEY, 2004).

Tanto o treinamento de atletas de *endurance*, quanto o de velocistas apresenta ampla variedade de formas de periodização e execução que melhoram o status energético do músculo e subsequentemente a habilidade de gerar altas taxas de força ou a manutenção delas por um longo período de tempo (LARSEN, 2010). Em relação à atletas de *endurance*, tanto o treinamento contínuo (baixa intensidade) quanto no treinamento intervalado (alta intensidade) são importantes para a melhora do desempenho e as magnitudes das adaptações geradas por estes treinamento dependem, de maneira geral (macro e mesociclos), da periodização do treinamento (volume, intensidade e frequência) (LAURSEN, 2010; BUCHHEIT et al., 2013). Além disso, em se tratando de adaptações agudas (microciclo), a manipulação da duração dos estímulos e dos períodos de intervalo terá impacto tanto sobre a potência quanto a capacidade do metabolismo aeróbio e anaeróbio (RODAS et al. 2000; PARRA et al., 2000).

O treinamento contínuo provoca efeito no desempenho de não-atletas, mas em atletas bem treinados o aumento do volume de treinamento não aumenta necessariamente a performance (LAURSEN, 2010). Portanto, a utilização do treinamento intervalado parece ser essencial para a melhora do desempenho de atletas de alto rendimento (PLATONOV, 2008). O treinamento de alta intensidade e curta duração,

também conhecido como treinamento intervalado de alta intensidade (TIAI), envolve repetições curtas (<45s) a longas (1 a 8 min) de exercícios de alta intensidade (igual ou superior a máxima fase estável do lactato), intercaladas com períodos de recuperação (ativo ou passivo) (BILLAT 2001a; BUCHHEIT e LAURSEN, 2013b). O TIAI apesar de ter sido inicialmente utilizado por Hannes Kolehmainen em 1912, popularizado no meio esportivo durante a década de 1950 pelo atleta olímpico da Tchecoslováquia Emil Zatopek e ter sido descrito na literatura da época (BILLAT, 2001a), ganhou destaque nas últimas décadas na área de saúde e estética, visto que o tempo reduzido de treinamento e o provável impacto sobre a diminuição da gordura corporal parecem chamar a atenção da população em geral (BOUTCHER, 2011).

Apesar do conhecimento limitado da literatura em relação a dose-reposta do TIAI, tem sido sugerido que protocolos que estimulem 100% do consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2max}$ ) ou percentuais próximos (submáximo ou supramáximo) são os estímulo mais efetivo para aumentar o  $VO_{2max}$  (LAURSEN, 2002; MIDGLEY, MCNAUGHTON e WILKINSON, 2006; ESFARJANI e LAURSEN, 2007). Além do  $VO_{2max}$ , outras variáveis determinantes do desempenho de *endurance* também parecem ser afetadas pelo TIAI como a velocidade no  $VO_{2max}$  ( $vVO_{2max}$ ) (DENADAI et al., 2006; ESFARJANI e LAURSEN, 2007), a economia de corrida (EC) (FRANCH et al., 1998; BILLAT et al. 1999; GUGLIELMO, 2005; DENADAI et al., 2006; HELGERUD et al. 2007), a velocidade no limiar de lactato ( $vOBLA$ ) (GUGLIELMO, 2005; DENADAI et al., 2006; ESFARJANI e LAURSEN, 2007) e o tempo limite ( $T_{lim}$ ) (ESFARJANI e LAURSEN, 2007). Em especial, a EC, tem atraído bastante atenção dos pesquisadores nas últimas cinco décadas (SAUNDERS et al., 2004), visto que até atletas altamente treinados podem incrementar esta capacidade e transferi-la para o desempenho em prova, sem que mudanças ocorram necessariamente nos valores de  $VO_{2max}$  (PAAVOLAINEN et al., 1999; SPURRS, MURPHY, WATSFORD, 2003).

### 2.1.1 Modelos de treinamento intervalado

O TIAI pode ser realizado de diversas formas e pode ser classificado como aeróbio ou anaeróbio, dependendo do metabolismo predominante (BILLAT 2001ab; BUCHHEIT e LAURSEN, 2013ab). Billat (2001ab) divide o treinamento intervalado aeróbio em: curto, que utiliza, por exemplo, aplicações intermitentes de esforços de 15 a 30s de

corrida a 110% do pico de velocidade (PV), medido em teste progressivo, com 15 a 30s de recuperação, perfazendo um total de 30 a 60 min de exercício; e o treinamento intervalado aeróbio longo, por exemplo com sete repetições de 2 min a 100% do PV com um período longo de recuperação passivo ou ativo (50% do PV, por exemplo, geralmente levando-se em conta o tempo limite a 100% do PV). Segundo a mesma autora, o treinamento intervalado anaeróbio pode ser classificado em duas categorias: a primeira que usa taxas fixas de trabalho (estudos mais antigos) relativas ao  $v\text{VO}_{2\text{max}}$  (130 a 160% do PV) com períodos de 10 a 15 segundos e intervalos curtos de 15 a 45 segundos; e o treinamento com sprints máximos (*all-out*, estudos mais recentes) com relação esforço pausa de normalmente 1:8 (por exemplo, 30 segundos + quatro a cinco minutos de intervalo).

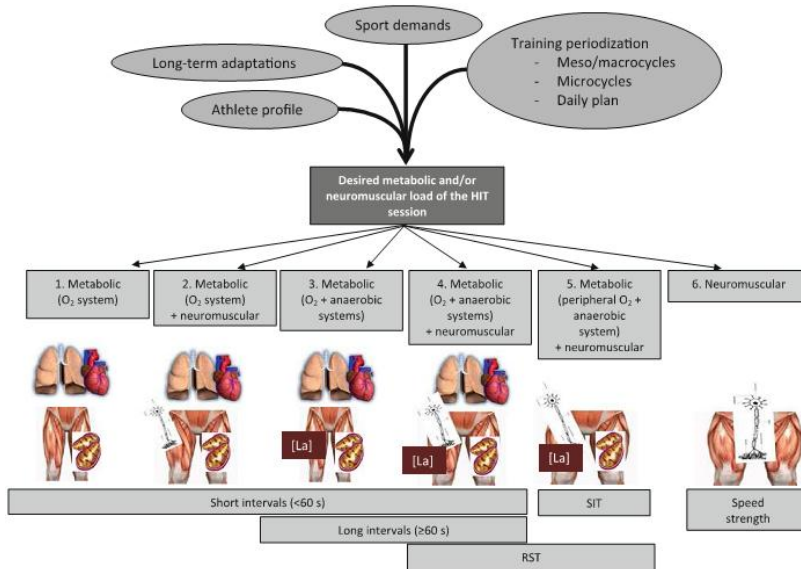
Apesar da classificação de Billat (2001ab) ser bastante respeitada, no presente estudo será adotada a nomenclatura de PATON e HOPKINS (2004), por parecer mais adequada. Os autores classificam o TIAI em quatro categorias: submáximo, máximo (100% da velocidade ou potência máxima), supramáximo e *all-out* (*sprint*). A partir deste ponto, a presente revisão da literatura sobre TIAI terá como foco o treinamento do tipo *all-out* (*Sprint interval training*, *SIT*), visto que o modo de treinamento proposto (*continuous jump interval training*, *JIT*) no presente estudo tem esta característica, sendo realizado com o máximo de esforço e sem estratégia.

### 2.1.2 Adaptações metabólicas e neuromusculares do SIT

As adaptações agudas e crônicas dos modelos supracitados dependem da manipulação de diversas variáveis do treinamento. A figura 1 apresenta um esquema do processo de decisão sobre a característica TIAI e os efeitos esperados. Pode-se observar que o SIT é um modelo de treinamento onde se espera tanto adaptações metabólicas (nível periférico) quando neuromusculares (principalmente morfológicas).

Segundo a revisão sistemática de Ross e Leveritt (2001), as adaptações enzimáticas representam a maioria das adaptações metabólicas do SIT, com enzimas dos três sistemas energéticos (ATP-CP; Glicolítico e Aeróbio) sofrendo efeitos significativos. No metabolismo do fosfato, a miocinase (MK) e a creatina fosfoquinase (CPK) sofrem pequeno aumento devido ao SIT, o que pode gerar aumento da síntese de ATP e melhorar o desempenho de *sprint*. A atividade das enzimas glicolítico (lactato desidrogenase, fosfofrutocinase e glicogênio fosforilase) também

aumentam depois do SIT tanto para *sprints* curtos (>10s) quanto longos (<10s). A atividade enzimática mitocondrial aumenta também após o treinamento com *sprints*, particularmente quando *sprints* longos ou *sprints* curtos com intervalos curtos de recuperação são realizados.



**Figura 1.** Processo de decisão para as respostas agudas ao TIAI (Buchheit, 2013a).

Apesar de estar bem definido que, em geral, a contribuição aeróbia de um esforço máximo (*all-out*) de 30s é em torno de 27% (GASTIN, 2001) a repetição intermitente desse esforço com um intervalo de tempo de recuperação (SIT) estimula tanto o metabolismo anaeróbio quanto o aeróbio, sendo que estudos têm demonstrado que o SIT tem efeito positivo sobre os indicadores de desempenho de *endurance* e o nos resultados das provas de fundo e meio fundo (IAIA e BANGSBO, 2010; BAYATI et al., 2011). Esta característica deve-se ao aumento da contribuição aeróbia em função da estímulo curto ( $\leq 30s$ ) e do longo tempo de intervalo (4 a 12 min) (PARRA et al., 2000; RODAS et al., 2000).

Segundo Bogdanis et al. (1996), que investigou o efeito agudo de dois *sprints* em cicloergômetro de 30s com intervalo de 4 minutos, houve redução de 41% na contribuição anaeróbia do primeiro para o segundo

*sprint*, devido, principalmente a redução de 45% na glicólise. A maior parte da redução da glicogênio muscular (97%) durante o primeiro *sprint* poderia ser explicada pelo acúmulo de piruvato e lactato, enquanto apenas 75% da redução poderia ser contabilizado durante o segundo *sprint*. Apenas 5% de aumento do glicogênio muscular foi detectado no intervalo de 4 min. Sendo assim, no segundo *sprint* a contribuição aeróbia foi de 49%. Bogdanis et al. (1998) também relatou mesmo comportamento similar em *sprints* de 10, 20 e 30s seguidos com 2 min de intervalo. A contribuição aeróbia do primeiro *sprint* foi de aproximadamente 20% corroborando achados de Smith e Hill (1991), que encontraram um valor de 16% de contribuição aeróbia em um teste parecido, o Wingate de 30s. Além disso, o estudo de Dal Pupo et al. (2014), que compararam o teste de Wingate com o teste de salto contínuos (CJ) de 30s, utilizado neste estudo como base do treinamento proposto, encontrou resultados parecidos.

O mesmo comportamento parece acontecer com um *sprint* mais curto (>10s por exemplo), que tem contribuição de aproximadamente 13% do metabolismo aeróbio. Quando várias repetições são realizadas com recuperação curta (em torno de 30 segundos) a produção energética derivada do sistema anaeróbio diminui, fazendo com que uma quantidade significativa de energia do metabolismo aeróbio seja utilizada (GAITANOS et al., 1993). Como a recuperação é curta não há tempo suficiente para ocorrer a restauração dos estoques de fosfocreatina (PC), conseqüentemente há aumento da participação da via glicolítica para atender a demanda metabólica. Porém, como há o aumento da produção energética via metabolismo glicolítico (lático), ocorre maior formação de íons H<sup>+</sup>, aumentando a acidez muscular, que é considerado fator inibidor das enzimas glicolíticas (GASTIN, 2001).

Alguns estudos podem ser destacados em relação os efeitos crônicos do SIT sobre as variáveis metabólicas (enzimáticas). Jacobs et al. (1987), analisando o efeito de um treinamento de seis semanas com dois a seis *sprints* de 15s e 30s realizados por dia, encontraram diminuição da mioglobina e aumento tanto da síntese de citrato, quanto da fosfofrutocinase. Macdougall et al. (1998) apresentaram resultados similares analisando efeito do SIT (com sessões de Wingate de 30-s em cicloergômetro com dois a quatro minutos de recuperação), realizado três vezes por semana durante sete semanas. Os autores verificaram que o treinamento pode aumentar as atividades enzimáticas glicolíticas e oxidativas (atividade máxima da hexocinase, fosfofrutocinase, síntese de citrato, succinato desidrogenase e malato-desidrogenase) de estudantes de Educação Física.

Parra et al. (2000) analisaram o efeito de um treinamento parecido com de Jacobs et al. (1987) e o mesmo de Rodas et al. (2000). No entanto, os autores manipulam a distribuição do períodos de intervalo (entre dias) em um treinamento curto (TC), realizado todos os dias (2 semanas), e um treinamento longo (TL, seis semanas), realizado com intervalado de dois dias entre os treinamentos. O treinamento para ambos os grupos foi consistido de duas a sete repetições de *sprints* de 15s e 30s com intervalo de recuperação de 12 minutos entre as repetições. Ambos os programas de treinamento apresentaram aumento nos marcadores enzimáticos relacionadas à glicólise (fosfofrutocinase, +107% para o TC, +68% para TL e aldolase, +46% para o TC e +28% para TL) e metabolismo aeróbio (síntese de citrato, +38%, para TC, +28,4% para TL e 3-hidroxiacil-CoA desidrogenase, +60% para TC, +38,7% para TL). No entanto, a atividade da creatina cinase (+44%), piruvato cinase (+35%) e lactato desidrogenase (+45%) aumentou apenas o TC.

Adaptações moleculares e celulares, analisadas por meio de biópsia, em decorrência do TIAI, especialmente do SIT., foram analisadas por alguns estudos. Segundo Burgomaster et al. (2005), o treinamento curto de duas semanas com seis sessões de Wingates repetidos (30s e 4 min de recuperação) foi capaz de aumentar o potencial oxidativo muscular e dobrar a capacidade de *endurance* durante exercício intenso na bicicleta de não-atletas recreacionalmente ativos. Gibala et al. (2006), utilizando o mesmo modelo de treinamento chegaram à conclusão que tanto o treinamento SIT (14 dias, com uma sessão a cada dois dias de Wingate de 30s, 4 min intervalo), quanto o TE (treinamento de *endurance*, 90 min a 65% do  $VO_{2pico}$ ) causaram aumentos similares na atividade máxima do citocroma c oxidase (COX) da mitocôndria (indica a capacidade oxidativa muscular), aumento no teor de proteínas do COX (II e IV), aumento no tamponamento ácido-base (7,6% o SIT e 4,2% para TE) e aumento das reservas iniciais de glicogênio muscular (28% para SIT e 17% para TE).

O mesmo grupo de pesquisadores supracitados deu continuidade a este modelo de SIT aumentando o tempo de treinamento para seis semanas e mostrando mudanças em outros marcadores bioquímicos. Segundo Burgomaster et al. (2008), ambos tipos de treinamento (SIT e TE) provocaram aumento dos marcadores mitocondriais para o musculo esquelético CHO (conteúdo de piruvato desidrogenase E1 $\alpha$ ), a oxidação de gorduras (atividades máximas das enzimas 3-hidroxi-acil-Co A desidrogenase) e o conteúdo de “*proliferator-activated receptor- $\gamma$ coactivator-1 $\alpha$* ”. Para ambos os modelos de treinamento a utilização de glicogênio e a fosfocreatina durante o exercício foi reduzida após

treinamento, a taxa de carboidratos diminuiu e a de lipídios aumentou. Desta forma, é possível concluir que o SIT é um treinamento eficiente em relação ao tempo despendido em exercício, quando comparado ao treinamento contínuo tradicional.

A composição muscular também pode ser influenciada de diversas maneiras pelo SIT. As adaptações morfológicas podem ocorrer na transição do tipo de fibra muscular, sendo que o treinamento de *endurance* provoca a transição de fibras do tipo IIB (rápida glicolítica) → IIA (rápida, oxidativa-glicolítica) → I (lenta oxidativa (WILSON et al., 2012) e no SIT espera-se um aumento do percentual das fibras do tipo II, geralmente mudanças do tipo I e IIB para IIA (ANDERSEN; KLITGAARD e SALTIN, 1994), comportamento parecido com efeito do treinamento resistido (STARON et al., 1994). Segundo Ross e Leveritu (2001), apesar de diversos estudos mostrarem esse comportamento (JANSSON et al., 1990, JACOBS et al., 1987; DAWSON et al., 1998; ESBJORNSSON- LILJEDAHN et al., 1993) outros estudos mostraram o movimento contrário (LIHOSSIER et al., 1993; CADEFAU et al., 1990; SIMONEAU et al., 1985), ou nenhuma transição entre fibras (ESBJORNSSON-LILJEDAHN et al., 1996; HARRIDGE et al., 1998; ORTENBLAD et al., 2000). A variação imensa de protocolos de *sprints* pode ser a razão para esta inconsistência dos resultados.

Em relação ao tamanho da fibra muscular (volume) o treinamento prolongado de *sprints* (mais de oito semanas) pode induzir a hipertrofia, particularmente das fibras do tipo IIA e IIB (ROSS e LEVERITU, 2001). Para finalizar, enquanto no treinamento aeróbio prolongado a captação de  $Ca^{2+}$  no retículo sarcoplasmático diminui (GREEN et al., 2011), no treinamento de *sprints* parece aumentar o volume do sarcoplasma e a taxa de liberação do  $Ca^{2+}$ , fazendo com que haja um aumento no desempenho de *sprints* devido ao aumento do trabalho mecânico, taxa de desenvolvimento de força e potência muscular desenvolvida (ORTENBLAD et al., 2000).

Nevill et al. (1989), analisando o efeito de um treinamento essencialmente de *sprints* (*sprints all-out* + corrida a 110% do  $vVO_{2max}$ ) em esteira mecanizada de um grupo de corredores recreacionais (quatro homens e quatro mulheres), concluíram que o treinamento induz mudanças nas características contráteis dos músculos envolvidos causando melhora no desempenho no teste de *sprints* de 30-s (potência média e pico; análogos a capacidade e potência anaeróbia, respectivamente). A melhora no sistema glicolítico, aumento da ressíntese de ATP a partir do metabolismo glicolítico, pode ter sido facilitada por um

aumento na atividade da fosfofrutocinase e pelo aumento do efluxo de íons de hidrogênio da célula muscular após o treino.

As adaptações neurológicas de origem periférica e central decorridas do SIT também são importantes, mas pouco estudadas. Muitos estudos utilizam medidas aplicadas da função neuromuscular, como a avaliação da velocidade de *sprint*, do saltos verticais (CMJ e SJ), da regulação da rigidez musculotendínea e parâmetros mecânicos da passada (BUCHHEIT et al., 2013b). A fadiga decorrente de TIAI com estímulos muito curtos (<20s) a curtos (<1), mas não *all-out*, tendem a ser predominantemente periféricos (PERREY et al., 2010; LATTIER et al., 2004; MENDEZ-VILLANUEVA et al., 2012) (por exemplo, alterações na excitabilidade muscular e no acoplamento neuromuscular, relacionados a distúrbios na concentração intramuscular de potássio e acumulação de metabólitos como fosfato inorgânico e íons de hidrogênio). Segundo Fernandez-del-omo et al. (2013), que investigaram os mecanismos de fadiga associados ao teste de Wingate de 30s (análogo ao JIT), utilizando estimulação transcraniana, e estimulação elétrica do nervo motor, enquanto a fadiga periférica está associada ao dano intramuscular, a fadiga central parece ser a principal razão para diminuição da contração voluntária máxima do quadríceps.

Além do efeito agudo, o efeito crônico do SIT sobre variáveis neurológicas também tem sido investigado. Creer et al. (2004) utilizando o treinamento complementar de quatro semanas de *sprints* (em ciclistas treinados) de 30 segundos com quatro minutos de intervalo, modelo idêntico ao aplicado na presente tese, indicou, além de aumento na potência pico, potência média e  $VO_{2max}$ , adaptações neurais (utilizando eletromiografia – EMG) havendo aumento dos valores RMS e diminuição da mediana das frequência no musculo vasto lateral. Isto pode indicar que o SIT aumenta a sincronização entre as unidades motoras, recrutamento e a taxa de recrutamento.

Segundo Ross, Leveritt e Riek (2001) pode-se sintetizar os achados dos efeitos neurológicos do SIT da seguinte maneira: a sequência de ativação muscular durante movimentos grossos muda com a prática, ou seja, a técnica da execução do *sprint* é modificável; a velocidade de condução neural (VCN) aumenta em resposta a um período de treinamento; o *overtraing* tem efeito negativo na VCN, respostas reflexas e propriocepção; o reflexo de estiramento é treinável e parece ajudar a produção de força durante o *sprint*; a fadiga aguda ao SIT tem componente neural e parece altamente correlacionado com mudanças no metabolismo muscular.



### 2.1.3 Efeito do SIT sobre a aptidão anaeróbia e indicadores do desempenho de *endurance*

Nesta sessão, será discutido o efeito crônico do SIT nos indicadores neuromusculares (saltos verticais, desempenho nos *sprints* e rigidez musculotendínea), indicadores da aptidão anaeróbia (potência muscular, força e trabalho) e indicadores do desempenho de *endurance* ( $VO_{2max}$ ,  $vVO_{2max}$ ,  $vOBLA$  e EC). Os efeitos do SIT têm sido investigados com maior frequência nos modos de exercício corrida e ciclismo, apesar de ser utilizado também na natação (DEMINICE et al., 2010) e outros esportes. Neste tópico serão apresentados os resultados dos estudos com corrida, geralmente aplicado em pista ou esteira mecanizada, e com ciclismo, normalmente realizado em cicloergômetro.

O SIT têm sido considerado, por meio de revisões sistemáticas e méta-análises, como um modelo de treinamento prático e eficiente, quando comparado ao treinamento contínuo, para aumentar (4,2 a 13,4%) a potência aeróbia ( $VO_{2max}$ ) (SLOTH et al., 2013; GIST et al., 2014) de indivíduo sedentário e recreacionalmente ativos. Em alguns estudos, como de Burgomaster et al. (2005), foram reportados valores mais expressivos, onde o SIT com o modelo Wingate de 30s com quatro minutos de recuperação dobrou a capacidade aeróbia ( $VO_2$ ) de sujeitos ativos durante exercício a 80% do  $VO_{2max}$ .

Em atletas altamente treinados, mesmo sem mudanças no  $VO_{2max}$ , o SIT pode provocar mudanças nos outros indicadores de desempenho. No entanto, sobre a luz da literatura revisada apenas dois estudos apresentaram efeito SIT (*all-out*) sobre o desempenho de atletas treinados. Rowan, Kueffner e Stavrianeas (2012) testaram o efeito de cinco semanas de treinamento com SIT de 30s e 4:30s de intervalo em atletas de futebol do sexo feminino. Nesse estudo houve aumento de 4,73% no  $VO_{2max}$ . Creer et al. (2004) analisaram 17 ciclistas treinados divididos em grupo controle e experimental. Os autores utilizaram o mesmo modelo e volume de treinamento utilizada pela presente tese, oito sessões de *sprints* (4x30s e quatro minutos de recuperação) adicionadas ao treinamento de *endurance* tradicional e realizadas em quatro semanas de treinamento. Pré e pós treinamento foram realizados um teste progressivo máximo para determinação da capacidade aeróbia e a mesma sequência de quatro *sprints* realizados nas sessões de treinamento para determinação da aptidão anaeróbia. O SIT aumentou a potência aeróbia ( $VO_{2max}$ ), potência (PP) e capacidade anaeróbia (PM). Apesar de apresentar viés do grupo chamado de controle, os autores destacam que

adicionar o SIT ao treinamento de *endurance* tradicional pode ser um benefício para atletas de alto nível.

Outros estudos utilizando atletas altamente treinados, que mais se aproximam do modelo SIT, analisaram o efeito do TIAI supramáximo a 175% do pico de potência com repetições de 30s e 4:30 min de intervalo de recuperação (LAURSEN et al., 2005; STEPTO et al., 1999) e repetições de 30s em velocidade correspondente a 93% da velocidade atingida em um *sprint* (IAIA et al., 2009). Em Laursen et al. (2005) e Stepto et al. (1999), o TIAI supramáximo melhorou o desempenho dos 40 km no ciclismo, mas o  $VO_{2\text{pico}}$  não mudou em relação ao grupo controle, que fez apenas o treinamento aeróbio regular (LAURSEN et al., 2005). Em estudo mais recente, com o mesmo modelo de treinamento, Esfarjani e Larsen (2007) utilizaram o TIAI em esteira a 130% do  $vVO_{2\text{max}}$  com 12x30s com 4:30 min de intervalo. Dez semanas de treinamento aumentaram o  $VO_{2\text{max}}$  (+6,2%), o  $vVO_{2\text{max}}$  (+7,8%), o tempo limite a 100% do  $vVO_{2\text{max}}$  (+32%) e melhoraram o desempenho da prova de 3km (-3,4%). Além disso, Iaia et al. (2009), encontraram efeito do “quase” SIT na economia de corrida, ou seja, o  $VO_2$  nas velocidades 11; 13; 14,5 e 16  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  diminuiu 6,6; 7,6; 5,7 e 6,4%, respectivamente, após quatro semanas de treinamento.

Como os estudos com atletas altamente treinado são limitados a tabela 1 apresenta a síntese de estudos que investigaram o efeito do SIT executado em cicloergômetro para indivíduos não-atletas (recreacionalmente ativos). Hazell et al. (2010) analisaram 48 indivíduos divididos em quatro grupos distintos em relação ao tempo de *sprint* e intervalo de recuperação, respectivamente: G1 (30s-4min), G2 (10s:4min), G3 (10s:2min) e G4 (controle sem treinamento). O desempenho dos 5 km melhorou 5,2% para G1; 3,5% para G2 e 3% para G3. O  $VO_{2\text{max}}$  aumentou 9,3% para G1 e G2. A potência pico do Wingate aumentou 9,5% para G1; 8,5% para G2 e 4,2% para G3. A potência média aumentou 12,1% para G1 e 6,5% para G2. O G1, mesmo modelo de treino adotado na presente tese, apresentou os melhores resultados sobre o desempenho e os indicadores da aptidão aeróbia e anaeróbia.

**Tabela 1.** Estudo do efeito do SIT com cicloergômetro em não-atletas

Estudo	Repet.	Duração	Repo	S	Resultados
Jacobs et al. 1987	1-6	15 e 30s	4 min	6	$\uparrow\text{LAC}_{\text{max}}$
McKenna et al. 1997	1-4	30s	4 min	7	$\uparrow\text{VO}_{2\text{max}}$ $\uparrow\text{PP}\uparrow\text{W}\downarrow\text{IF}$

Macdougall et al. 1998	1-10	30s	2 a 4	4	↑PP↑W↑VO <sub>2max</sub>
Barnett et al. 2004	1-6	30s	3 min	8	↑PM↑VO <sub>2pico</sub>
Burgomaster et al. 2005	4-7	30s	4 min	2	↑T <sub>lim80%</sub>
Bailey et al. 2009	4-7	30s	4 min	2	↑cinética do VO <sub>2</sub> e ↑EO <sub>2</sub>
Bayati et al. 2011	3-5	30s	4 min	4	↑PAM↑PP↑PM↑ VO <sub>2max</sub> ↑T <sub>lim100%</sub>
Astorino et al. 2012	4-6	30s	4 min	3	↑PP↑PM↑VO <sub>2max</sub>
Metcalfe et al 2012	2	10 a 20s	-	6	↑VO <sub>2pico</sub>

PP = potência pico; PM = potência média; W = trabalho mecânico. VO<sub>2</sub> = extração muscular de oxigênio; LAC<sub>max</sub> = lactato máximo no final do teste Wingate; VO<sub>2max</sub> = consumo máximo de oxigênio; VO<sub>2pico</sub> = pico consumo de oxigênio; T<sub>lim</sub> = tempo limite; IF = índice de fadiga; FC = frequência cardíaca; DP = débito cardíaco; S = semanas de treinamento; PAM = potência aeróbia máxima.

Apenas dois estudos foram encontrados sobre o efeito do SIT executado em esteira mecanizada em indivíduos não-atletas. Macpherson et al. (2011) comparou o uso do SIT (quatro a seis repetições de 30s *all-out* com quatro min de recuperação) com o treinamento convencional (65% VO<sub>2max</sub>, de 30 a 60 min) em homens e mulheres fisicamente ativos. Os autores encontraram diminuição do percentual de gordura, menor tempo na prova de 2 km e aumento da potência aeróbia (VO<sub>2max</sub>) para ambos os grupos. No entanto, o débito cardíaco foi maior no grupo do treinamento convencional, o que pode indicar que as adaptações do SIT são de origem periférica. Hazell et al. (2014), analisando o efeito do mesmo treinamento aplicado por Macpherson et al. (2011), encontraram diminuição no percentual de gordura (8%) e aumento do VO<sub>2max</sub> (8,7%). Em outro estudo, Nevill et al. (1989) utilizou três formas de *sprint* solicitando 110% do VO<sub>2max</sub> [duas séries de 30s e 10 min de recuperação (2x/semana), de seis a dez séries de 6s com 54s de recuperação (1x/semana) e cinco séries de 2 min com 5 min de recuperação (1x/semana)]. Esta forma de treinamento aumentou em 12% a potência pico (PP) e 6% a potência média (PM).

Em síntese sugere-se que o SIT tem efeito sobre os indicadores da aptidão anaeróbia (PP e PM) e sobre os indicadores de *endurance*. No

entanto, apesar de estar bem estabelecido que alguns modelos são benéficos para a EC, poucas evidências sobre o efeito do SIT sobre a EC foram encontradas na literatura. A economia de corrida (EC) pode ser definida como o consumo de oxigênio em velocidade submáxima. Os modelos de TIAI que parecem ter efeito sobre a EC são modelos definidos por Billat (2001a) como aeróbios. Billat et al. (1999) analisou o efeito de dois tipos de TIAI sobre a EC de corredores treinados, um chamando de normal e outro sobrecarregado. Ambos treinamentos foram realizados com os mesmos participantes seis vezes por semana durante quatro meses. Primeiro todos realizaram um treinamento contínuo tradicional durante dois anos. Posteriormente, da primeira à quarta semana foi realizado o treinamento normal, constituído apenas de corridas contínuas, um dia de treinamento intervalado de alta intensidade [levando em consideração o  $vVO_{2max}$  e tempo limite no  $vVO_{2max}$  ( $T_{lim}vVO_{2max}$ )] e um dia de treinamento na velocidade do OBLA. O treinamento sobrecarregado foi realizado da quinta a oitava semana, constituído de três dias de treinamento intervalado e um dia de treinamento na velocidade do OBLA. Depois de 8 semanas de treinamentos os atletas aumentaram a EC em  $\approx 6,5\%$ . Modelo parecido de TIAI foi posteriormente testado por Guglielmo (2005). O treinamento constituía-se de: aquecimento de 4 km, cinco séries de corrida a 100% do  $vVO_{2max}$  com duração de 60% do  $T_{lim}vVO_{2max}$  com repouso ativo a 50% do  $vVO_{2max}$  e duração de 60% do  $T_{lim}vVO_{2max}$ , e 2 km de volta a calma. No entanto, não foi encontrado efeito do treinamento sobre a EC na velocidade 14 km/h.

Diferentes modelos de TIAI sobre a EC foram testados por Franch et al. (1998). Os autores investigaram os efeitos de três tipos de treinamento de corrida de alta intensidade sobre a EC em 36 corredores recreacionais do sexo masculino. Os participantes foram divididos em três grupos: 1) treinamento contínuo; 2) treinamento com intervalo aeróbio longo com 4 minutos de corrida e 2 minutos de pausa repetido de quatro a cinco vezes e 3) treinamento com intervalo curto (92% da  $FC_{max}$ ; 15 segundo de corrida e 15 segundos de descanso repetidos de 30 a 40 vezes). O treinamento foi realizado três vezes por semana durante seis semanas. Os corredores que realizam o treinamento contínuo e intervalo longo aumentaram sua EC em cerca de 3%, enquanto os que realizaram o treinamento curto de 0,9%, sugerindo que o maior tempo de treinamento é o melhor maneira de melhorar EC. Segundo Thomas et al. (1995), os treinamentos para melhorar a EC precisam concentrar esforços na mudança das características fisiológicas, tais como frequência cardíaca, demanda ventilatória (DV), liminar de lactato e regulação da temperatura, a fim de reduzir o consumo de energia associado com estes parâmetros.

## 2.2 Economia de corrida e variáveis biomecânicas da corrida

A melhora na economia de corrida tem sido atrelada a mudanças em parâmetros fisiológicos (FRANCH et al., 1998) e biomecânicos (WILLIAMS e CAVANAGH, 1987; SAUNDERS et al., 2004) como: demanda ventilatória (DV) reduzida (FRANCH et al., 1998; BILLAT, 2001), aumento da potência muscular (NUMMELA et al., 2006) e aumento da rigidez musculotendínea (SPURRS, MURPHY e WATSFORD, 2003), que aumenta a habilidade dos músculos de armazenar e reutilizar a energia mecânica (Ciclo Alongamento-Encurtamento; CAE). O TIAI pode ser benéfico para EC reduzindo a FC, DV e acúmulo de lactato em altas velocidades de corrida (COSTILL, 1986).

Não há dúvidas de que mudanças nos aspectos mecânicos da corrida que permitam um menor gasto energético em determinada velocidade resulte em melhor desempenho em provas de *endurance* (WILLIAMS e CAVANAGH, 1987). Segundo Anderson (1996), diversos aspectos antropométricos e biomecânicos podem estar relacionados com a EC, entre eles: estatura menor do que a média para os homens e um pouco maior do que a média para o sexo feminino, somatotipo ectomorfo ou mesomorfo, baixo percentual de gordura, pés menores que a média, baixa oscilação vertical do centro de massa do corpo, ângulos menores do joelho durante a fase de balanço, menor amplitude de movimento, maior velocidade angular de flexão plantar durante a saída do pé do solo, rotação mais rápida de ombros no plano transversal, baixo pico de forças de reação do solo e efetivo aproveitamento da energia elástica. Além disso, tem sido apontado recentemente que o braço de momento do tendão de Aquiles (SCHOLZ et al., 2008), até fatores externos como tipo de calçado (PERL, DAOUD e LIEBERMAN, 2012) e a resistência do vento (SAUNDERS et al., 2004) influenciam a EC.

Em relação aos fatores antropométricos a estatura, dimensões dos membros, percentual de gordura e a massa corporal têm sido indicados como potenciais fatores que influenciam a EC (SAUNDERS et al., 2004), dentre eles, o tamanho e perímetro da perna e a massa corporal têm ganhado bastante atenção. Segundo Myers e Steudel (1985), a distribuição de massa nas extremidades pode afetar a EC, visto que para os autores quando menos massa houver acumulada nas extremidades menor o gasto energético do movimento de corrida. Analisar a EC

ajustada pela massa corporal (MC),  $\text{ml}\cdot\text{min}\cdot\text{kg}^{-1}$ , pode levar a interpretações errôneas quando se tem o objetivo de analisar diferenças individuais, visto que considerar que toda a variação do  $\text{VO}_2$  em velocidade submáxima pode estar estrelada diretamente a MC é falaciosa (BERGH et al., 1991). Nesse sentido, o uso de métodos matemáticos como a alometria tem ajudado pesquisadores a remover o efeito da massa corporal do  $\text{VO}_2$ , possibilitando que esta variável seja utilizada para explicar as diferenças individuais (TARTARUGA et al., 2009). BERGH et al. (1991), por exemplo, encontrou expoentes alométricos de 0,76 para o  $\text{VO}_2$  submáximo.

Das variáveis cinemáticas relacionadas a EC o tamanho e a frequência de passada são frequentemente analisadas (NUMMELA, KERÄNEN e MIKKELSSON, 2007; WILLIAM e CAVANAGH, 1987). O comportamento eficiente da passada utilizada durante a corrida pode ser reflexo de adaptações mecânicas ou fisiológicas devido ao sucesso do processo de otimização de energia (NUMMELA, KERÄNEN e MIKKELSSON, 2007). Estas adaptações sugerem que, quanto maior a frequência de passos, menor o tempo de contato e melhor a EC. Nesse sentido, a literatura suporta a hipótese de que corredores fundistas de elite combinam melhor o tamanho e a frequência de passadas que bons corredores e são, conseqüentemente, mais econômicos (DALLAM et al., 2005). Tartaruga et al. (2012) demonstra que, dentro de diversas variáveis mecânicas que podem explicar a EC em uma regressão múltipla, o tamanho e a frequência de passada possuem o maior peso, 23 e 28%, respectivamente.

Kyrolainen, Belli e Komi (2001) analisaram a economia de corrida de 17 corredores em 12-13 velocidades de corrida diferentes utilizando-se da eletromiografia como um de seus instrumentos. Os parâmetros biomecânicos utilizados (deslocamento e velocidades angulares do tornozelo, joelho e quadril) não foram bons preditores da EC. No entanto, a produção de força durante o contato com o solo, juntamente com a ativação dos extensores da perna durante a pré-atividade e fases de amortecimento da carga e sua coordenação com a ativação mais duradoura dos músculos isquiotibiais foram de extrema importância. Os autores apontam que a co-ativação dos músculos ao redor do joelho e tornozelo aumenta a rigidez articular, o que parece estar relacionado à melhora da EC. A ação dos extensores de quadril também se torna benéfica a este respeito durante o contato com o solo.

O modelo massa-mola talvez seja um dos fatores biomecânicos mais importantes ligados a EC. O principal papel dos músculos durante a corrida é modular a rigidez das molas para maximizar a exploração da

energia elástica (ALEXANDER, 1991). O impacto do corpo com o solo durante a corrida gera força contrária pelo comportamento da perna de apoio similar a uma mola. Durante a fase excêntrica do contato com o solo a energia mecânica é armazenada nos músculos, tendões e ligamentos que atuam por meio das articulações. A recuperação durante a fase concêntrica da energia elástica armazenada reduz o gasto de energia do movimento de corrida. No estudo de Dalleau et al. (1998) foi verificado que existe correlação da EC com a rigidez ( $r = -0,8$ ) e a frequência de ressonância ( $r=0,79$ ), mostrando que este modelo de mecânico pode ajudar no entendimento dos mecanismos que sustentam as diferenças individuais da EC.

Estima-se que os tendões de Aquiles e do arco do pé podem armazenar 35% e 17%, respectivamente, da energia cinética e potencial adquirida e dissipada em um passo, na corrida em velocidades moderadas (KER et al., 1987). Cavagna, Saibene e Margaria (1964) estima que  $VO_2$  durante a corrida pode ser 30-40% mais alta sem contribuições de armazenamento de energia elástica e retorno. Em velocidades mais elevadas, a recuperação elástica da energia prevalece sobre a capacidade contrátil e representa a maior parte do trabalho (CAVAGNA e KANEKO, 1977). A capacidade elástica é influenciada pela velocidade e magnitude do estiramento, nível de ativação e a rigidez da unidade musculotendínea, comprimento do músculo a realização do estiramento e o lapso de tempo entre a conclusão do estiramento e o início da concentração (ARUIN e PRILUTSKII, 1985).

### **2.3 Treinamento pliométrico**

O termo pliométrico surgiu em 1964 e foi definido pela primeira vez por Fred Wilt em 1978. Wilt (1978), mesmo insatisfeito, definiu a pliometria como “exercícios ou treinamento utilizado para produzir sobrecarga na ação muscular do tipo isométrica que invoca reflexo de estiramento nos músculos”. A definição do termo sofreu mudanças de pesquisadores como o treinador russo Yuri Verkhoshansky, que introduziu o termo treinamento de impacto (VERKHOSHANSKY, 1968), e o italiano Carmelo Bosco (BOSCO, 2007). Atualmente pode-se utilizar definição apresentada por Malisoux et al. (2006): o treinamento pliométrico (PT) envolve a realização de movimentos que utilizam o ciclo alongamento-encurtamento (CAE) com alta intensidade de contração excêntricas antes da rápida e potente contração concêntrica. O CAE aumenta habilidade do sistema neural e musculotendíneo em produzir

força máxima em curto espaço de tempo (MARKOVIC e MIKULIK, 2010).

Em geral todo o movimento que utiliza o CAE com certa sobrecarga pode ser considerado pliométrico. No entanto, pode-se considerar os movimentos pliométricos sem impacto, por exemplo, o exercício de flexão (apoio) e exercícios pliométricos com impacto, como, por exemplo, o salto realizado precedido de queda (salto em profundidade ou *drop jump*) e a própria corrida. Mesmo que a corrida envolva movimentos pliométricos, na presente tese será utilizado o termo treinamento pliométrico para os treinamentos realizados com salto verticais. Muitas vezes o salto em profundidade tem sido utilizado como sinônimos de treinamento pliométrico, visto que há sobrecarga maior na fase excêntrica em consequência da queda. Este salto é realizado em 99% do tempo de treinamento aplicado na presente tese, visto que nos saltos contínuos (CJ) apenas o primeiro salto é CMJ, os demais são saltos em profundidade.

Este tópico tem por objetivo revisar a literatura, com foco no saltos em profundidade, em relação aos benefícios do treinamento pliométrico sobre as características musculoesqueléticas e neuromusculares e indicadores de desempenho de *endurance*. Segundo Bosco (2007), o benefício do treinamento pliométrico está relacionado a capacidade de aumentar a habilidade reactiva do sistema neuromuscular (permitindo o desenvolvimento de grande força na fase concêntrica do CAE) devido a dois fatores, que tem contribuições diferentes dependendo do tipo de exercício, são eles: o miogênico, capacidade de utilização da energia armazenada no tecido musculotendínea; e a neurogênica, capacidade de alterar a coordenação e frequência de disparos em unidades motoras envolvendo o reflexo biotático.

As adaptações musculoesqueléticas podem ser divididas em ósseas e musculotendíneas. As adaptações neuromusculares podem gerar adaptações nos tipos de fibra muscular, capacidade contrátil, volume muscular (hipertrofia), arquitetura muscular, aspectos neurológicos e função do CAI. Todas estas características podem gerar adaptações na potência e força muscular.

### 2.3.1 Adaptações musculoesqueléticas

Devido à sobrecarga elevada do treinamento pliométrico (5 a 12 semanas) uma das adaptações relatadas na literatura é o aumento da massa óssea (de 1 a 4%), verificada principalmente em crianças,



adolescentes e mulheres em pré-menopausa, com poucos estudos em adultos, atletas e idosos (MARKOVIC e MIKULIK, 2010). A hipótese mais aceita atualmente é que este aumento da massa óssea acontece devido a mecanotransdução, onde a célula óssea reconhece o estímulo mecânico e produz uma série de reações químicas que leva a produção ou reabsorção óssea. Acredita-se que os osteócitos sejam as células responsáveis pelo reconhecimento do estímulo mecânico e transmissão aos osteoblastos e osteoclastos (SCOTT et al., 2008).

As adaptações musculoesqueléticas também ocorrem no complexo musculotendíneo, visto que em movimentos que envolvem o CAE o comportamento elástico dos músculos, tendões e ligamentos tem importante papel. Nesse aspecto, a rigidez musculotendínea parece ser fator crítico nos movimentos que envolvem o CAE. Apesar de ter sido relatado que a maior rigidez resulta em melhor desempenho ou melhor aproveitamento da energia do CAE (SPURRS, MURPHY e WATSFORD, 2003; DALLEAU et al., 1998), Stafilidis e Arampatzis (2007) mostraram que corredores de velocidade mais rápidos tem a rigidez do tendão e aponeurose do vasto lateral menor que corredores mais lentos apresentando correlação negativa da rigidez com o desempenho na prova de 100 metros rasos ( $r=-0,57$ ). Os autores sugerem que a unidade musculotendínea mais complacente pode armazenar e liberar mais energia, podendo assim melhorar o desempenho do CAE.

Há inconsistência na literatura a respeito dos efeitos do treinamento pliométrico sobre a rigidez, alguns estudos mostram aumento (BURGESS et al., 2007; FOURÉ, NORDEZ e CORNU, 2010; HOUGHTON, DAWSON e RUBENSON, 2013) e outros diminuição (GROSSET et al., 2009) desta variável. O efeito do treinamento pode ter resultados diferentes, principalmente, devido a maneira com que a rigidez é medida. A rigidez pode ser medida de um tendão ou músculos por meio de técnicas indiretas que utilizam eletroestimulação e ressonância magnética ou ultrassom (FOURÉ, NORDEZ e CORNU, 2010) e técnicas duplamente indiretas, como a rigidez de um eixo articular ou a rigidez da perna ou do centro de massa (DAL PUPO et al., 2013; KUBO et al., 2007).

Em alguns casos a resposta ao treinamento tem efeitos diferentes para cada tipo de rigidez. O estudo de Kubo et al. (2007) é um exemplo disto, onde os autores observaram efeito positivo do treinamento (12 semanas) com saltos em profundidade para a rigidez da articulação (63,4%), mas a rigidez do tendão de Aquiles aumentou apenas para o treinamento resistido. Contudo, os autores encontraram aumento do desempenho do CMJ e salto em profundidade apenas para o treinamento

pliométrico e atrelaram esta melhora ao aumento encontrado no alongamento do tendão de Aquiles (~9,5%) e na quantidade de energia elástica armazenada (~19,6%).

Outros autores encontraram efeito do treinamento pliométrico sobre a rigidez do tendão de Aquiles. Burges et al. (2007) reportaram que seis semanas de treinamento pliométrico aumentaram a rigidez do tendão de Aquiles em 29%, aliado ao aumento no desempenho da força concêntrica explosiva. Fouré, Nordez e Cornu (2010) utilizando um treinamento de 12 semanas, baseado em saltos em profundidade de 40, 60 e 80 cm de altura, encontraram aumento de 24,1% na rigidez do tendão de Aquiles. Wu et al. (2010) analisando o efeito de oito semanas de treinamento pliométrico, constituído por diversos tipos de salto, incluindo também o salto em profundidade, com três séries de 10 repetições, relatou aumento do potencial de ativação do músculo sóleo, redução do *delay* eletromecânico voluntário (DEV) que está relacionado com a rigidez do tendão de Aquiles e a potencialização da pré-ativação muscular que foi seguida por um aumento na rigidez e utilização da energia (~32%).

Grosset et al. (2009) analisou o efeito do treinamento pliométrico e do treinamento de *endurance* sobre o DEV e a rigidez musculotendínea (gastrocnêmio+tendão de Aquiles) utilizando 30 estudantes universitários sedentários. O treinamento pliométrico foi consistido de 20 sessões distribuídas em 10 semanas de saltos em profundidade com 70 cm de altura (4-9 séries de 8 repetições) e saltos com resistência elástica (4-9 séries de 10 repetições). O treinamento de *endurance* foi consistido de 45 minutos de corrida em pista a 70% do pico de velocidade (PV) determinado por teste progressivo máximo, nas primeiras duas semanas e 45 minutos de treinamento intervalado aeróbio alternando entre 100% e 50% do PV a cada 30s nas duas semanas finais. Foi relatado aumento de 19,6% da rigidez musculotendínea após o treinamento de *endurance* e diminuição de 21% após o treinamento pliométrico. Um dos motivos que podem ter levado a diminuição da rigidez devido ao treinamento pliométrico é a utilização de indivíduos sedentários e outra a utilização de alturas de 70 cm para os saltos em profundidade. Nesse sentido, Bobbert et al. (1987b) recomendam que os saltos em profundidade sejam realizados com baixas alturas (20–40 cm) para que evitar o impacto acentuado no calcanhar durante a fase excêntrica e em consequência danos nas estruturas passivas. Segundo o autor, o momento articular no tornozelo e a potência mecânica gerada são maiores durante o salto com queda de 40 cm do que de 60 cm. Talvez alturas de queda maiores de 40 cm possam ser prejudiciais a rigidez e ainda por cima não estimulam o desenvolvimento da potência muscular.

Alguns analisaram a mudança da rigidez sobre exercícios que envolvem a exaustão do CAE. Segundo Avela e Komi (1998) a utilização repetida do CAE pode resultar na diminuição da função muscular e alterar a regulação da rigidez diminuindo-a. Kuitunen et al. (2007) avaliou oito sujeitos realizando 100 saltos máximos intermitentes (um a cada 5 segundos) seguidos de saltos submáximos contínuos (a 70% da altura máxima alcançada nos primeiros 100 saltos máximos) até a exaustão realizados em máquina com inclinação de 25°. Segundo aos autores, enquanto nos saltos máximos não houve mudança na rigidez da perna ( $F_{\max}$ /deslocamento), quando os saltos submáximos foram realizados houve diminuição significativa de 27%. Em estudo parecido Horita et al. (2003) também testaram o efeito agudo do exercício de saltos na mesma máquina utilizada por Avela e Komi (1998). Neste estudo a mesma sequência de saltos submáximos a 70% da altura máxima foram realizados até a exaustão. Os participantes realizaram em média  $92 \pm 30$  saltos e chegaram a exaustão em, em média, três minutos. O lactato após o exercício foi em média de  $7,2 \text{ mmol.l}^{-1}$  e dois dias depois aumentaram a atividade da creatina cinase (CK). Isto sugere que a exaustão do CAE induz fadiga metabólica e dano muscular tardio.

O único estudo que investigou o efeito da fadiga no exercício de saltos contínuos proposto por Bosco, Luhtanen e Komi (1983) foi Dal Pupo et al. (2013). Os autores detectaram que, juntamente com a diminuição da altura do salto e da potência mecânica, há diminuição da rigidez quando comparados os primeiros 10% dos saltos e os últimos de 10% de uma repetição de 30s. Este fato mostra que saltos em profundidade repetidos seguidamente que levem a sinais de fadiga tendem a diminuir a rigidez imediatamente após o exercício (efeito agudo). Em outro estudo Dal Pupo et al. (2014) mostraram que após os 30s do CJ há um acúmulo de lactato de aproximadamente  $8,22 \pm 1,34 \text{ mmol.l}^{-1}$  enquanto o teste de Wingate  $12,79 \pm 1,88 \text{ mmol.l}^{-1}$ . Nesse sentido, o CJ<sub>30</sub> parece ser menos glicolítico que o Wingate, devido principalmente ao tempo de contração reduzido do CJ<sub>30</sub>. Em praticamente metade do tempo de execução dos 30s do CJ os indivíduos estão no ar, o que não ocorre no Wingate.

### 2.3.2 Adaptações neuromusculares

Há poucas evidências sobre a transição de fibras musculares devido ao treinamento pliométrico. Enquanto alguns estudos mostram não

haver mudanças no tipo de fibra (KYROLAINEN et al., 2005; POTTEIGER et al., 1999), outros estudos, como de Malisoux et al. (2006), mostram aumento da proporção das fibras do tipo IIA no vasto lateral. Estas adaptações são parecidas com as que acontecem no treinamento com *sprints* relatado nos tópicos anteriores.

Adaptações no volume muscular e nas propriedades contrateis das fibras também são relatadas na literatura. Grosset et al. (2009) mostrou que 10 semanas de treinamento pliométrico aumentam o pico de torque (PT) e diminuem a taxa de desenvolvimento de força (TDF) do gastrocnêmio. Por outro lado, Kubo et al. (2007) mostraram que 12 semanas de treinamento provocam diminuição do tempo de contração do flexores plantares, mas sem qualquer alteração na PT e TDF, além de aumento do volume muscular do flexor plantar (5%). Malisoux et al. (2006) investigaram o efeito de oito semanas de treinamento sobre as propriedades contrateis de uma única fibra do musculo vasto lateral. Os autores reportaram que houve aumento no  $F_{max}$  e velocidade de contração nas fibras tipo I, IIA e híbridas IIA/IIx, aumento do pico de potência em todas as fibras e aumento da área de sessão transversa das fibras tipo I (23%), tipo IIA (22%) e IIA/IIx (30%). Potteiger et al. (1999), apesar de não encontrarem mudança nos tipos de fibra devido ao treinamento, relataram aumento de 6 a 8% na área de sessão transversa do vasto lateral, valor menor que o encontrado por Malisoux et al. (2006).

Adaptações na arquitetura muscular devidos, exclusivamente, ao treinamento pliométrico realizado com saltos não foram encontradas na literatura. Apenas um estudo (BLAZEVICH et al., 2003) relatou mudanças na arquitetura muscular, mas utilizou um treinamento misto de saltos e *sprints*. Os autores relataram que o ângulo do fascículo do vasto lateral diminuiu e o tamanho aumentou.

O controle neural tem papel importante na potencialização do CAE, incluindo componentes centrais e periféricos. A maioria dos estudos tem utilizado a eletromiografia de superfície (EMG) e contrações voluntária máximas (CMV) durante os saltos verticais para verificar o efeito do treinamento sobre as mudanças na atividade muscular. Chimera et al. (2004) analisando o efeito de seis semanas (duas vezes por semana) de treinamento encontrou um aumento na pré-ativação da musculatura adutora do quadril e aumento na coativação adutor-abdutor quando analisado o salto em profundidade. Kyrölänen, Komi e Kim (1991), apesar de não detectar que, em 4 meses de treinamento com vários tipos de salto, não houve mudança no padrão de atividade da musculatura da perna, observou um aumento na pré-atividade dos músculos extensores do joelho durante a realização do saltos em profundidade. Por outro lado,

Kubo et al. (2007) encontrou um aumento na atividade dos músculos flexores plantares pré-salto e aumento na fase excêntrica e concêntrica dos saltos avaliados. Em consequência os autores também encontraram um aumento da CMV (17%). Wu et al. (2010), encontrou aumento no sinal do EMG para o musculo sóleo, aumento da rigidez do complexo gastrocnêmio tendão de Aquiles e aumento da utilização da energia pelo tríceps sural.

Os estudo supracitado apresentam achados pontuais de adaptações de treinamentos que envolvem vários tipos de saltos. O salto em profundidade talvez seja o salto que tem mais impacto sobre as alterações neuromusculares, mas as adaptações devem-se as características do treinamento. Taube et al. (2011) comparou dois tipos de treinamento com saltos em profundidade realizados em quatro semanas. Participaram 33 indivíduos divididos em controle (GC), saltos em profundidade partindo de 30,50 e 75 cm (G1) e saltos em profundidade partindo de 30cm (G2). Os autores relataram que a adaptação neuromuscular do G1 ocorreu com aumento da atividade elétrica do musculo sóleo entre 120 e 170 ms e entre 20 e 70 ms para o G2. Isto indica que a altura de queda do salto em profundidade é o principal fator para especificidade da adaptação.

Fortes evidencias indicam ganhos neurais a partir do treinamento pliométrico. Behrens, Mau-Moeller e Bruhn (2014), analisando efeito de treinamento pliométrico de oito semanas, composto por CMJ, SJ e saltos em profundidade com 40 cm, observaram aumento do drive neural (EMG) do musculo quadríceps. Alkjaer et al. (2013) utilizando a eletroneuromiografia (ENMG) avaliou o efeito de um treinamento de saltos em profundidade de quatro semanas utilizando atletas bem treinados (velocistas e saltadores). O reflexo H geralmente é utilizado para medir a excitabilidade do neurônio motor, mas é mais aceito como medida da transmissão dos nervos aferentes para os moto neurônios a (arco reflexo). Os autores detectaram diminuição (16%) no pico de atividade EMG após o treinamento. Nenhuma alteração no reflexo H foi detectada. Ao contrário, a onda V aumentou 28,8% verificada 45 ms após o toque no solo. Esta mudança na onda V pode indicar o aumento da excitação do moto neurônio, devido ao aumento na frequência de disparos elétricos para o musculo sóleo.

De acordo com a revisão sistemática de Markovic e Mikulic (2010) a maioria dos estudos pliométricos até 2010 apresentava aumento, entre 3 e 45%, da força máxima e entre -22 e 33% na TDF (força explosiva). Dos estudo mais completos até época pode-se destacar quatro. Kyrolainen et al. (2005) demonstrou que em 15 semanas de treinamento

pliométrico a CVM do quadríceps não foi alterada e do gastrocnêmio aumentou em 10%. A TDF do quadríceps aumentou 35%. Kubo et al. (2007) também relatou aumento da CVM de flexores plantares. Potteiger et al. (1999) mostrou aumento da potência gerada pelo quadríceps (3 a 5%), acompanhando de ganhos hipertróficos. Malisoux et al. (2006) observou aumento tanto da força, quanto da potência do quadríceps. Em estudos mais recentes esta tendência parece continuar. Alkjaer et al. (2013), além de verificar adaptações neurais, observou aumento da altura do salto (11,9%) e pico de potência da articulação do tornozelo (7%). Behrens, Mau-Moeller e Bruhn (2014), citado anteriormente, em consequência de adaptações neurais, observou aumento da força muscular (CVM) e taxa de desenvolvimento de força (TDF) do músculo do quadríceps após treinamento pliométrico.

O único estudo que avaliou adaptações neuromusculares de um treinamento com saltos que se assemelha muito com as características do treinamento proposto na presente tese foi o de Skurvydas et al. (2010). Os autores testaram a aplicação desse treinamento em quatro sessões com intervalo de 72h. O treinamento foi consistido de cinco séries de 20 saltos contínuos com 10 segundos de intervalo entre as séries. O intuito dos autores foi analisar o efeito desse treinamento, que melhoraria a *endurance* do salto, sobre a adaptação neuromuscular dos extensores dos joelhos, e a fadiga neuromuscular e o dano muscular induzido pelo exercício. A fadiga de baixa frequência (FBF) foi avaliada pela razão entre a CVM do quadríceps com estimulação de 20 Hz pela CVM de 100 Hz. O dano muscular foi medido pela concentração de plasmática de CK (creatina cinase). Estas variáveis foram analisadas 3, 10, 30 e 60 minutos a após as sessões. O resultados do estudo mostraram que não houve aumento no desempenho do salto vertical, mas houve aumento na resistência muscular a FBF e ao dano muscular. Nestas duas variáveis foi possível observar diferença significativa dos valores de pós exercício entre a primeira e quinta sessão de treinamento.

Skurvydas et al. (2010) basearam-se nas evidência de que além da fadiga metabólica, a fadiga não metabólica (FBF) (WESTERBLAD e ALLEN, 2002), que aparece frequentemente em exercícios excêntricos, pode acontecer em consequência do treinamento, geralmente devido a diminuição da função muscular em decorrência do dano muscular (CHEN, 2003). Evidências de dano muscular em exercícios de salto vertical realizados até a exaustão são apresentados em Horita et al. (2003). No entanto, tem sido observado que alguns dias (ou até semanas) após a repetição de um exercício que induza fadiga e dano muscular a segunda repetição do exercício induz menos danos. Este comportamento é

chamado de *repeated bout effect*, ou efeito protetivo, que pode ter origem periférica (dano) ou central, mas seus mecanismos permanecem sem explicação aprofundada (MCHUGH, 2003).

### 2.3.3 Efeito do treinamento pliométrico sobre o desempenho atlético e, em especial, os indicadores do desempenho de *endurance*.

O treinamento pliométrico é utilizado para melhorar o desempenho esportivo, visto o aumento na altura do salto vertical (MARKOVIC, 2013) e outros parâmetros como potência, força explosiva ou rápida e força máxima (VILLERREAL et al., 2010). Os treinamentos pliométricos tem aumentado a altura do salto em 10% para o CMJ e 13% para o salto em profundidade. (MARKOVIC e MIKULIC, 2010). Também tem sido relatado melhora nos saltos atléticos como salto em distância e testes de agilidade (MARKOVIC et al., 2007).

Em geral deve-se esperar que o princípio de especificidade do treinamento seja respeitado, onde atletas que requerem mais potência no movimento horizontais (velocistas e saltadores) devem utilizar com predominância exercícios com saltos horizontais e jogadores de basquete e voleibol deve focar no treinamento com saltos verticais (MARKOVIC e MIKULIC, 2010). De qualquer maneira o princípio de transferência deve ser considerado. A grande maioria dos estudo relatados na revisão de Markovic e Mikulic (2010), demonstram que o treinamento pliométrico melhora o desempenho de *sprint* entre 10 e 50 metros. No entanto, isto nem sempre é verdade. Rimmer e Sleivert (2000), comparando os efeitos de um treinamento de *sprints* e um treinamento pliométrico, mostrou que embora o treinamento pliométrico tenha melhorado o desempenho de *sprint* em 2,6% para 10m e 2,2% para 40m o treinamento convencional de *sprints* obteve os mesmos valores de ganho.

Estudos indicam que o treinamento pliométrico melhora a agilidade, sendo que os valores tem ficado entre 1,5 e 10,2% (MARKOVIC e MIKULIC, 2010). Testes de agilidade requerem troca rápida entre ações concêntricas e excêntricas envolvendo assim o CAE. Portanto, tem sido sugerido que o treinamento pliométrico diminui o tempo de contato por meio do aumento da força muscular e eficiência do movimento (ROPER, 1998).

O treinamento aeróbio, por outro lado, leva a um aumento na morfologia e funcionalidade das mitocôndrias do músculo esquelético (SAUNDERS et al., 2004). Um aumento na capacidade respiratória do musculo esquelético permite corredores treinados utilizarem menos

oxigênio por cadeia respiratória mitocondrial em determinada velocidade submáxima. Estas respostas metabólicas provocam melhorias na EC, menor perturbação na homeostase e utilização mais lenta do glicogênio muscular na musculatura de trabalhada (HOLLOSZY et al., 1977). Apesar da crença de que com o decorrer do tempo atletas adotam seu estilo de corrida mais econômico (NELSON & GREGOR, 1975) a melhora da economia com o treinamento aeróbio parece ser lenta e pouco significativa em atletas. Mayhew et al. (1977) sugere que a melhora na EC está relacionada aos anos de treinamento ( $r = -0.62$ ) e que a distância acumulada parece ser mais importante que o volume do treinamento. Nesse contexto, alguns estudos indicam que a EC pode ser incrementada no decorrer dos anos de treinamento em atletas de elite (CONLEY, BURKETT & MILLAR, 1984; JONES, 2006). Jones (2006), acompanhando uma recordista mundial de maratona, detectou um incremento de 15% na EC no período de 1992 a 2003. Em geral, os casos reportam que a eficiência muscular e EC podem, de fato, melhorar com o treinamento aeróbio em uma taxa de 1 a 3% por ano (JOYNER, 2008).

Apesar dos atletas de *endurance* focarem seus esforços no treinamento da resistência cardiorrespiratória e muscular, visto que são fatores determinantes do desempenho, fatores relacionados a metabolismo anaeróbio chamam atenção de atletas de alto nível, pesquisadores (BULBULIAN et al., 1986; HOUMARD et al. 1991; NUMMELA et al., 2006) e seus técnicos. Segundo Noakes (1988), fatores relacionados a potência muscular têm tido papel limitante no desempenho de *endurance*, principalmente quando atletas de elite são avaliados, visto que o  $VO_{2max}$  desses é praticamente idêntico. Estudos neste tema tem sido realizados com corredores treinados (PAAVOLAINEN et al., 1999; TUNNER, WINGS e SCHWANE, 2003; SPURRS, MURPHY e WATSFORD, 2003; SAUNDERS et al., 2006; RAMIREZ-CAMPILLO et al., 2014), atletas de ski *cross-country* (PAAVOLAINEN, HAKKINEN e RUSKO, 1991) e patinadores (KRAMER, MORROW e LEGER, 1993). Segundo a revisão sistemática de Midgley, Mcnaughton & Jones (2007), as adaptações mais importante do treinamento que tem sido atreladas a melhora da EC são: mudança na composição da fibras musculares rápidas para tipos mais lentas (reduzido custo energético para a realização de um determinado nível de força); reduzida ventilação por minuto em determinada velocidade; melhora na eficiência mecânica (reduzir a demanda energética de todo corpo) e aumento no stiffness musculotendínea (aumentar a capacidade de armazenar e retornar a energia elástica e a estabilização muscular).



O estudo de Paavolainen et al. (1999) mesclou diferentes tipos de treinamento como o de potência muscular, intervalado de alta intensidade (por meio de *sprints*) e pliométrico para induzir melhoras no desempenho da prova de 5 km, na EC em  $15 \text{ km.h}^{-1}$  (7,5%) e na potência muscular (teste  $V_{\text{MART}}$ ) sem que houvesse mudança no  $\text{VO}_{2\text{max}}$ . O treinamento foi consistido de 5 a 10 *sprints* de 20 a 100 metros, diversos tipos de exercícios com salto (CMJ, saltos em profundidade, 5 saltos contínuos e etc.) e exercícios resistidos (*leg-press*, extensão e flexão de joelhos) com máxima velocidade e cargas entre 0 e 40% de 1RM. Segundo os autores a hipótese de que a performance de *endurance* e a velocidade pico do teste progressivo são dependentes não apenas do potência aeróbia e da economia de corrida, mas sim as características neuromusculares e anaeróbias foi confirmada. Contudo, devido ao treinamento misto, classificado como treinamento de força explosiva pelos autores, se torna difícil atribuir estas mudanças ao treinamento com saltos, que apenas fez parte de um circuito de treinamento. Estes achados tendem a ratificar os estudos até aqui apresentados que indicam que a mescla entre o treinamento de força e o treinamento pliométrico pode ser a melhor opção para potencializar o desempenho esportivo, tanto de atletas de potência quanto de *endurance*.

Saunders et al. (2006) testou um misto de treinamento pliométrico e treinamento de força com corredores de distância altamente treinados. Foram nove semanas de treinamento com treinamento pliométrico realizado na grama com diversos tipos de saltos. Os autores identificaram aumento na EC em velocidade de  $18 \text{ km.h}^{-1}$  e aumento da potência muscular medida por cinco saltos consecutivos. No entanto, a mescla do treinamento pliométrico com outros tipos de treinamento nem sempre é positiva para o aumento da EC. Barnes et al. (2013) relatou que a inclusão de um treinamento pliométrico a um treinamento de força é prejudicial à EC. Sendo que o treinamento de força máxima exclusivo incrementou a EC em 3,5% e quando foi adicionado o treinamento pliométrico este incremento diminuiu para 1%. Entretanto, os resultados deste estudo são questionáveis e de difícil interpretação, visto as pequenas magnitudes de incremento da EC.

Ramirez-Campillo et al. (2014) testaram o efeito de um treinamento exclusivamente pliométrico com saltos em profundidade partindo das alturas 40 e 60 cm sobre o desempenho de atletas de *endurance* alta treinados. Os autores relataram melhora no desempenho da prova de 2,4 km (-3,9%), no *sprint* de 20 metros (-2,3%), aumento no CMJ com auxílio dos braços (9%), salto em profundidade com 20 cm (12,7%) e salto em profundidade com 40 cm (16,7%). Estudos anteriores

também relataram benefícios do treinamento pliométrico para atletas de endurance. Tuner, Owings e Schwane (2003) analisaram o efeito do treinamento pliométrico os indicadores de desempenho de endurance de 10 homens e oito mulheres divididos em grupo controle e experimental. O grupo experimental realizou treinamento pliométrico complementar ao treinamento aeróbio durante seis semanas (três vezes por semana). O treinamento envolveu saltos verticais contínuos (curto tempo) e intermitentes, com uma ou duas pernas, saltos tesoura, e sequências de saltos em aclave. O número de repetições variou de 5 a 30, sendo que o número de séries e intervalo é, aparentemente, negligenciado. Os autores relataram aumento na apenas na economia de corrida (EC). Com o mesmo design Spurrs, Murphy e Watsford (2003) também relataram efeito do treinamento pliométrico sobre a EC. Os autores se utilizaram de um treinamento de seis semanas com duas séries de 6 a 15 repetições de vários tipos de saltos: salto semiagachado, salto tesoura, saltos horizontais contínuos, saltos horizontais alternados, salto agachado e salto de obstáculos com uma ou duas pernas.

Apesar de não existir um modelo de treinamento pliométrico, como acontece com os treinamentos de força, para induzir melhoras na EC, os saltos que estimulam o CAE parecem ter impacto sobre as características neuromusculares. Os saltos em profundidade, saltos realizados com prévia queda, tem se mostrado melhores para o desenvolvimento adaptações neurológicas e aumento da rigidez devido a potencialização da fase negativa acentuada. Este tipo de salto, segundo Bobbert (1990), melhora a potência muscular, principalmente dos músculos extensores do joelho e flexores plantares, melhora a coordenação de movimento, e potencializa o estímulo neuromuscular devido a maior sobrecarga na fase negativa. Esta potencialização do salto em profundidade proporciona o aumento da rigidez musculotendínea, que está relacionada à economia de movimento (MCCAULLEY et al., 2007).

Apesar de alguns estudos se basearem no fato do aumento da rigidez tornar o atleta mais econômico, visto que teoricamente a rigidez maior permite ao corpo estocar e utilizar a energia mais eficientemente (TUNNER, WINGS e SCHWANE, 2003; SPURRS, MURPHY e WATSFORD, 2003; SAUNDERS et al., 2006), outros estudos mostram que não necessariamente ser mais rígido é sinônimo de melhor aproveitar a energia. Stafilidis e Arampatzis (2007) demonstraram que a rigidez de corredores rápido e lentos é diferente. A capacidade de alongamento do tendão e aponeurose do musculo vasto lateral dada determinada força e durante CVM. Além disso, foi encontra relação moderada ( $r=-0,56$ ) do alongamento máximo do tendão e aponeurose com o tempo do 100 metros

rasos. Os autores concluíram que este grande alongamento beneficia o armazenamento e retorno da energia, bem como a velocidade de encurtamento da unidade musculotendínea. Portanto, nem sempre maior rigidez significa melhor aproveitamento de energia. Dumke et al. (2010), apesar de encontrar relação negativa entre a rigidez do tríceps sural e o consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) em velocidade submáxima encontrou relação positiva entre  $VO_2$  e a potência pico mensurada no CMJ. O autor sugeriu que a maior rigidez e menor potência estão associadas à melhor economia de corrida.

Treinamentos essencialmente de potência muscular realizados em aparelhos de musculação normalmente não apresentam efeito sobre a EC (GUGLIELMO, GRECO e DENADAI, 2009; TAIPALE et al., 2013). O efeito do treinamento essencialmente explosivo sobre a EC não foi encontrado durante esta revisão. Heggelung et al. (2013), apesar de não terem analisado o efeito sobre a EC, relatou que o treinamento de força explosiva, o realizado com o exercício de extensão de joelhos com quatro a cinco séries de 5RM (85–95 % de 1RM) e 3 min de intervalo, utilizando máxima mobilização de força na fase concêntrica, melhorou a economia de movimento de extensão de joelhos quando comparado ao treinamento tradicional com três séries de 10RM (60-70% 1RM) e 1 min de intervalo. A economia de movimento melhorou 30 e 17% e a taxa de desenvolvimento de força (TDF) aumentou 155 e 83% no treinamento de força explosiva e convencional, respectivamente. O treinamento explosivo é realizado com altas cargas e alta velocidade de solicitação muscular, pois a velocidade do movimento é baixa devido a quantidade de carga a ser deslocada. A velocidade máxima de contração muscular, ou intenção para vencer cargas elevadas, é mais importante que a velocidade do movimento para o desenvolvimento da força explosiva (BEHM e SALE, 1993).

Mikkola et al. (2011) testou três diferentes tipos de treinamento de força com duração de oito semanas sobre o desempenho aeróbio de corredores recreacionais. Segundo os autores o treinamento de força máxima e o treinamento misto (força máxima e potência) induziram adaptações neuromusculares aumentando a força máxima (1RM) dos músculos dos membros inferiores e a atividade eletromiográfica sem que ocorresse hipertrofia. No entanto, nenhum dos treinamentos foi capaz de melhorar a EC. O treinamento de RML não gerou qualquer adaptação neuromuscular. Em contrapartida Johnson et al. (1997), que testaram um treinamento misto utilizando exercícios com duas séries de 20RM, 15RM, 12RM, 8RM e 6RM, relataram melhora de 4% na EC após dez semanas de treinamento com mulheres corredoras de fundo. Apesar dos resultados

de Mikkola et al. (2011), Millet et al. (2002) detectaram que um treinamento de força máxima de três semanas com três a cinco séries e três a cinco repetições a 90% de 1RM adicionado ao treinamento aeróbio tradicional foi capaz de melhorar a EC em corredores altamente treinados. Posteriormente, outros autores como Støren et al. (2008); Guglielmo, Greco e Denadai (2009) e Piacentini et al. (2013) apresentaram resultados parecidos com incrementos na EC na ordem de 5%.

Os prováveis mecanismos que provocam melhora a EC devido ao treinamento de força máxima relatado pelos autores supracitados são: aumento da força máxima de membros inferiores, aumento da rigidez musculotendínea e aumento na capacidade explosiva (taxa de desenvolvimento da força). Todas estas respostas ocorrem normalmente sem aumento da hipertrofia, que seria teoricamente limitadora do desempenho de *endurance* (BARNES et al., 2013). Um dos papéis mais importantes do músculo é modular a rigidez do tendão para melhorar a utilização da energia elástica. Um sistema musculotendíneo ajustado e um maior grau de rigidez pode ser vantajoso para a EC (DAWSON e TAYLOR, 1973). Isto é apoiado pelos resultados de Jones (2002) e Craib et al. (1996), onde foi verificado que os corredores menos flexível nos membros inferiores apresentam melhor RE. Adicionalmente, em estudo recente, foi sugerido que o tendão de Aquiles mais longo, maior percentual de fibras do tipo IIx e força muscular da perna pode incrementar o potencial do CAE e melhorar a EC (HUNTER et al., 2015).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Delineamento do estudo

Este estudo caracteriza-se como um ensaio controlado randomizado formado por dois grupos paralelos e segue as recomendações do CONSORT *Statements (Consolidated Standards of Reporting Trials)* (SCHULZ, ALTMAN e MOHER, 2010). Foi utilizado um *checklist* de 25 itens e um diagrama de fluxo (disponíveis em Moher et al., 2010) sugerido pelo CONSORT para minimizar os vieses do estudo. Os grupos foram formados por sorteio e todos os participantes do estudo realizaram o mesmo treinamento aeróbio. O grupo controle (GC) realizou apenas o treinamento aeróbio e o grupo experimental (GE) um treinamento complementar intervalado de saltos verticais contínuos máximos (JIT). Todos os participantes foram avaliados antes e após a realização dos treinamentos.

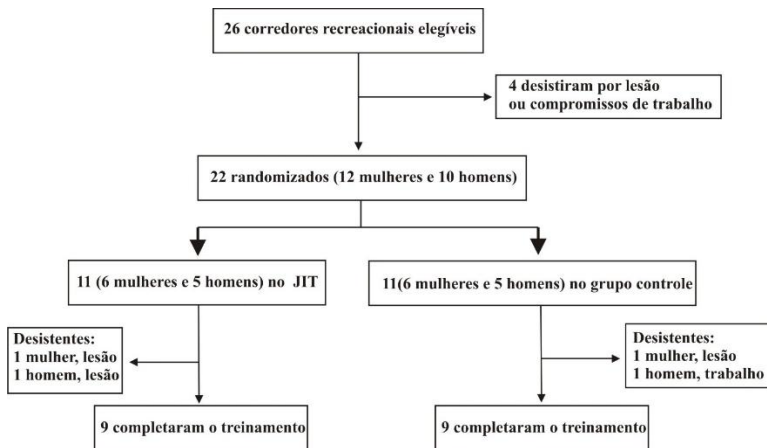
#### 3.2 Participantes do estudo

Participaram do estudo 26 indivíduos, sendo: 10 homens e 16 mulheres. Quatro mulheres desistiram do treinamento após o primeiro dia de testes por diversos motivos, desde de viagens inesperadas até lesões ocasionadas em alguma atividade esportiva. Dos 22 restantes, três participantes (duas mulheres e um homens) lesionaram-se durante os treinamentos e um homem desistiu devido a compromissos de trabalho. Dezoito indivíduos (10 mulheres e oito homens) fizeram parte efetivamente da primeira parte do estudo que investigou o efeito do treinamento (Figura 2). Na segunda parte do estudo, foi analisada a relação da coordenação intrassegmentos e rigidez com a economia de corrida. Participaram vinte e dois indivíduos, incluídos quatro participantes que iniciaram o treinamento e se lesionaram ou desistiram, visto que suas avaliações pré-treinamento estavam preservadas.

Os participantes foram selecionados a partir de um grupo de pessoas interessadas (elegíveis) em participar do projeto entre os frequentadores da Academia-Escola da UDESC (Academia Prof. Dr. Ruy Jornada Krebs; Itacorubi, Florianópolis) e dos laboratórios de pesquisa e alunos da graduação do CDS/UFSC. Os seguintes critérios de inclusão foram utilizados: homens e mulheres fisicamente ativos com idade entre 18 e 40 anos; indivíduos habituados ao treinamento aeróbio, que corressem com intensidade moderada de duas a cinco vezes na semana;

apresentar bom padrão de movimento na realização de saltos com contramovimento e saltos contínuos; disponibilidade para seguir o treinamento proposto. Os critérios de exclusão foram: ter realizado treinamento pliométrico regular nos últimos três meses e apresentar lesão musculoesquelética de MMI nos dois últimos meses, impossibilitando o treinamento e a realização de desempenho físico máximo.

Apesar de não fazer parte dos critérios de exclusão, o treinamento de força realizado regularmente pode ter efeito nos resultados do estudo. Quatro participantes, que estavam realizando este tipo de treinamento nos últimos três meses, tiveram que passar por um processo de estabilização do treinamento de força nas duas semanas que antecederam as primeiras avaliações para que pudessem participar do estudo. A estabilização foi realizada mantendo-se o treinamento que estava sendo realizado (mesmas cargas, intervalos e exercícios). Este mesmo treinamento foi mantido e monitorado durante toda a fase de treinamento do presente estudo. Sendo assim, espera-se que tenha sido afastada a possibilidade de viés do treinamento de força neste indivíduos.



**Figura 2.** Digrama de fluxo da análise de inclusão e exclusão, randomização e perda amostral.

Após a seleção da amostra, foi realizado teste progressivo máximo (incremental) em esteira com estágios de três minutos e um  $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  de incremento, a fim de identificar o pico de velocidade (PV). O PV, que é um bom indicador da potência aeróbia, foi utilizado para formar os GC e GE. Quando dois indivíduos do mesmo sexo apresentaram

diferença de  $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  ou menor no PV a sua potência aeróbia era considerada idêntica ou muito próxima. Esses indivíduos formaram uma dupla e por meio de um sorteio com moeda (cara ou coroa) foi definido qual deles participaria do GE (JIT) e qual deles faria parte GC. Os participantes foram informados textual e verbalmente sobre os objetivos e os procedimentos do estudo e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE; apêndice A). Os procedimentos do estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEPSH) da UFSC (Protocolo nº 22537013.4.0000.0121) (Anexo A).

Antes das coletas foi realizado o cálculo amostral *a priori* por meio do *software* Gpower para se ter ideia do tamanho da amostra necessário. Utilizando *effect size* de 0,25 (de peso médio segundo COHEN, 1988),  $\alpha = 0,05$ , poder de 0,8 (mínimo aceitável) e correlação entre teste e reteste das variáveis 0,8, o tamanho da amostra indicado foi 16 indivíduos. Após a realização do estudo foi calculado o poder da análise (*pos hoc*), visto que foram utilizado 18 participantes. Utilizando-se do mesmo *effect size* médio (0,25), valor bem abaixo dos encontrados, e a correlação entre teste e reteste de 0,85 (menor valor de correlação teste-reteste encontrado no estudo) foi determinado que o poder do estudo foi de 0,95.

### 3.3 Protocolo de treinamento

Todos os participante do estudo realizaram treinamento aeróbio contínuo em esteira a 70% do PV (Grosset et al., 2009) durante 40 minutos três vezes por semana (segunda, quarta e sexta). Adicionalmente, metade dos participantes (GE) realizaram o treinamento intervalado de saltos contínuos de alta intensidade (JIT) nas terças e quintas-feiras. O JIT foi composto por quatro a seis séries (quatro na primeira semana; cinco na segunda; seis na terceira e cinco na quarta) de saltos verticais máximos realizados continuamente durante 30 segundos. O treinamento foi realizado na seguinte sequência: 1) breve alongamento do quadríceps, ísquios e tríceps sural, 2) aquecimento composto por três minutos de caminhada a  $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  na esteira, 10 segundos de saltitos submáximos com os dois pés e cinco saltos submáximos com contramovimento; 3) séries de saltos contínuos máximos de 30 segundos com cinco minutos de intervalo (1:10) ativo-passivo (dois minutos a  $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  na esteira e três minutos de intervalo passivo); 4) cinco minutos de volta a calma a  $4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Ao final do treinamento os participantes foram questionados em relação

a percepção de esforço pela escala de Borg de 10 pontos (BORG, 1982; Anexo B) e de dor pela escala analógica visual (Anexo C).

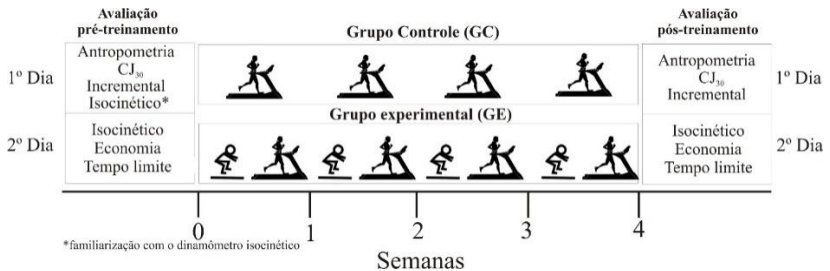
Os treinamentos foram realizados na Academia-Escola da UDESC e nos laboratórios de Biomecânica (BIOMECH) e Esforço Físico (LAEF) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A esteira utilizada na UDESC e a esteira do LAEF passaram por um processo de verificação da exatidão da velocidade indicada no painel. Esse pequeno experimento foi realizado com câmera fotográfica indicada na seção 3.5 (Instrumentos de Medida) com frequência de aquisição de 240 Hz. As lonas das esteiras foram filmadas (com ajuda de um tripé) em quatro velocidades diferentes (7, 9, 11, 13 km.h<sup>-1</sup>). Para medir a velocidade de movimentação da lona da esteira e o tamanho da lona foram feitas pequenas marcações nas bordas da lona com tinta. A esteira do LAEF, onde inclusive foram realizadas as avaliações pré e pós-treinamento, apresentou um erro de 1.8% (aceitável para avaliação). No entanto, as esteiras da UDESC apresentaram um erro de 9% em relação a velocidade real de deslocamento da esteira, superestimando a velocidade real. Como a intensidade do treinamento foi prescrita de acordo com o PV detectado pelo teste progressivo máximo realizado no LAEF, foi necessário fazer um ajuste na velocidade das esteiras da UDESC para que a intensidade do treino fosse adequada. No apêndice B é apresentada uma tabela descritiva dos valores de erro encontrados nas esteiras.

### **3.4 Estrutura das avaliações**

As avaliações foram realizadas nos laboratórios BIOMECH e LAEF da UFSC e Laboratório de Pesquisas em Desempenho Humano (LAPEDH) da UDESC em dois dias separados por no mínimo 24 horas e no máximo 72h antes e após o período de treinamento (Figura 3). A avaliação pós treinamento foi realizada após dois dias de repouso a contar do último treino realizado em esteira. Foi solicitado aos participantes que não realizassem exercícios moderados e/ou vigorosos e não se utilizassem de nenhum tipo de complemento alimentar, principalmente estimulantes, como a cafeína, nas 24 horas que antecederam avaliações e durante o período de treinamento. Dois dias antes do primeiro dia de avaliação os participantes foram familiarizados com o protocolo de saltos contínuos, a fim de verificar a qualidade dos saltos verticais realizados e despertar o efeito protetivo às ações excêntricas. As avaliações pós-treinamento foram iniciadas dois dias após o último dia de treinamento. Todos os participantes estavam familiarizados com o teste progressivo máximo



(incremental) com estágios de três minutos. No primeiro dia foram realizadas, incluindo os períodos de intervalo e duração aproximada entre parênteses, as seguintes avaliações nesta sequência: variáveis antropométricas ( $\approx 15$  minutos), teste de saltos contínuos máximos (CJ<sub>30</sub>) ( $\approx 15$  minutos), intervalo de 40 min, teste incremental ( $\approx 45$  min) e familiarização dos testes realizados no dinamômetro isocinético ( $\approx 15$  min). No segundo dia foram realizadas as seguintes avaliações: testes no dinamômetro isocinético ( $\approx 10$  minutos), intervalo de 15 min, economia de corrida ( $\approx 40$  minutos), 10 minutos de intervalo e teste do tempo limite (Tlim) ( $\approx 5$  minutos). As avaliações tiveram a duração média de duas horas por dia.



**Figura 3.** Design do processo de avaliação e treinamento.

### 3.5 Instrumentos de medida

Para avaliação antropométrica foi utilizado um adipômetro (CESCORF científico; sensibilidade: 0,1 mm), uma balança de precisão (Toledo) com resolução de 100g, uma trena antropométrica e um estadiômetro com resolução de 0,1 cm.

Para avaliação do desempenho dos saltos com contramovimento (CMJ) e verticais contínuos (CJ<sub>30</sub>) foi utilizada uma plataforma de força piezoelétrica (Quattro Jump, 9290 AD, Kistler®, Winterthur, Suíça) com frequência de aquisição de 500 Hz. O modelo da plataforma é específico para saltos verticais, sendo que sua dimensão é de 1 m<sup>2</sup>.

Uma esteira (IMBRAMED, modelo ATL 10200, Brasil) foi utilizada para as avaliações dos indicadores de desempenho de *endurance* e para o treinamento de alguns participantes do estudo. Para realização do treinamento foram utilizadas esteiras Embreex (modelo 570, Brasil).

Para as avaliações realizadas na esteira os participantes respiraram em uma máscara (Hans Rudolph®, EUA), conectada a um

analisador de gases Quark CPET (Cosmed®, Roma, Itália). A calibração do equipamento foi realizada conforme as recomendações do fabricante antes de cada teste, respeitando a seguinte sequência: 1) calibração do ar ambiente; 2) calibração dos gases (O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>) a partir de concentração conhecida de gases (16% de O<sub>2</sub> e 5% de CO<sub>2</sub>) e 3) calibração da turbina utilizando-se de uma seringa com volume de ar de três litros do próprio fabricante. Em conjunto com o analisador de gases foi sincronizado um frequencímetro para medir a frequência cardíaca durante os testes.

Para as avaliações de coordenação intrassegmentos (CRP), rigidez no CJ<sub>30</sub> e durante a avaliação da economia de corrida foi utilizada uma câmera digital (Canon SX510 HS, Tokio, Japão) com frequência de aquisição de 120 Hz e um calibrador com pontos reflexivos em suas extremidades (1 x 1 metro). Para suporte da câmera foi utilizado um tripé com dois níveis (Manfrotto, Italia).

As avaliações de força dos membros inferiores foram realizada por meio de um dinamômetro isocinético (Biodex System 4®, Biodex Medical Systems, Shirley, NY, EUA) com frequência de aquisição de 100 Hz.

Para determinação da percepção de esforço ao longo do tempo de exaustão, após as sessões do JIT e após avaliação do CJ<sub>30</sub>, foi utilizada a escala de Borg de 10 pontos (BORG, 1982) adaptada por Foster et al. (2011) (ANEXO B), no entanto a pergunta “como foi seu treino?” que deveria ser realizada 30 minutos após o exercício foi realizada um minuto após o exercício. Para determinação da percepção subjetiva de dor (PSD) foi utilizada uma escala numérica de 10 pontos (ANEXO C) aliada a uma escala de faces (FERREIRA-VALENTE, PAIS-RIBEIRO, JENSEN, 2011).

Amostras de sangue capilar (25µl) obtidos no lóbulo da orelha foram coletados utilizando tubos capilares heparinizados e estocados em tubos do tipo Eppendorf contendo 50µl fluoreto de sódio. As concentrações de lactato foram medidas por um analisador eletroenzimático (YSI 2700 Stat Plus, Yellow Spring®, EUA).

### **3.6 Protocolos de medida, procedimentos e definição das variáveis**

#### **3.6.1 Avaliação antropométrica**

As seguintes variáveis antropométricas foram mensuradas: massa corporal (MC), estatura, perímetro do quadril, perímetro da cintura, percentual de gordura (%G) e massa livre de gordura (MLG). Os

perímetros foram expressados em metros (cm) e as massas em kg. O %G foi calculado pela equação de Siri (%G = (495/D) – 450), onde D (kg/m<sup>3</sup>) é a densidade corporal. A densidade corporal foi calculada para homens e mulheres, respectivamente, a partir de dobras cutâneas (mm) e da idade (ID, anos) pelas seguintes equações:

$$D = 1,109380 - 0,0008267(\sum 3DC_h) + 0,0000016(\sum 3DC_h)^2 - 0,0002574(ID) \quad [Eq. 1]$$

(JACKSON e POLLOCK, 1978)

$$D = 1,0994921 - 0,0009929(\sum 3DC) + 0,0000023(\sum 3DC)^2 - 0,0001392(ID) \quad [Eq. 2]$$

(JACKSON, POLLOCK, e WARD, 1980)

sendo  $\sum 3DC$  o somatório das dobras cutâneas tricípital, suprailíaca, coxa medial,  $\sum 3DC_h$  o somatório das dobras cutâneas peitoral, abdominal e coxa. A MLG foi calculada subtraindo-se a massa gorda (MC\*%G) da MC.

### 3.6.2 Salto com contramovimento (CMJ)

O CMJ foi avaliado sobre uma plataforma de força específica para saltos. Antes do início dos testes os participantes realizaram um breve alongamento dos principais músculos envolvidos (quadríceps, ísquios tibiais e tríceps sural) e um breve aquecimento com saltos submáximos sobre a plataforma. Inicialmente, o participante foi pesado sobre a plataforma como procedimento para calibração do equipamento. Ao comando do avaliador o sujeito realizou três saltos com intervalo de 30 a 60 s. O salto com contramovimento foi realizado com as mãos na cintura, sendo que o indivíduo teve objetivo de saltar o mais alto possível sem a ajuda dos braços. Para isto o participante foi instruído a iniciar o movimento a partir da posição completamente ereta e, em apenas um movimento vigoroso, realizar um agachamento (flexionando os joelhos em torno de 90°) e saltar o mais alto possível. O participante deveria manter o corpo mais ereto possível durante a fase de voo, amortecer a queda na sequência e ficar na posição ereta novamente.

Todas as variáveis analisadas foram calculadas a partir da força de reação vertical do solo (FRS) extraída do *software* da Kistler, utilizando-se de procedimentos matemáticos por meio de rotina desenvolvida no *software* Matlab. Devido a boa qualidade do sinal e a

falta de informação se os dados extraídos do *software* da Kistler (Kistler®, Winterthur, Suíça) estavam ou não filtrados, por um filtro digital ou mesmo analógico, optou-se por não aplicar nenhuma espécie de filtro na FRS. O procedimento foi iniciado obtendo-se a curva de aceleração a partir da seguinte equação:

$$a(t) = \frac{FRS(t)}{m} \quad [\text{Eq. 3}]$$

sendo a aceleração ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ), FRS a força de reação do solo (N),  $t$  o tempo (s), e  $m$  a massa corporal (kg) do indivíduo. A aceleração foi então ajustada ( $a_{\text{ajust}}$ ) ou retirada a tendência do sinal de acordo com a equação:

$$a_{\text{ajust}}(t) = a(t) - X(a) \quad [\text{Eq. 4}]$$

sendo  $a$  o sinal bruto da aceleração,  $X$  a média da aceleração e  $t$  o tempo. A partir da  $a_{\text{ajust}}$  foram obtidas as curvas de velocidade e deslocamento por meio de integração matemática de acordo com as seguintes equações:

$$v(t) = \int a_{\text{ajust}}(t) \quad [\text{Eq. 5}]$$

$$d(t) = \int v(t) - v_0 \quad [\text{Eq. 6}]$$

sendo  $v$  a velocidade ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $d$  o deslocamento do CM (m),  $a_{\text{ajust}}$  a aceleração ajustada,  $t$  o tempo e  $v_0$  a velocidade inicial (que deve ser zero como pressuposto para o cálculo). Com base na FRS e  $v$  foi calculado a curva de potência ( $p$ ) de acordo com a seguinte equação:

$$p(t) = FRS(t) \times v(t) \quad [\text{Eq. 7}]$$

As variáveis analisadas foram: pico de força (Fmax, em N), considerado o maior valor da curva da FRS na fase de propulsão do salto; altura do salto (H), definida como o deslocamento do CM entre a posição em pé e a maior altura alcançada durante o voo, foi considerado o maior valor da curva do deslocamento ( $d$ ); altura negativa do CM ( $\Delta Y$ ), definida como o deslocamento do CM entre a posição em pé e a posição mais agachada, foi considerado o menor valor da curva de deslocamento ( $d$ ); potência pico (PP, em W), como o maior valor da curva de potência ( $p$ ); potência média (PM, em W), foi considerada a média de potência na fase concêntrica do salto de acordo com a seguinte equação:

$$PM = \frac{p(vp) + p(pmax)}{2} \quad [\text{Eq. 8}]$$

sendo  $p$  a potência,  $vp$  o tempo onde a velocidade ( $v$ ) se torna positiva e  $pmax$  o tempo onde a potência ( $p$ ) atinge o valor máximo; a rigidez vertical ( $KV$ , em  $\text{kN.m}^{-1}$ ), definida a combinação da rigidez de todos os tecidos dos membros inferiores (músculos, tendões, ligamentos, cartilagem e ossos) dentro do modelo massa-mola (BUTLER, CROWELL e DAVIES, 2003), foi estimada pela seguinte equação:

$$KV = \frac{F_{max}}{\Delta_y} \quad [\text{Eq. 9}]$$

sendo  $F_{max}$  o valor máximo da curva da FRS e  $\Delta_y$  deslocamento vertical negativo do centro de massa na fase de contato; e a taxa de desenvolvimento de força (TDF, em  $\text{N.s}^{-1}$ ) calculada na fase excêntrica do salto (MIZUGUCHI, 2012) de acordo com a seguinte equação:

$$TDF = \frac{FRS(vp) - FRS(vm)}{vp - vm} \quad [\text{Eq. 10}]$$

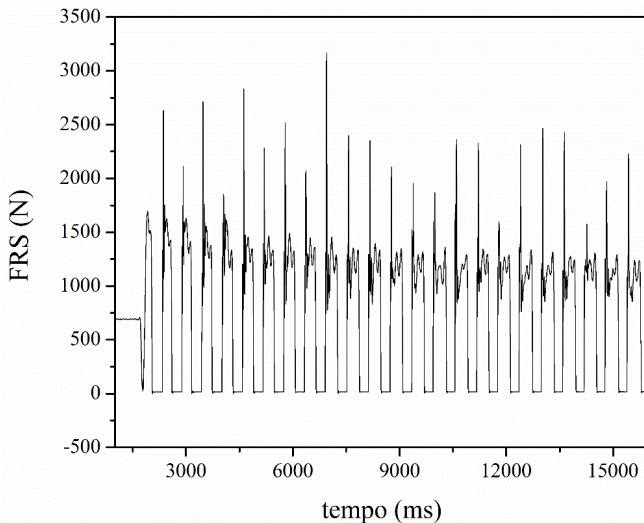
sendo  $vm$  o tempo onde ocorre a menor velocidade do CM e  $vp$  o tempo onde a velocidade do CM se torna positiva.

### 3.6.2 Teste de saltos contínuos máximos (CJ<sub>30</sub>)

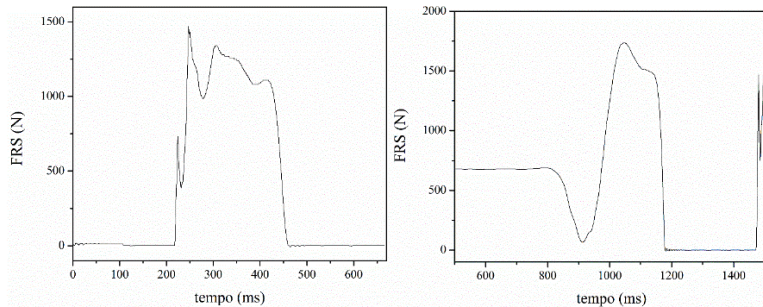
O teste CJ<sub>30</sub> foi realizado sobre a plataforma de força e teve duração de 30 segundos. Foram fixados marcadores reflexivos, que serviram de referência para análise cinemática, em cada ponto anatômico do lado direito do participante. Os pontos marcados foram: cabeça do segundo metatarso, maléolo lateral, epicôndilo femoral lateral do joelho, maior protuberância do grande trocanter e processo acromial da escápula. Após a fixação dos pontos foi posicionada a cinco metros da plataforma de força, perpendicularmente ao plano sagital do participante, uma câmera fotográfica (Canon SX510Hs). Ajustado o *zoom* para o enquadramento foi então filmado um calibrador com quatro pontos (1 x 1 metro) posicionado no centro da plataforma de força. Após esta preparação o participante aguardou o comando do avaliador adotando a posição ortostática e com as mãos na cintura, para que não houvesse participação dos braços. Ao comando do avaliador o participante realizou o mais rápido possível um salto máximo e continuou realizando

continuamente os saltos, procurando flexionar os joelhos em  $90^\circ$  e não flexionar demasiadamente o tronco. O teste foi considerado *all-out* (máximo, sem estratégia). Após os participantes foram questionados em relação a sua percepção de esforço e dor.

As variáveis extraídas da FRS foram praticamente as mesmas analisadas no CMJ. O *software* da plataforma de força (Kistler) utilizado para coleta dos dados possui um modo automático que registra as variáveis para cada salto do CJ<sub>30</sub>. Infelizmente, o *software* nesse modo, além de não registrar informações do primeiro salto (CMJ), perdeu informações de alguns saltos dentro da sequência de 30 segundos. Por esta razão foi utilizado o modo livre, onde apenas a FRS dos 30s foi registrada, como a demonstrada na Figura 4. No entanto, foi necessário realizar um procedimento para que fosse possível estimar as variáveis corretamente, visto que a FRS do CJ tem um formato diferente da FRS do CMJ (Figura 5). Este formato diferente deve-se a característica dos saltos contínuos, onde descartando-se o primeiro salto da sequência, que é um CMJ, os demais são idênticos ao salto em profundidade, visto que os indivíduos partem da maior altura que eles alcançaram no salto anterior.



**Figura 4.** Força de reação do solo (FRS) do teste CJ<sub>30</sub> no protocolo livre da plataforma de força.



**Figura 5.** Curva força de reação vertical do solo (FRS) de um salto isolado do CJ<sub>30</sub> (esquerda) e um salto com contramovimento (direita).

Utilizando-se da primeira etapa do método patenteado da Kistler (US00638984B1) para calcular as variáveis CJ foram separados os saltos levando-se em conta o período entre a metade do tempo de voo do salto anterior e a metade do tempo de voo do salto posterior (Figura 5, painel esquerdo). Desta maneira, foi possível fazer o mesmo processo de integração da FRS aplicado no CMJ, visto que o pressuposto principal para realização da integração foi contemplado (velocidade do objeto igual a zero). Nesse caso, na metade do tempo de voo o indivíduo atinge a maior altura onde a velocidade é zero. Infelizmente, não foi possível calcular a altura do salto (H) seguindo a segunda etapa sugerida pela patente da Kistler, visto que a descrição dos procedimentos depositados na patente não estão claros. Por este motivo a H e a  $\Delta Y$  foram calculadas a partir da análise cinemática.

### 3.6.3 Teste incremental de corrida

O teste incremental foi realizado em esteira ergométrica motorizada utilizando-se um analisador de gases. O teste foi iniciado com a velocidade de 7 km.h<sup>-1</sup> e 8 km.h<sup>-1</sup>, para mulheres e homens, respectivamente, e 1% de inclinação. A velocidade foi incrementada em 1 km.h<sup>-1</sup> a cada três minutos até a exaustão voluntária. A velocidade pico (PV) foi considerada a velocidade do último estágio completado adicionada da fração do estágio incompleto subsequente de acordo com a seguinte equação:

$$PV = V_{comp} + Inc \frac{t}{T} \quad [\text{Eq. 11}]$$

sendo  $V_{\text{comp}}$  a velocidade do último estágio completado,  $Inc$  a velocidade incrementada ( $1 \text{ km.h}^{-1}$ ),  $t$  o tempo sustentado durante o estágio incompleto e  $T$  o número de segundos de duração do estágio (180 s). Entre cada estágio do teste foi realizado um intervalo de 30 segundos para coleta de sangue do lóbulo da orelha a fim de quantificar a concentração de lactato sanguíneo [Lac].

Para calcular a velocidade no segundo limiar de lactato ou *onset of blood lactate accumulation* (vOBLA) foi utilizado a concentração fixa de  $3,5 \text{ mmol.L}^{-1}$ . O teste foi considerado máximo quando dois ou mais critérios forem encontrados: razão de troca respiratória (RER) maior que 1,15 (ISSEKUTZ; BIRKHEAD e RODAHL, 1962); platô de  $VO_2$ ; 90% da  $FC_{\text{max}}$  predita pela idade (LAURSEN et al., 2002) e [Lac] maior que  $8 \text{ mmol.L}^{-1}$  ao final do teste (BASSETT e HOWLEY, 2000).  $VO_{2\text{pico}}$  e QR foram considerados como o maior valor encontrado em janela de 15 segundos após aplicação de um filtro média móvel de três pontos. A  $FC_{\text{max}}$  foi considerada como o maior valor encontrado em janela de 15 segundos.

#### 3.6.4 Teste da economia de corrida (EC) e tempo de exaustão ( $T_{\text{lim}}$ )

Inicialmente foram fixados marcadores reflexivos nos mesmos pontos anatômicos utilizados no teste  $CJ_{30}$ . Os participantes realizaram caminhada prévia de cinco minutos a  $5 \text{ km.h}^{-1}$ , seguido de um descanso de três minutos. A EC foi analisada em três velocidades 8 e  $9 \text{ km.h}^{-1}$  para as mulheres e  $9 \text{ km.h}^{-1}$  e  $10 \text{ km.h}^{-1}$  para os homens (TUNER, OWINGS e SCHWANE, 2003). Cada corrida em determinada velocidade teve duração de seis minutos, com intervalo de três min entre cada velocidade. A medida EC foi representada por duas variáveis: o custo de oxigênio ( $VO_2$ ) e o custo energético (CE). A medida do  $VO_2$  ( $\text{ml.min}^{-1}$ ) foi considerada a média no último minuto de cada corrida após a retirada de valores discrepantes, aplicação de um filtro média móvel de três pontos e média com janelas de 15 segundos. Foi solicitado aos participantes que utilizassem o mesmo tênis nas avaliações pré e pós-treinamento para descartar a influência de diferentes tipos de calçados (PERL, DAOUD e LIEBERMAN, 2012).

O gasto calórico foi calculado com base no  $VO_2$  e  $VCO_2$  ( $\text{ml.min}^{-1}$ ). Para isto foram utilizadas as equações de respiração não proteicas mais atuais de Peronnet e Massicotte (1991), onde foram estimadas a utilização de substratos ( $\text{g.min}^{-1}$ ) no período. As equações utilizadas foram as seguintes:



$$\begin{aligned} \text{Oxidação dos carboidratos (g. min}^{-1}\text{)} \\ = 4.585 \times \text{VCO}_2 - 3.226 \times \text{VO}_2 \end{aligned} \quad [\text{Eq. 12}]$$

$$\begin{aligned} \text{Oxidação dos lipídios (g. min}^{-1}\text{)} \\ = 1.695 \times \text{VO}_2 - 1.701 \times \text{VCO}_2 \end{aligned} \quad [\text{Eq. 13}]$$

A energia derivada de cada substrato ( $\text{kcal. min}^{-1}$ ) foi calculada multiplicando-se a oxidação lipídica e dos carboidratos por 9,75 kcal e 4,07 kcal, respectivamente, refletindo assim a média de energia dos substratos metabolizados durante exercícios moderados e intensos (SHAW et al., 2013. SHAW, INGHAM e FOLLAND, 2014).

Entre os cinco minutos e os cinco minutos e trinta segundos foi medida a coordenação intrassegmentos (CRP) e a rigidez. Para isto foram selecionados três passadas realizadas na metade dos 30 segundos de filmagem, sendo consideradas a média dos valores das variáveis das três passadas.

Para estimativa da rigidez vertical (KV) e da rigidez da perna (KL) foi utilizado o clássico modelo massa-mola aplicado a corrida, proposto por Morin et al. (2005) e posteriormente utilizado por outro autores (LE MEUR et al., 2013; LUSSIANA, HÉBERT-LOSIER e MOUROT, 2014; PAPPAS et al., 2014). As variáveis biomecânicas utilizadas foram: o tempo da contato ou fase de suporte ( $T_{\text{cont}}$ ), definido como o tempo decorrido desde o contato do pé ao solo até a saída do mesmo pé, e tempo de voo ou tempo de fase aérea ( $T_{\text{voo}}$ ), definido como o tempo decorrido desde a saída de um pé até o contato do outro pé no solo.  $T_{\text{cont}}$  e  $T_{\text{voo}}$  foram medidos visualmente por meio dos vídeos utilizados na análise cinemática (OGUETA-ALDAY et al., 2013).

O KV ( $\text{kN.m}^{-1}$ ) foi calculado pela razão entre a força máxima ( $F_{\text{max}}$ ) e o deslocamento vertical ( $\Delta y$ , em metro) do centro de massa (CM):

$$KV = \frac{F_{\text{max}}}{\Delta y} \quad [\text{Eq. 14}]$$

Como a esteira utilizada não possuía uma plataforma de forças foi necessário estimar a  $F_{\text{max}}$  pela seguinte equação:

$$F_{\text{max}} = mg \frac{\pi}{2} \left( \frac{T_{\text{voo}}}{T_{\text{cont}}} + 1 \right) \quad [\text{Eq. 15}]$$

com  $m$  sendo a massa corporal do participante (em kg),  $g$  a aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m.s}^{-2}$ ),  $T_{\text{voo}}$  e  $T_{\text{cont}}$ , respectivamente, sendo tempo de voo e de contato (em s). O  $\Delta y$  foi estimado pela seguinte equação:

$$\Delta y = \frac{F_{\text{max}} T_{\text{cont}}^2}{m\pi^2} + g \frac{T_{\text{cont}}^2}{8} \quad [\text{Eq. 16}]$$

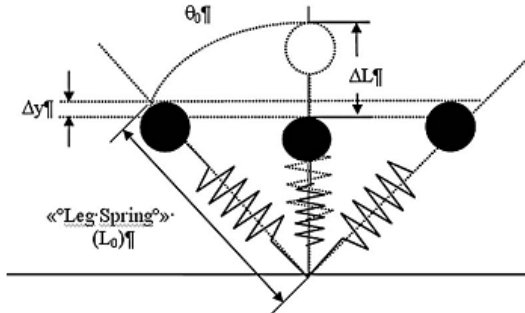
O  $KL$  ( $\text{kN.m}^{-1}$ ) foi calculado pela seguinte equação:

$$KL = \frac{F_{\text{max}}}{\Delta L} \quad [\text{Eq. 17}]$$

$\Delta L$  corresponde a deformação da perna como se fosse uma mola (em m), figura 6, e é calculada pela seguinte equação:

$$\Delta L = L - \sqrt{L^2 - \left(\frac{vT_{\text{cont}}}{2}\right)^2} + \Delta y \quad [\text{Eq. 18}]$$

sendo  $v$  a velocidade da esteira e  $L$  o tamanho da perna (distância entre o grande trocanter e o solo na postura ereta).  $L$  foi definido como  $L = 0,53 \cdot \text{estatura do indivíduo}$ , como proposto por Winter (1979).



**Figura 6.** Representação do sistema massa-mola (Adaptado de Slawinski et al. (2008)).

Outra variável avaliada foi a frequência de passos ( $F_{\text{passo}}$ ), que refere-se ao número de passos por unidade de tempo, calculado pela seguinte equação:

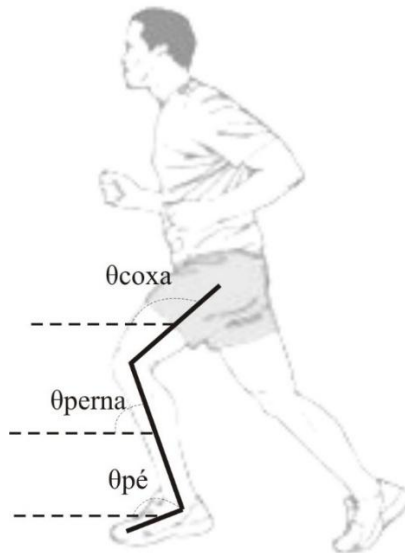
$$F_{\text{passo}} = \frac{1}{T_{\text{cont}} + T_{\text{voo}}} \quad [\text{Eq. 19}]$$

Comprimento do passo ( $C_{\text{passo}}$ ) calculada pela seguinte equação:

$$C_{\text{passo}} = \frac{v}{F_{\text{passo}}} \quad [\text{Eq. 20}]$$

sendo  $v$  a velocidade da esteira e  $F_{\text{passo}}$  a frequência de passos.

A coordenação intrassegmentos foi analisada com base na fase relativa contínua (CRP) (HAMILL et al., 1999; DAL PUPO et al., 2013) de um ciclo de passada, considerando-se a fase de suporte, já definida anteriormente, e a fase de recuperação, que foi definida como o período entre a saída de um pé até o contato do mesmo novamente com o solo. Os procedimentos em relação a fixação dos pontos anatômicos e filmagem foram idênticos aos realizados no teste CJ<sub>30</sub>. Para análise cinemática foram utilizados os *softwares* Kinovea e SkillSpector (Video4coach, Dinamarca). A partir da posição de cada ponto anatômico extraído do *software* SkillSpector foi construído um modelo mecânico formando os segmentos pé, perna e coxa. Para tanto, o *software* Matlab foi utilizado para realizar os procedimentos matemáticos. Os dados passaram por um filtro *butterworth* de 15 Hz de quarta ordem, definido por análise de resíduos (WINTER, 2009). O mesmo filtro foi utilizado por Miller et al. (2008) com frequência de amostragem idêntica a utilizada no presente estudo (120 Hz). A partir dos ângulos segmentares (figura 7), normalizados a 100% do ciclo de passada por meio de interpolação matemática, os diagramas de fases foram construídos para cada segmento pela plotagem da posição angular e a velocidade angular (derivada do deslocamento em função do tempo) do segmento.



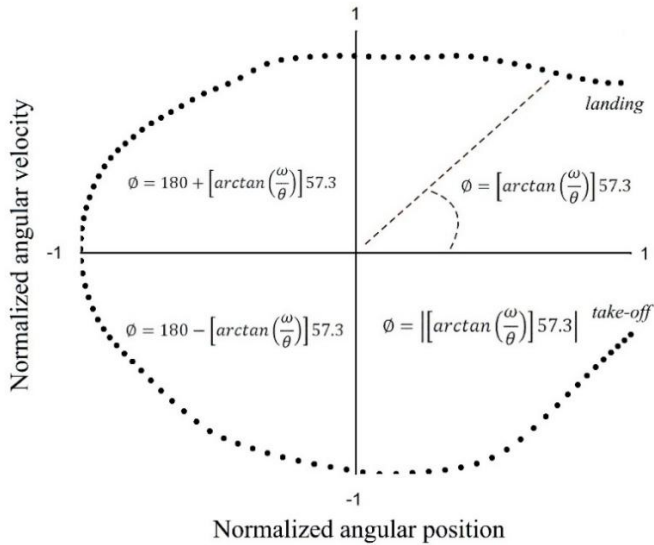
**Figura 7.** Ângulos segmentares adotados durante avaliação da corrida em esteira.

Os diagramas de fase foram então normalizados de 1 a -1 nos eixos x e y (figura 8) pelas seguintes equações:

$$\text{eixo horizontal: } \theta_i = \frac{2 \times [\theta_i - \min(\theta_i)]}{\max(\theta_i) - \min(\theta_i)} \quad [\text{Eq. 21}]$$

$$\text{eixo vertical: } \omega_i = \frac{\omega_i}{\max[\max(\omega_i), \max(-\omega_i)]} \quad [\text{Eq. 22}]$$

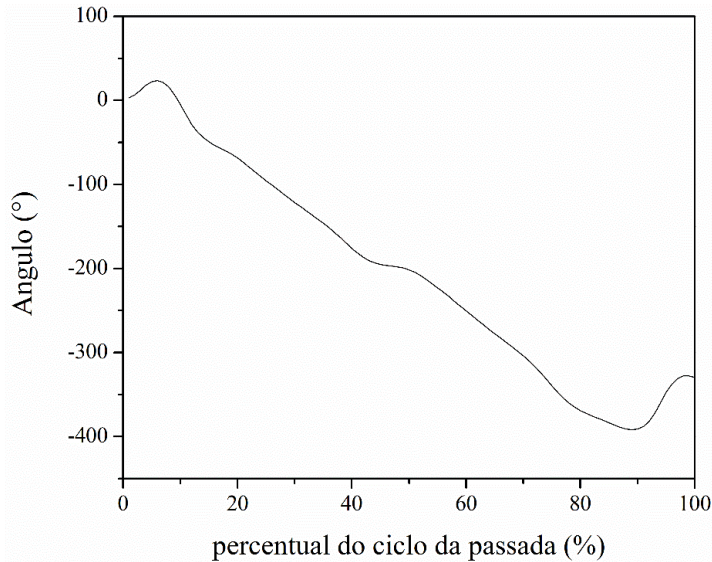
sendo  $\theta$  = ângulo segmentar;  $i$  = posição do dado durante o ciclo da passada (0 a 100%);  $\omega$  = velocidade angular do segmento. Após este processo foi calculado o ângulo de fase ( $\hat{\theta}$ ) (figura 9), a partir de um processo de normalização de 0 a 180°, determinado como o ângulo do arco-tangente formado entre a linha horizontal direita e uma linha traçada entre a origem (0,0) e um ponto específico (Figura 8).



**Figura 8.** Exemplo de diagrama de fase normalizado (Dal Pupo et al., 2013).

O ângulo de fase relativa contínua (CRP) foi calculado como a diferença entre o ângulo de fase (figura 9) de dois segmentos (proximal - distal), sendo definidos os acoplamentos coxa-perna e perna-pé. Foram analisadas três passadas por indivíduo para cada condição do estudo (pré e pós treinamento). Para cada passada individual foi gerado um CRP coxa-perna e um perna-pé. A partir dos três CRPs foi gerado um CRP médio e um CRP desvio padrão (VCRP, representando a variabilidade individual do CRP). A partir destas curvas de CRP foi calculado o RMS (*root mean square*) para a fase de contato, fase de recuperação e total dos 100% do ciclo. O valor RMS individual do CRP médio e do VCRP foi apresentado por meio de média e desvio padrão para a análise de variância (CHIU e CHOU, 2012; MILLER et al., 2008). Adicionalmente, foram gerados gráficos das curvas do CRP, estas curvas consideram a média e o desvio padrão dos CRPs individuais. Um CRP de  $0^\circ$  indica que os respectivos segmentos estão em fase (estado coordenativo totalmente estável). Com o aumento do CRP os segmentos ficam mais fora de fase (estado coordenativo menos estável) até que o CRP de  $180^\circ$  indica um acoplamento antifase (SCHOLZ, 1990). Um CRP positivo indica que o

segmento proximal tem um maior ângulo de fase, enquanto um CRP negativo indica que o segmento distal tem um maior ângulo de fase.



**Figura 9.** Exemplo do ângulo de fase da coxa.

Após o teste de economia de corrida os participantes descansaram passivamente por 10 minutos e iniciaram nova corrida a 100% do PV, sendo incentivados verbalmente a manter o esforço até a exaustão. O  $VO_2$  e FC foram medidos durante todo o protocolo. O  $T_{lim}$  foi considerado como o tempo de esforço mantido em segundos.

### 3.6.5 Teste de força no dinamômetro isocinético

Antes de iniciar os testes no dinamômetro isocinético os participantes realizaram um breve alongamento do quadríceps e dos isquiotibiais e aquecimento em bicicleta ergométrica durante cinco minutos com carga de 25 W. Terminado o aquecimento os participantes foram posicionados e estabilizados com cintos na cadeira do dinamômetro. A inclinação do encosto da cadeira foi ajustado para 85°, o epicôndilo do joelho foi alinhado ao eixo de rotação do dinamômetro e o suporte do braço de alavanca fixado dois dedos acima do maléolo medial

da tíbia. A amplitude angular de extensão e flexão do joelho foi de 10° (extensão total do joelho) a 90° (flexão). Foram realizados quatro testes de contração voluntária máxima (CVM) do membro inferior direito: a) três CVMs isométricas de cinco segundos dos flexores do joelho em 30° com 30 segundos de intervalo; b) três CVMs isométricas de cinco segundos dos extensores do joelho em 60° com 30 segundos de intervalo; c) quatro CVMs isocinéticas concêntrica e excêntrica dos extensores do joelho em 120°.s<sup>-1</sup>; d) quatro CVMs isocinéticas excêntrica e concêntrica dos flexores do joelho em 120°.s<sup>-1</sup>. Foram avaliados os ângulos de 30° e 60° para CVM isométrica de flexão e extensão do joelho, respectivamente, visto que nesses ângulos são normalmente encontrados os maiores valores de torque (MURRAY et al., 1980). Foram analisadas as variáveis pico de torque (PT; N.m), considerado o maior valor das três tentativas, para todos os regimes de contração e taxa de desenvolvimento de torque das contrações isométricas (TDT; N.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>) em 30 ms, 50 ms, 100 ms e 200 ms. O PT foi extraído do *software* do isocinético. Para o cálculo da TDT foi utilizada uma rotina em desenvolvida em Matlab, onde os dados foram filtrados com um filtro butterworth passa-baixa de 20 Hz de quarta ordem. A TDT foi derivada da inclinação da curva de torque ( $\Delta_{\text{momento}}/\Delta_{\text{tempo}}$ ) durante os intervalos de tempo de 0–30, 0–50, 0–100, e 0–200 ms (AAGAARD et al., 2002).

### 3.7 Análise de dados e estatística

Todas as medidas realizadas no estudo foram organizadas por meio dos *softwares* Microsoft Excel e OriginLab (OriginLab Corporation, Northampton, MA, EUA). Todas as rotinas necessárias para os cálculos das variáveis relacionadas ao estudo foram desenvolvidas no *software* Matlab v.2010 (MathWorks, Natick, MA, EUA). Os dados foram apresentados por meio das medidas de tendência central e variabilidade. Para testar o efeito do treinamento sobre as variáveis do estudo foi utilizada uma ANOVA de medidas repetidas (*split-plot*) com um fator entre participantes (grupo: experimental e controle) e um fator dentre participantes (tempo: pré e pós treinamento). O teste Box-cox foi utilizado para verificar se há homogeneidade das variâncias entre as variáveis grupo e tempo. Se o teste de box não for significativo os resultados da Anova são confiáveis. Como post hoc para comparação aos pares (efeitos simples), quando havia interação significativa, foi utilizado o teste de Bonferroni onde é ajustado o valor de p para o número de comparações. Adicionalmente, para analisar a magnitude dos efeitos causados pelo

treinamento para cada grupo, os *effects sizes* foram calculados segundo as seguintes equações (FAUL et al., 2007):

$$d_z = \frac{(M1 - M2)}{SD} \quad [Eq. 23]$$

$$SD = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 - 2rS_1S_2} \quad [Eq. 24]$$

sendo M1 a média pré-treinamento, M2 a média pós-treinamento, SD o desvio padrão médio e r a correlação pré e pós treinamento da variável. Esta abordagem apresenta uma estatística não inferencial, mas com impacto prático. Os critérios para classificação dos *effect sizes* foram os seguintes: < 0,1 = trivial, 0,1-0,3 = trivial/pequeno, 0,3-0,5 = pequeno, 0,5-0,7 = pequeno/moderado, 0,7-1,1 = moderado, 1,1-1,3 = moderado/grande, 1,3-1,9 = grande, 1,9-2,1 = grande/muito grande e > 2,1 = muito grande. Esta classificação foi desenvolvida por Lamberts et al. (2010), de acordo com os critérios sugeridos por Hopkins (2002). Para dados sem distribuição normal foi realizado, como alternativa a ANOVA, o teste Mann-Whitney e o teste Wilcoxon para realizar as comparações aos pares. Para complementar a ANOVA na verificação de mudanças no padrão coordenativo foi utilizada a correlação cruzada entre a curva média do CRP pré e pós-treinamento para cada acoplamento e grupo de participantes. Coeficientes de correlação de Pearson ou Spearman foram utilizadas para verificar a relação entre a coordenação intrassegmentos, representada pelo RMS da curva média do CRP, e o VO<sub>2</sub> e CE. Os seguintes critérios para interpretação da magnitude das correlações foram adotados: <0,1, trivial; 0,11–0,3, pequena; 0,31–0,5, moderada; 0,51–0,7, grande; 0,71–0,9, muito grande; e 0,91–1,0, quase perfeita (HOPKINS et al., 2009). Os testes de hipótese foram analisados com o *software* SPSS v.14 (SPSS Inc. Chicago, IL, EUA) com um nível de significância de 5%.

Tradicionalmente algumas variáveis biomecânicas e fisiológicas, como as apresentadas no presente estudo, são representadas na forma relativa à MC ou MLG, retirando-se o efeito destas variáveis antropométricas. Estas variáveis ajustadas ou escalonadas podem permitir a comparação mais justa entre pessoas com características antropométricas diferentes. No entanto, a utilização da taxa padrão, variáveis/MC ou MLG (por exemplo, potência pico/MLG, representada por W.kg<sup>-1</sup>), é na maioria das vezes falaciosa, visto que não se pode atrelar toda a variação da variável biológica a variação da MC ou MLG, salvo



casos especiais verificados por meio da circunstância especial de Tanner (TANNER, 1949). Portanto, esta técnica normalmente não retira o efeito da MC ou MLG de maneira adequada. Em análise prévia dos dados foi verificada que a taxa padrão não pode ser utilizada para a maioria das variáveis biológicas apresentadas neste estudo. Como o objetivo geral da tese envolve a comparação de variáveis biomecânicas e fisiológica entre pessoas, seria necessário fazer um extenso estudo prévio para encontrar o melhor ajuste para as variáveis de força (força, potência e torque),  $VO_2$  (consumo de oxigênio) e CE (custo energético), por meio da alometria para retirar dessas variáveis o efeito da MC ou MLG, permitindo a comparação mais justa entre os participantes do estudo. Como foco deste estudo é o efeito do treinamento, optou-se por não apresentar as variáveis ajustadas para a MC ou MLG. Contudo, na segunda parte da tese, onde é analisada a relação entre  $VO_2$ , custo energético (CE), coordenação intrassegmentos e rigidez, foi realizado o procedimento alométrico para cálculo do expoente alométrico do  $VO_2$  e CE para a MC. Foi calculado um expoente alométrico para cada variável para cada velocidade de corrida (8,9,10  $km.h^{-1}$ ).

Para o cálculo do expoente alométrico foi descartada a hipótese que as variáveis tem relação linear com a MC. Para isso foi utilizado o coeficiente especial de Tanner (1949):

$$r = \frac{CV_{MC}}{CV_{MP}} \quad [Eq. 25]$$

sendo CV o coeficiente de variação, MC a massa corporal e V a variável ( $VO_2$  ou EC). O coeficiente pode ser interpretado como verdadeiro se a razão entre os coeficientes de variação da MC e da variável em  $VO_2$  ou EC for igual a sua correlação (r). Como nenhuma variável foi considerada uma circunstância especial foi realizado o procedimento alométrico. Para derivar o expoente alométrico foi utilizada a função potência log-linear:

$$\log VO_2 \text{ ou CE} = \log a + b \times \log MC \quad [Eq. 26]$$

sendo a e b, respectivamente, os valores do intercepto e da inclinação da linha de regressão entre  $VO_2$  ou CE e MC. O expoente b foi utilizado para ajustar as variáveis pela seguinte equação:

$$V_{ajustado} = \frac{V}{MC^b} \quad [Eq. 27]$$

sendo  $V$  a variável  $VO_2$  ou  $CE$ ,  $MC$  a massa corporal e  $b$  o expoente alométrico.

## 4 RESULTADOS

A tabela 2 apresenta as características antropométricas dos participantes do estudo antes e após o período de treinamento. Apesar de não ser objetivo da tese analisar os efeitos do treinamento sobre as variáveis antropométricas a análise de variância (ANOVA) indicou que não há efeito do tempo (pré e pós treinamento), do grupo ou interação entre os fatores nas variáveis cintura [tempo ( $p = 0,82$ ); interação ( $p = 0,46$ ); grupo ( $p = 0,24$ )], quadril [tempo ( $p = 0,66$ ); interação ( $p = 0,66$ ); grupo ( $p = 0,68$ )], %G [tempo ( $p = 0,72$ ); interação ( $p = 0,90$ ); grupo ( $p = 0,70$ )], MC [tempo ( $p = 0,67$ ); interação ( $p = 0,96$ ); grupo ( $p = 0,58$ )] e MLG [tempo ( $p = 0,44$ ); interação ( $p = 0,84$ ); grupo ( $p = 0,59$ )].

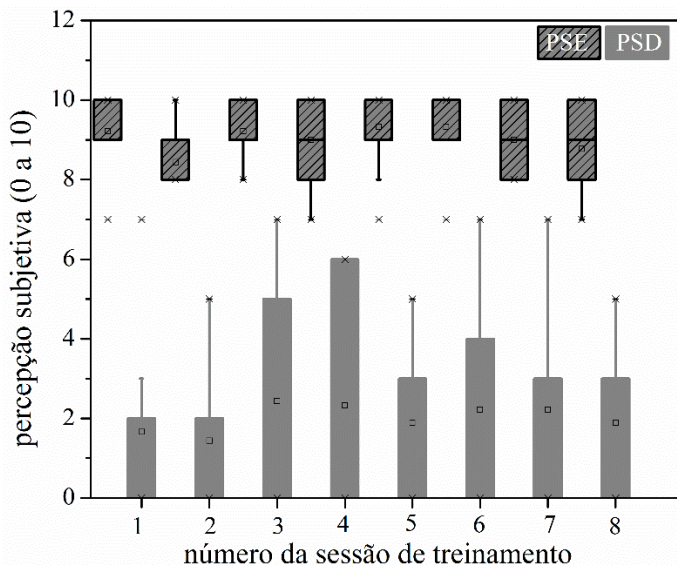
A percepção subjetiva de esforço (PSE) e de dor (PSD) das oito sessões de treinamento de saltos contínuos (JIT) realizadas por quatro semanas estão apresentadas na figura 10 para relatar o nível de intensidade de treinamento e percepção de dor dos indivíduos.

**Tabela 2.** Características antropométricas pré e pós treinamento dos grupos experimental (GE) e controle (GC) (média±DP).

Variáveis	GE (n=9)		GC (n=9)	
	Pré	Pós	Pré	Pós
Idade (anos)	24,33 ± 3,16	-	31,33 ± 5,70	-
PCintura (cm)	71,38 ± 6,39	72,33 ± 6,76	76,16 ± 8,29	75,66 ± 8,26
PQuadril (cm)	93,83 ± 6,21	94,72 ± 5,93	95,44 ± 6,28	95,38 ± 6,10
%G	18,59 ± 7,12	18,21 ± 7,03	17,65 ± 6,89	16,87 ± 7,14
MC (kg)	63,07 ± 10,10	63,34 ± 10,22	66,26 ± 13,93	66,47 ± 13,93
MLG (kg)	51,70 ± 11,45	52,10 ± 11,30	54,76 ± 13,66	55,43 ± 13,75
Estatura (cm)	168,32 ± 9,47	-	166,58 ± 11,91	-

MC = massa corporal; MLG = massa livre de gordura. PCintura = perímetro da cintura;

PQuadril = perímetro do quadril.



**Figura 10.** Box plot da percepção subjetiva de esforço (PSE) e dor (PSD) ao final de todas as sessões de JIT.

Todas as variáveis do CMJ apresentaram distribuição normal. De acordo com a ANOVA foi verificado efeito principal de interação entre a variável tempo (pré e pós treinamento) e grupo (GE e GC) para as variáveis (Tabela 3): H [tempo ( $p = 0,12$ ); **interação** ( $F = 12,60$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2 = 0,44$ ); grupo ( $p = 0,70$ )]; PP [tempo ( $p = 0,67$ ); **interação** ( $F = 8,78$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2 = 0,35$ ); grupo ( $p = 0,47$ )]; PM [tempo ( $p = 0,73$ ); **interação** ( $F = 9,01$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2 = 0,36$ ); grupo ( $p = 0,46$ )]; e efeito principal do tempo para as variáveis  $F_{max}$  [**tempo** ( $F = 4,54$ ;  $p = 0,04$ ;  $\eta^2 = 0,22$ ); interação ( $p = 0,60$ ); grupo ( $p = 0,41$ )];  $\Delta Y$  [**tempo** ( $F = 6,25$ ;  $p = 0,02$ ;  $\eta^2 = 0,28$ ); interação ( $p = 0,09$ ); grupo ( $p = 0,18$ )]; KV [**tempo** ( $F = 10,90$ ;  $p = 0,05$ ;  $\eta^2 = 0,40$ ); interação ( $p = 0,44$ ); **grupo** ( $F = 4,52$ ;  $p = 0,04$ ;  $\eta^2 = 0,22$ )]; e TDF [**tempo** ( $F = 8,96$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2 = 0,36$ ); interação ( $p = 0,53$ ); entre ( $p = 0,25$ )].

Na comparação aos pares, realizada nas variáveis que apresentaram efeito da interação, houve efeito moderado quando comparados os valores pré e pós-treinamento apenas no GE (tabela 3): +4,71% [*Effect size* (ES) = 0,99, dif =  $1,78 \pm 1,69$  cm] para H, +3,72% (ES = 0,82, dif =  $100,81 \pm 121,29$  W) para PP e +3,54% (ES = 0,83, dif =  $50 \pm 59,45$  W) para PM. As variáveis FP,  $\Delta Y$  e TDF (tabela 3)

apresentaram efeito do tempo, ou seja, considerando os dois grupos combinados existe diferença entre a condição pré e pós treinamento ( $p < 0,05$ ). A  $F_{\max}$  diminuiu 2,65% (de 1410,83 N para 1373 N), a  $\Delta Y$  aumentou 5,45% (de 31,52 cm para 33,34 cm) e a TDF diminuiu 16,51% (de 3918,29 N.s<sup>-1</sup> para 3362,77 N.s<sup>-1</sup>). A variável KV do CMJ sofreu efeito do tempo e do grupo, mas não houve interação. Esse fato indica que, considerando-se os dois grupos combinados, existe diferença entre a condição pré e pós-treinamento (a KV diminuiu 8,17% para os dois grupos, de 5,5 kN.m<sup>-1</sup> para 4,1 kN.m<sup>-1</sup>) e que o GC é 16,27% ( $GE = 3,96$  kN.m<sup>-1</sup> e  $GC = 4,73$  kN.m<sup>-1</sup>) mais rígido que o GE, independente da condição pré ou pós-treinamento.

**Tabela 3.** Média e desvio padrão das variáveis biomecânicas dos três saltos com contramovimento.

Variáveis	Grupo Experimental (n=9)		Grupo Controle (n=9)	
	Pré	Pós	Pré	Pós
H (cm)	37,74 ± 5,24	39,52 ± 5,06*	40,02 ± 6,52	39,37 ± 6,65
PP (kW)	2,70 ± 0,59	2,80 ± 0,59*	3,06 ± 0,93	2,98 ± 0,90
PM (kW)	1,41 ± 0,30	1,46 ± 0,31*	1,59 ± 0,47	1,55 ± 0,46
$F_{\max}$ (kN)	1,34 ± 0,24	1,31 ± 0,22	1,47 ± 0,34	1,42 ± 0,34
$\Delta y$ (cm)	32,34 ± 4,57	35,46 ± 4,25	30,71 ± 5,73	31,23 ± 4,22
KV (kN.m-1)	4,19 ± 0,53	3,73 ± 0,53	4,87 ± 1,03	4,59 ± 0,96
TDF (kN.s <sup>-1</sup> )	3,64 ± 1,17	2,96 ± 0,98	4,19 ± 1,44	3,75 ± 1,38

H = altura do centro de massa (altura do salto); PP = potência pico; PM = potência média;  $F_{\max}$  = maior valor da força de reação do solo;  $\Delta y$  = deslocamento vertical do centro de massa na fase de contato; TDF = taxa de desenvolvimento de força; KV = Rigidez do centro de massa; \* diferença entre a condição pré e pós-treinamento ( $p \leq 0,05$ ).

A tabela 4 apresenta a média das variáveis dos 20% primeiros saltos do teste CJ<sub>30</sub>. Todas variáveis apresentaram distribuição normal, exceto a rigidez (KV) do grupo controle. De acordo com a ANOVA foi encontrado efeito de interação entre a variável tempo (pré e pós-treinamento) e grupo (GE e GC) para as seguintes variáveis (Tabela 4):  $H_{1^\circ}$  [**tempo** ( $F = 5,47$ ;  $p = 0,03$ ;  $\eta^2 = 0,25$ ); **interação** ( $F = 8,92$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2 = 0,35$ ); grupo ( $p = 0,80$ )]; H [tempo ( $p = 0,06$ ); **interação** ( $F = 8,75$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2 = 0,35$ ); grupo ( $p = 0,72$ );] PP [tempo ( $p = 0,06$ ); **interação** ( $F = 5,56$ ;  $p = 0,03$ ;  $\eta^2 = 0,25$ ); grupo ( $p = 0,51$ )]; e  $\Delta Y$  [**tempo** ( $F = 6,42$ ;  $p = 0,02$ ;  $\eta^2 = 0,28$ ); **interação** ( $F = 5,27$ ;  $p = 0,03$ ;  $\eta^2 = 0,24$ ); entre ( $p = 0,15$ )]. Na comparação aos pares, realizada nas variáveis que apresentaram efeito de interação, houve efeito moderado/alto quando comparados os valores pré e pós-treinamento apenas no GE (tabela 4): +7,51% [ES = 1,11, dif = 2,74 ± 2,44 cm] para  $H_{1^\circ}$ , +11,7% (ES = 1,2, dif = 3,14 ± 2,58 cm) para  $\Delta Y$ . Efeito moderado de +7,4% (ES = 0,87, dif = 2,55 ± 2,91 cm) para H e + 5,63% (ES = 0,73, dif = 142,78 ± 180,08 W)

para PP. A variável KV não apresentou distribuição normal, para tanto o teste de Mann-Whitney e Wilcoxon foram utilizados para comparações aos pares. Os resultados são apresentados na tabela 4. Como ocorrido no CMJ, a KV parece ser maior no grupo controle.

**Tabela 4.** Tendência central e variabilidade das variáveis biomecânicas dos saltos realizados nos primeiros 6 segundos (20% dos saltos) do CJ<sub>30</sub>.

Variáveis	Grupo Experimental (n=9)		Grupo Controle (n=9)	
	Pré	Pós	Pré	Pós
H <sub>1°</sub> (cm)	36,61 ± 6,06	39,36 ± 4,59*	38,84 ± 6,62	38,51 ± 5,92
H (cm)	34,41 ± 5,92	36,97 ± 4,83*	36,88 ± 6,06	36,38 ± 5,97
PP (kW)	2,53 ± 0,61	2,67 ± 0,61*	2,86 ± 0,96	2,84 ± 0,94
PM (kW)	1,32 ± 0,34	1,29 ± 0,28	1,47 ± 0,43	1,46 ± 0,42
F <sub>max</sub> (kN)	1,31 ± 0,27	1,30 ± 0,23	1,44 ± 0,39	1,43 ± 0,37
Δy (cm)	28,44 ± 4,87	31,59 ± 5,00*	26,37 ± 5,73	26,53 ± 5,08
KV(kN.m <sup>-1</sup> ) <sup>#</sup>	4,38 ± 2,41	3,7 ± 1,63*	5,15 ± 1,49	4,94 ± 1,52†

H<sub>1°</sub> = altura do centro de massa do primeiro salto (altura do salto); H = altura do centro de massa desconsiderando-se o 1° salto (altura do salto); PP = potência pico; PM = potência média; F<sub>max</sub> = maior valor da força de reação do solo; Δy = deslocamento vertical do centro de massa na fase de contato; KV = Rigidez do centro de massa; \* diferença entre a condição pré e pós-treinamento (p ≤ 0,05). † diferença na condição pós-treinamento entre o GC e GE. # variáveis que não apresentaram distribuição normal representadas com mediana e intervalo interquartil.

A tabela 5 apresenta o resultado da média de todos os saltos realizados durante os 30 segundos, com exceção do primeiro (H<sub>1°</sub>). Todas variáveis apresentaram distribuição normal, com exceção da PSE, PSD e rigidez (KV). De acordo com a ANOVA foi encontrado efeito de interação entre a variável tempo (pré e pós-treinamento) e grupo (GE e GC) para as variáveis (tabela 5): H [tempo (F = 6,48; p = 0,02; η<sup>2</sup> = 0,29); **interação** (F = 10,96; p = 0,01; η<sup>2</sup> = 0,41); grupo (p = 0,67)]; PP [tempo (F = 9,83; p = 0,01; η<sup>2</sup> = 0,38); **interação** (F = 9,28; p = 0,01; η<sup>2</sup> = 0,36); grupo (p = 0,44)]; ΔY [tempo (p = 0,12); **interação** (F = 7,21; p = 0,01; η<sup>2</sup> = 0,31); grupo (p = 0,48)]; e apenas efeito do tempo para o número saltos (NS) [**tempo** (F = 14; p = 0,01; η<sup>2</sup> = 0,47); **interação** (p = 0,13); entre (p = 0,27)].

Na comparação aos pares, realizada nas variáveis que apresentaram efeito de interação, houve efeito moderado/alto quando comparados os valores pré e pós-treinamento apenas no GE (tabela 5): +10,18% (ES = 1,04, dif = 3,06 ± 2,92 cm) para H, +9,50% (ES = 1,1, dif = 209,82 ± 191,06 W) para PP e +8,78% (ES = 1,1, dif = 2,44 ± 2,13 cm) para ΔY. Como a variável número de saltos apresentou apenas efeito do tempo, considera-se que existe diferença entre a condição pré e pós-treinamento (p < 0,05) quando são considerados os dois grupos

combinados. O n° de saltos diminuiu 4,7% (25,88 para 24,72), provavelmente porque o GE ficou mais tempo no ar (H maior) na avaliação pós-treinamento. A variável KV não apresentou distribuição normal, para tanto o teste Mann-Whitney e Wilcoxon foram utilizados para comparações aos pares. Os resultados são apresentados na tabela 5 e são similares aos encontrados na média dos 20% primeiros saltos (tabela 4) e na avaliação do CMJ (tabela 3).

**Tabela 5.** Tendência central e variabilidade das variáveis biomecânicas considerando-se todos os saltos realizados no CJ<sub>30</sub>.

Variáveis	Grupo Experimental (n=9)		Grupo Controle (n=9)	
	Pré	Pós	Pré	Pós
PSE#	7 ± 2	7 ± 1,5	8 ± 1	8 ± 1
PSD#	1 ± 4	0 ± 1	0 ± 1,5	0 ± 2
NS	25,44 ± 2,87	23,77 ± 2,43	26,33 ± 2,64	25,66 ± 2,54
H (cm)	30,14 ± 5,69	33,21 ± 4,12*	32,91 ± 5,68	32,51 ± 5,22
PP (kW)	2,19 ± 0,67	2,40 ± 0,67*	2,58 ± 0,89	2,58 ± 0,86
PM (kW)	1,14 ± 0,36	1,13 ± 0,30	1,35 ± 0,46	1,33 ± 0,40
F <sub>max</sub> (kN)	1,20 ± 0,32	1,24 ± 0,32	1,37 ± 0,35	1,35 ± 0,32
Δy (cm)	27,76 ± 6,59	30,20 ± 7,13*	27,23 ± 5,52	26,63 ± 5,22
KV(kN.m <sup>-1</sup> )#	3,74 ± 2,24	3,68 ± 1,57	4,37 ± 1,20	4,79 ± 1,04†

PSE = percepção subjetiva de esforço; PSD = percepção subjetiva de dor; H = altura do centro de massa (altura do salto); PP = potência pico; PM = potência média; F<sub>max</sub> = maior valor da força de reação do solo; Δy = deslocamento vertical do centro de massa na fase de contato; KV = Rigidez do centro de massa; NS = número de saltos; \* diferença entre a condição pré e pós-treinamento (p<0,05). # variáveis que não apresentaram distribuição normal representadas com mediana e intervalo interquartil. † diferença na condição pós-treinamento entre o GC e GE.

A tabela 6 apresenta a avaliação do pico de torque e da taxa de desenvolvimento de torque (TDT). A maioria das variáveis apresentaram distribuição normal. De acordo com a ANOVA foi encontrado efeito de interação entre a variável tempo (pré e pós-treinamento) e grupo (GE e GC) para a variável TDT<sub>Q200</sub> [**tempo** (F = 7,34; p = 0,01; η<sup>2</sup> = 0,32); **interação** (F = 4,85; p = 0,04; η<sup>2</sup> = 0,23); entre (p = 0,52)]. A análise de efeitos simples mostrou que a TDF<sub>200</sub> aumentou 29,55% (ES = 1,02, dif = 183,00 ± 179,93 Nm.s<sup>-1</sup>) no GE, considerado de magnitude moderada. A variável TDT<sub>I200</sub> apresentou efeito do **tempo** (F = 11,28; p = 0,01; η<sup>2</sup> = 0,41); interação (p = 0,36); entre (p = 0,86), portanto os dois grupos combinados apresentam diferença entre a condição pré e pós-treinamento. A TDT<sub>I200</sub> aumentou 13,5% em média para ambos os grupos (de 304,04 Nm.s<sup>-1</sup> para 353,03 Nm.s<sup>-1</sup>).

**Tabela 6.** Tendência central e variabilidade das variáveis da avaliação isocinética.

Variáveis	Grupo Experimental (n=9)		Grupo Controle (n=9)	
	Pré	Pós	Pré	Pós
PTQ <sub>ISM</sub> (kNm)	0,21 ± 0,05	0,22 ± 0,05	0,21 ± 0,06	0,20 ± 0,05
TDT <sub>Q30</sub> (kNm.s <sup>-1</sup> )	1,14 ± 0,30	1,26 ± 0,41	1,00 ± 0,24	0,89 ± 0,30
TDT <sub>Q50</sub> (kNm.s <sup>-1</sup> )	0,98 ± 0,34	1,15 ± 0,46	0,87 ± 0,33	0,84 ± 0,34
TDT <sub>Q100</sub> (kNm.s <sup>-1</sup> )	0,85 ± 0,37	1,07 ± 0,46	0,81 ± 0,46	0,86 ± 0,44
TDT <sub>Q200</sub> (kNm.s <sup>-1</sup> )	0,61 ± 0,25	0,80 ± 0,31*	0,61 ± 0,31	0,63 ± 0,25
PTQC <sub>ISO</sub> (kNm)	0,17 ± 0,04	0,18 ± 0,04	0,18 ± 0,06	0,17 ± 0,06
PTQE <sub>ISO</sub> (kNm) <sup>#</sup>	0,23 ± 0,08	0,24 ± 0,08	0,23 ± 0,09	0,22 ± 0,07
PTI <sub>ISM</sub> (kNm) <sup>#</sup>	0,11 ± 0,05	0,11 ± 0,06	0,93 ± 0,05	0,93 ± 0,06
TDT <sub>I30</sub> (kNm.s <sup>-1</sup> )	0,26 ± 0,13	0,25 ± 0,08	0,30 ± 0,12	0,26 ± 0,09
TDT <sub>I50</sub> (kNm.s <sup>-1</sup> ) <sup>#</sup>	0,27 ± 0,27	0,27 ± 0,17	0,29 ± 0,15	0,26 ± 0,19
TDT <sub>I100</sub> (kNm.s <sup>-1</sup> )	0,33 ± 0,16	0,38 ± 0,13	0,35 ± 0,17	0,36 ± 0,19
TDT <sub>I200</sub> (kNm.s <sup>-1</sup> )	0,30 ± 0,09	0,36 ± 0,12	0,30 ± 0,14	0,34 ± 0,16
PTIC <sub>ISO</sub> (kNm)	0,14 ± 0,03	0,15 ± 0,03	0,15 ± 0,05	0,15 ± 0,05
PTIE <sub>ISO</sub> (kNm)	0,15 ± 0,03	0,16 ± 0,03	0,16 ± 0,05	0,15 ± 0,05

PTQ<sub>ISM</sub> = pico de torque isométrico do quadríceps; PTI<sub>ISO</sub> = pico de torque isométrico dos ísquios; TDT = taxa de desenvolvimento de torque; PTQC<sub>ISO</sub> = pico de torque isocinético concêntrico do quadríceps; PTQE<sub>ISO</sub> = pico de torque isocinético excêntrico do quadríceps; PTI<sub>ISO</sub> = pico de torque isométrico dos ísquios; PTIC<sub>ISO</sub> = pico de torque isocinético concêntrico dos ísquios; PTIE<sub>ISO</sub> = pico de torque isocinético excêntrico dos ísquios; \* diferença entre a condição pré e pós do grupo experimental ( $p \leq 0,05$ ). <sup>#</sup> variáveis que não apresentaram distribuição normal estão representadas com mediana e intervalo interquartil.

A tabela 7 apresenta a avaliação do teste incremental. A maioria das variáveis apresentaram distribuição normal. De acordo com a ANOVA, houve efeito de interação entre a variável tempo (pré e pós-treinamento) e grupo (GE e GC) para as variáveis (tabela 7): PV [**tempo** ( $F = 10,75$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2 = 0,40$ ); **interação** ( $F = 10,57$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2 = 0,40$ ); entre ( $p = 0,88$ )]; VO<sub>2pico</sub> [**tempo** ( $F = 15,62$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2 = 0,49$ ); **interação** ( $F = 12,51$ ;  $p = 0,00$ ;  $\eta^2 = 0,44$ ); entre ( $p = 0,83$ )]; FC<sub>max</sub> [tempo ( $p = 0,73$ ); **interação** ( $F = 6,46$ ;  $p = 0,02$ ;  $\eta^2 = 0,29$ ); entre ( $p = 0,06$ )]; %FC<sub>max</sub> [tempo ( $p = 0,71$ ); **interação** ( $F = 6,52$ ;  $p = 0,02$ ;  $\eta^2 = 0,29$ ); entre ( $p = 0,86$ )] e vOBLA [**tempo** ( $F = 11,48$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2 = 0,42$ ); **interação** ( $F = 8,74$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2 = 0,35$ ); entre ( $p = 0,32$ )]. Na comparação aos pares, realizada nas variáveis que apresentaram efeito de interação, houve efeito de magnitude moderada/alta quando comparados os valores pré e pós-treinamento apenas no GE (tabela 7). O PV aumentou 2,7% ( $ES = 1,11$ ,  $dif = 0,37 \pm 0,31 \text{ km.h}^{-1}$ ), o VO<sub>2pico</sub> 9,1% ( $ES = 1,28$ ,  $dif = 0,29 \pm 0,20 \text{ L.min}^{-1}$ ) e o vOBLA 9,7% ( $ES = 1,23$ ,  $dif = 0,98 \pm 0,81 \text{ km.h}^{-1}$ ).



**Tabela 7.** Média e desvio padrão das variáveis medidas no teste incremental.

Variáveis	Grupo Experimental (n=9)		Grupo Controle (n=9)	
	Pré	Pós	Pré	Pós
PV (km.h <sup>-1</sup> )	13,68 ± 1,40	14,06 ± 1,57*	14,00 ± 1,33	14,00 ± 1,26
VO <sub>2pico</sub> (L.min <sup>-1</sup> )	3,17 ± 0,72	3,46 ± 0,70*	3,23 ± 0,73	3,25 ± 0,72
FC <sub>max</sub> (bpm)	197 ± 8	195 ± 8	188 ± 5	191 ± 5
%FC <sub>max</sub>	100 ± 3	99 ± 4	99 ± 5	101 ± 4
vOBLa (km.h <sup>-1</sup> )	10,11 ± 1,64	11,09 ± 1,82*	11,39 ± 1,80	11,46 ± 1,77
LAC <sub>max</sub> (mmol.L <sup>-1</sup> )	9,77 ± 0,99	8,74 ± 1,76	8,88 ± 1,45	9,96 ± 1,86
RER	1,19 ± 0,05	1,15 ± 0,08	1,20 ± 0,11	1,20 ± 0,09

PV = pico de velocidade; VO<sub>2pico</sub> = pico de consumo de oxigênio; FC<sub>max</sub> = frequência cardíaca máxima; %FC<sub>max</sub> = percentual da frequência cardíaca máxima prevista pela idade; vOBLa = velocidade no limiar anaeróbio, concentração fixa de 3.5 mmol.l<sup>-1</sup>; LAC<sub>max</sub> = concentração máxima de lactato ao final do teste; RER = razão de troca respiratória (VO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>) \* diferença entre a condição pré e pós do grupo experimental (p ≤ 0,05).

A tabela 8 e 9 apresentam as medidas biomecânicas e fisiológicas realizadas no teste de economia de corrida a 9 km.h<sup>-1</sup>. Todas as variáveis apresentaram distribuição normal. A ANOVA não indicou efeito de interação (tempo vs grupo) em qualquer variável. A maioria das variáveis biomecânicas apresentou apenas efeito do tempo: T<sub>cont</sub> [**tempo** (F = 13,49; p = 0,02; η<sup>2</sup> = 0,45); interação (p = 0,28); entre (p = 0,36)], CRP<sub>CP</sub>C [**tempo** (F = 6,48; p = 0,02; η<sup>2</sup> = 0,29); interação (p = 0,06); entre (p = 0,96)], CRP<sub>CP</sub>R [**tempo** (F = 5,61; p = 0,03; η<sup>2</sup> = 0,26); interação (p = 0,10); entre (p = 0,95)], CRP<sub>CP</sub> [**tempo** (F = 10,98; p = 0,04; η<sup>2</sup> = 0,40); interação (p = 0,13); entre (p = 0,44)], VCRP<sub>PP</sub>C [**tempo** (F = 6,29; p = 0,02; η<sup>2</sup> = 0,31); interação (p = 0,91); entre (p = 0,22)], VCRP<sub>PP</sub> [**tempo** (F = 8,57; p = 0,01; η<sup>2</sup> = 0,38); interação (p = 0,75); entre (p = 0,20)], ΔY [**tempo** (F = 14,36; p = 0,02; η<sup>2</sup> = 0,47); interação (p = 0,31); entre (p = 0,96)], ΔL [**tempo** (F = 14,08; p = 0,02; η<sup>2</sup> = 0,46); interação (p = 0,34); entre (p = 0,34)], KV [**tempo** (F = 9,72; p = 0,07; η<sup>2</sup> = 0,38); interação (p = 0,16); entre (p = 0,32)], KL [**tempo** (F = 9,71; p = 0,07; η<sup>2</sup> = 0,37); interação (p = 0,16); entre (p = 0,32)], F<sub>passo</sub> [**tempo** (F = 10,76; p = 0,05; η<sup>2</sup> = 0,40); interação (p = 0,17); entre (p = 0,33)], C<sub>passo</sub> [**tempo** (F = 13,09; p = 0,02; η<sup>2</sup> = 0,45); interação (p = 0,26); entre (p = 0,29)] e FC [**tempo** (F = 5,12; p = 0,03; η<sup>2</sup> = 0,24); interação (p = 0,77); entre (p = 0,21)].

Os resultados apresentados na tabela 8 e tabela 9 (apenas FC) mostram que os grupos combinados tem diferença entre a condição pré e pós-treinamento, sendo assim pode-se inferir que o treinamento básico de corrida realizado pelos dois grupos causou alteração nestas variáveis. Utilizando-se as médias marginais estimadas o T<sub>cont</sub> diminuiu de 0,314 s para 0,304s (3,28%), o CRP<sub>CP</sub>C diminuiu de 57,49° para 53,39° (7,13%), o CRP<sub>CP</sub>R diminuiu de 79,02° para 77,39° (2,02 %), o CRP<sub>CP</sub> diminuiu de

## 90 Resultados

71,5° para 69,1° (3,4%), o VCRP<sub>PPC</sub> aumentou de 10,83° para 14,71° (35,8%), o VCRP<sub>PP</sub> aumentou de 7,93° para 10,29° (29,75%), o  $\Delta Y$  diminuiu de 0,122 m para 0,114 m (7%), o  $\Delta L$  diminuiu de 0,278 m para 0,258 m (7,7%), o KV aumentou de 10,34 kN.m<sup>-1</sup> para 11,25 kN.m<sup>-1</sup> (8,1%), o KL aumentou de 4,55 kN.m<sup>-1</sup> para 4,95 kN.m<sup>-1</sup> (8,1%), F<sub>passo</sub> aumentou de 3,27 Hz para 3,38 Hz (3,25%), C<sub>passo</sub> diminuiu de 0,768 para 0,741 (3,64%) a FC diminuiu de 153,83 bpm para 151,05 bpm (1,84%).

**Tabela 8.** Média e desvio padrão das variáveis biomecânicas medidas no teste de economia de corrida a 9 km.h<sup>-1</sup>.

Variáveis	Grupo Experimental (n=9)		Grupo Controle (n=9)	
	Pré	Pós	Pré	Pós
T <sub>cont</sub> (s)	0,31 ± 0,02	0,30 ± 0,02	0,32 ± 0,03	0,31 ± 0,02
T <sub>voe</sub> (s)	0,09 ± 0,03	0,09 ± 0,03	0,06 ± 0,02	0,07 ± 0,02
CRP <sub>CP</sub> C (°)	62,79 ± 23,60	60,44 ± 20,83	52,18 ± 17,50	46,35 ± 19,85
VCRP <sub>CP</sub> C(°)	11,03 ± 3,88	14,34 ± 4,81	12,51 ± 7,08	15,21 ± 7,38
CRP <sub>CP</sub> R(°)	78,30 ± 8,79	77,87 ± 8,16	79,66 ± 3,08	76,90 ± 4,38
VCRP <sub>CP</sub> R(°)	5,66 ± 1,05	6,38 ± 0,96	6,18 ± 1,88	5,33 ± 2,31
CRP <sub>CP</sub> (°)	72,84 ± 13,29	71,59 ± 11,98	70,10 ± 7,10	66,59 ± 8,51
VCRP <sub>CP</sub> (°)	8,50 ± 1,85	10,57 ± 2,26	9,58 ± 4,29	10,84 ± 4,64
CRP <sub>PP</sub> C(°)	51,48 ± 11,20	48,82 ± 10,94	44,91 ± 17,66	49,39 ± 12,86
VCRP <sub>PP</sub> C(°)	9,16 ± 3,71	13,25 ± 4,37	12,43 ± 5,76	16,17 ± 7,49
CRP <sub>PP</sub> R(°)	15,37 ± 2,17	15,80 ± 2,48	13,92 ± 1,75	14,11 ± 2,63
VCRP <sub>PP</sub> R(°)	4,08 ± 1,82	4,84 ± 1,07	5,03 ± 2,08	4,31 ± 1,70
CRP <sub>PP</sub> (°)	35,21 ± 7,59	33,61 ± 6,89	31,05 ± 9,49	34,04 ± 8,75
VCRP <sub>PP</sub> (°)	6,76 ± 2,61	9,37 ± 2,71	9,11 ± 3,49	11,21 ± 4,47
$\Delta Y$ (m)	0,12 ± 0,02	0,11 ± 0,01	0,12 ± 0,02	0,12 ± 0,02
$\Delta L$ (m)	0,27 ± 0,04	0,25 ± 0,03	0,28 ± 0,05	0,27 ± 0,04
KV (kN.m <sup>-1</sup> )	10,64 ± 2,84	11,99 ± 2,29	10,03 ± 2,04	10,52 ± 1,71
KL (kN.m <sup>-1</sup> )	4,69 ± 1,25	5,28 ± 1,00	4,41 ± 0,90	4,63 ± 0,75
F <sub>passo</sub> (Hz)	3,31 ± 0,25	3,47 ± 0,22	3,24 ± 0,34	3,30 ± 0,23
C <sub>passo</sub> (m)	0,76 ± 0,06	0,72 ± 0,04	0,78 ± 0,08	0,76 ± 0,05
F <sub>max</sub> (kN)	1,25 ± 0,24	1,29 ± 0,23	1,22 ± 0,20	1,24 ± 0,22
Transição (%)	41,05 ± 2,22	41,00 ± 1,31	41,68 ± 2,32	41,40 ± 2,02

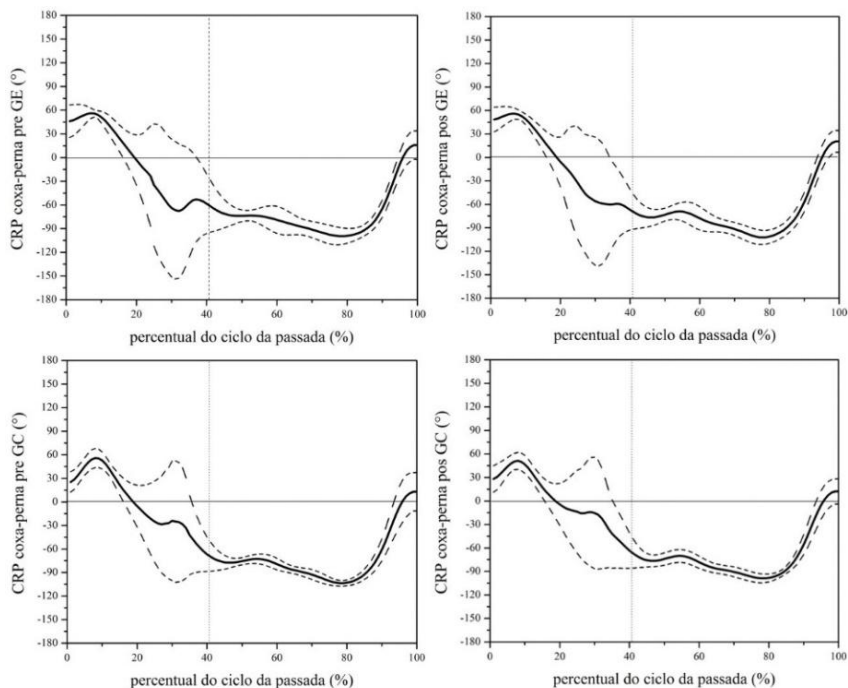
CRP = RMS da fase relativa; VCRP = desvio padrão intraparticipante do RMS da fase relativa; CP = coxa-perna; PP = perna-pé; C=fase de contato; R = fase de recuperação;  $\Delta Y$  = deslocamento vertical do centro de massa;  $\Delta L$  = deformação da perna; KV=rigidez do centro de massa; KL = rigidez da perna; F<sub>passo</sub> = frequência de passos; F<sub>max</sub> = força vertical máxima; C<sub>passo</sub> = comprimento do passo.

**Tabela 9.** Média e desvio padrão das variáveis fisiológicas medidas no teste de economia de corrida a 9 km.h<sup>-1</sup>.

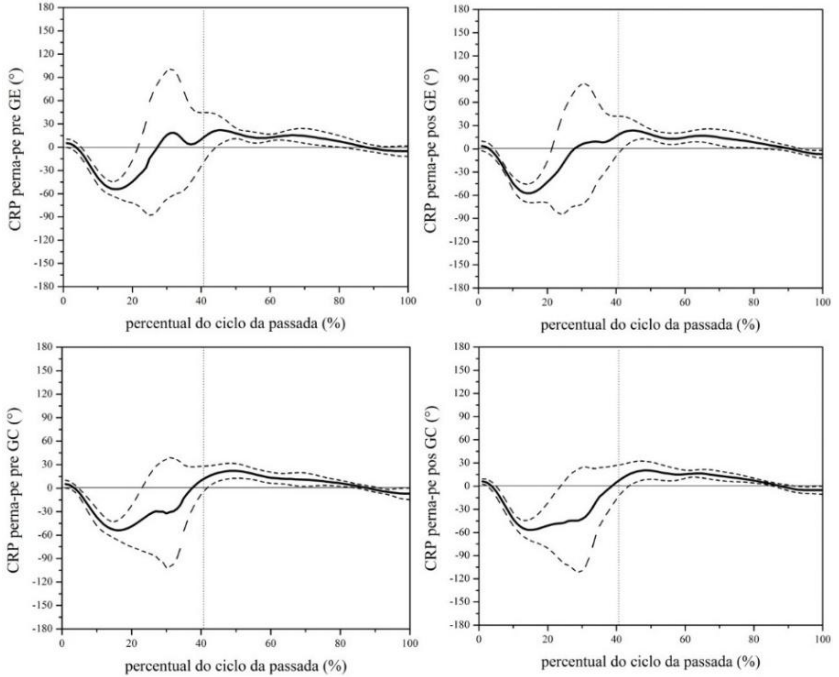
Variáveis	Grupo Experimental (n=9)		Grupo Controle (n=9)	
	Pré	Pós	Pré	Pós
VO <sub>2</sub> (L.min <sup>-1</sup> )	2,41 ± 0,31	2,36 ± 0,37	2,39 ± 0,43	2,36 ± 0,43
VCO <sub>2</sub> (L.min <sup>-1</sup> )	2,24 ± 0,26	2,18 ± 0,35	2,16 ± 0,41	2,06 ± 0,37
RER	0,93 ± 0,04	0,93 ± 0,05	0,90 ± 0,07	0,88 ± 0,04
CE (kcal.min <sup>-1</sup> )	12,84 ± 1,61	12,57 ± 1,99	12,63 ± 2,28	12,31 ± 2,23
FC (bpm)	158,88±19,76	156,55 ± 16,97	148,77 ± 5,65	145,55 ± 16,94

VO<sub>2</sub> = consumo de oxigênio; VCO<sub>2</sub> = consumo de CO<sub>2</sub>; CE = custo energético; FC = frequência cardíaca. RER = razão de troca respiratória (VO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>).

As figura 11 e 12 representam os ângulos de fase relativa (CRP) dos acoplamentos coxa-perna e perna-pé, respectivamente, antes e após o treinamento na velocidade de 9 km.h<sup>-1</sup> para os grupos controle e experimental. Os valores de RMS apresentados na tabela 8, demonstram que houve efeito do treinamento de corrida em esteira sobre a coordenação intrassegmentos. Para complementar análise da verificação do efeito do treinamento sobre o padrão coordenativo foi utilizado um teste de correlação cruzada entre os sinais (quatro comparação aos pares) (HADDAD et al., 2006). Devido aos altos valores de r (tabela 10 e 11), este método indica que treinamento realizado em ambos os grupos não causou mudança no padrão coordenativo.



**Figura 11.** Ângulo de fase relativa (CRP) do acoplamento coxa-perna nas condições pré e pós-treinamento para os grupos experimental (GE) e controle (GC) na velocidade de  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . A linha pontilhada divide a fase de apoio e recuperação (saída do pé).



**Figura 12.** Ângulo de fase relativa (CRP) do acoplamento perna-pé nas condições pré e pós-treino para os grupos experimental (GE) e controle (GC). A linha pontilhada divide a fase de suporte (contato) e recuperação (saída do pé).

**Tabela 10.** Correlação cruzada entre as curvas do CRP do acoplamento Coxa-Perna em zero lag.

	Pré GE	Pré GC	Pós GE	Pós GC
Pré GE	1	0,978	<b>0,996</b>	0,964
Pré GC	-	1	0,983	<b>0,996</b>
Pós GE	-	-	1	0,971

GE = grupo experimental; GC = grupo controle.

**Tabela 11.** Correlação cruzada entre as curvas do CRP do acoplamento perna-pé.

	Pré GE	Pré GC	Pós GE	Pós GC
Pré GE	1	0,866	<b>0,990</b>	0,812
Pré GC	-	1	0,902	<b>0,989</b>
Pós GE	-	-	1	0,852

GE = grupo experimental; GC = grupo controle.

A tabela 12 apresenta as variáveis fisiológicas medidas no teste de tempo de exaustão a 100% do pico de velocidade (PV). Todas as variáveis apresentaram distribuição normal. A ANOVA apresentou interação significativa para as seguintes variáveis:  $VO_{2\text{pico}}T_{\text{lim}}$  [tempo ( $F = 8,07$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2 = 0,33$ ); **interação** ( $F = 13,12$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2 = 0,45$ ); entre ( $p = 0,89$ )].  $VO_{2\text{pico}}T_{\text{lim}}$  teve um aumento moderado/alto de 7,4% ( $ES = 1,53$ ,  $\text{dif} = 2,38 \pm 1,46 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ) no GE. A  $FC_{\text{max}}$  apresentou efeito [tempo ( $p = 0,50$ ); interação ( $p = 0,29$ ); **entre** ( $F = 7,87$ ;  $p = 0,01$ ;  $\eta^2 = 0,33$ )] entre os grupos, visto que o grupo controle é um pouco mais velho (tabela 2). Os efeitos simples estão indicados na tabela 12.

**Tabela 12.** Média e desvio padrão das variáveis fisiológicas medidas no teste de tempo de exaustão a 100% do PV ( $T_{\text{lim}}$ ).

Variáveis	Grupo Experimental (n=9)		Grupo Controle (n=9)	
	Pré	Pós	Pré	Pós
$T_{\text{lim}}$ (s)	336,44 ± 89,95	325,00 ± 80,42	291,66 ± 89,73	295,33 ± 74,25
$VO_{2\text{pico}}T_{\text{lim}}$ ( $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ )	3,18 ± 0,78	3,42 ± 0,78*	3,27 ± 0,76	3,24 ± 0,78
$FC_{\text{max}}$ (bpm)	192,22 ± 5,73	191,88 ± 5,88	184,66 ± 3,90	186,11 ± 5,55

$VO_{2\text{pico}}T_{\text{lim}}$  = pico de consumo de oxigênio no teste do tempo limite;  $FC_{\text{max}}$  = frequência cardíaca máxima; \* diferença entre a condição pré e pós do grupo experimental ( $p \leq 0,05$ ).

A tabela 13 apresenta a relação entre  $VO_2$ , CE, KV, KL e RMS do CRP na velocidade de 9  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Participaram dessa análise 12 mulheres e 10 homens (Idade =  $26,27 \pm 5,65$  anos; MC =  $65,46 \pm 12,27$ ; MLG =  $54,17 \pm 12,93$ ; estatura =  $1,67 \pm 0,1$  m;  $VO_{2\text{pico}}$  =  $49,3 \pm 5,99 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Considerando-se todos os indivíduos o valor do  $VO_2$  foi  $2459,95 \pm 462,55 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$  ou  $64,80 \pm 4,56 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-0,87}\cdot\text{min}^{-1}$  ou  $37,72 \pm 2,82 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , do CE foi  $13,03 \pm 2,39 \text{ kcal}\cdot\text{min}^{-1}$  ou  $0,36 \pm 0,02 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-0,86}\cdot\text{min}^{-1}$  ou  $0,20 \pm 0,01 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ , KV foi  $10,64 \pm 2,83 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$  e KL foi  $4,68 \pm 1,24 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ . As variáveis KV e KL apresentaram

mesma variação, sendo que relação entre elas foi perfeita ( $r = 1$ ). A figura 13 apresenta a correlação entre  $VO_2.MC^{-0,87}$  e KV para demonstrar o peso que dois indivíduos, que apresentaram valores discrepantes de KV, têm sobre a magnitude da correlação.

**Tabela 13.** Correlação entre  $VO_2$ , CE, KV, KL e CRP a 9 km.h<sup>-1</sup>na condição pré-treino (n=22).

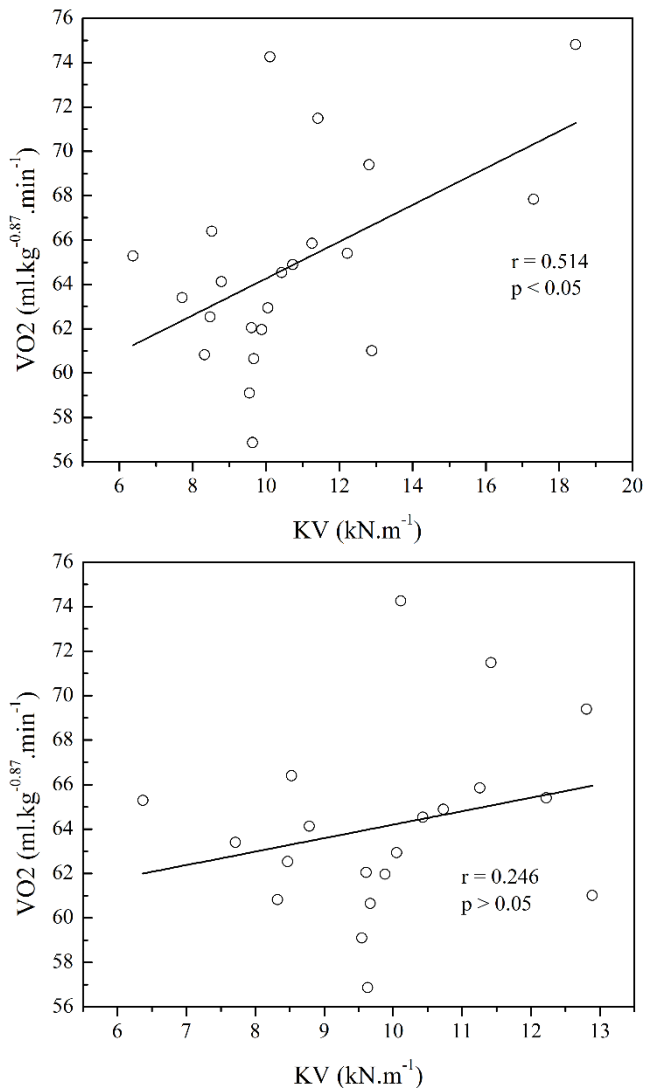
	$VO_2$	$VO_2.MC^{-0,87}$	CE	$CE.MC^{-0,86}$
CRP <sub>CP</sub> C#	0,015	0,380	-0,014	0,333
CRP <sub>CP</sub> R	0,299	0,370	0,265	0,266
CRP <sub>CP</sub> #	0,137	<b>0,577**</b>	0,137	<b>0,519*</b>
CRP <sub>PP</sub> C	-0,067	0,140	-0,030	0,209
CRP <sub>PP</sub> R	-0,425*	-0,255	-0,427*	-0,100
CRP <sub>PP</sub>	-0,053	0,135	-0,018	0,205
KV#	0,409	<b>0,514*</b>	0,431*	<b>0,565*</b>
KL#	0,409	<b>0,514*</b>	0,431*	<b>0,565*</b>

CRP = RMS da fase relativa; CP= acoplamento coxa-perna; PP = acoplamento perna-pé; C = fase de contato ou suporte; R=fase de recuperação; #spearman; \*\* $p \leq 0,01$ ; \*  $p \leq 0,05$ .

**Tabela 14.** Coorelação entre  $VO_2$ , EC, KV, KL e CRP a 8 km.h<sup>-1</sup>na condição pré-treino (n=12 mulheres).

	$VO_2$	$VO_2.MC^{-0,4}$	CE	$CE.MC^{-0,47}$
CRP <sub>CP</sub> C#	0,322	0,434	0,301	0,487
CRP <sub>CP</sub> R	0,063	0,253	-0,138	0,04
CRP <sub>CP</sub>	0,218	0,414	0,161	0,376
CRP <sub>PP</sub> C	0,370	0,461	0,328	0,419
CRP <sub>PP</sub> R	0,320	0,120	0,417	0,220
CRP <sub>PP</sub>	0,336	0,429	0,306	0,399
KV	0,359	0,142	0,376	0,157
KL	0,359	0,142	0,376	0,157

CRP = RMS da fase relativa; CP= acoplamento coxa-perna; PP = acoplamento perna-pé; C = fase de contato ou suporte; R= fase de recuperação.



**Figura 13.** Correlação entre VO<sub>2</sub> e KV. Painel superior, 22 participantes; Painel inferior, 20 participantes (dois homens foram excluído).



**Tabela 15.** Coorelação entre VO<sub>2</sub>, EC, KV, KL e CRP a 10 km.h<sup>-1</sup>na condição pré-treinoamento (n=10 homens).

	VO <sub>2</sub>	VO <sub>2</sub> .MC <sup>-1,14</sup>	CE	CE.MC <sup>-1,11</sup>
CRP <sub>CP</sub> C	0,329	0,001	0,309	-0,162
CRP <sub>CP</sub> R	0,185	0,191	0,168	0,230
CRP <sub>CP</sub>	0,332	0,102	0,311	0,013
CRP <sub>PP</sub> C	-0,077	0,095	-0,010	0,205
CRP <sub>PP</sub> R#	-0,212	-0,455	-0,188	-0,361
CRP <sub>PP</sub>	-0,193	-0,047	-0,124	0,083
KV#	0,503	0,552	0,430	0,469
KL#	0,503	0,552	0,430	0,469

CRP = RMS da fase relativa; CP= acoplamento coxa-perna; PP = acoplamento perna-pé; C = fase de contanto ou suporte; R= fase de recuperação.



## 5 DISCUSSÃO

A discussão dos resultados foi dividida em duas partes, a primeira aborda o efeito do treinamento e a segunda a relação entre economia de corrida, rigidez e coordenação intrassegmentos. Optou-se por apresentar neste capítulo a confirmação ou rejeição das hipóteses, apresentadas no capítulo 1, entendendo estas como hipóteses alternativas (na abordagem estatística).

### 5.1 Efeito do treinamento

Os grupos (GC e GE) não apresentaram diferenças antropométricas e o treinamento não causou mudanças nessas variáveis (tabela 2). Ambos os grupos realizaram 12 sessões de 40 minutos de corrida em esteira em quatro semanas de treinamento. Portanto, esperava-se que os grupos pelo menos mantivessem o nível de condicionamento físico e que a inclusão do JIT no grupo experimental pudesse provocar adaptações fisiológicas e biomecânicas.

Como esperado, as sessões de JIT foram subjetivamente classificadas como muito intensas. Os indivíduos classificaram seu esforço ao final do treinamento como “muito, muito intenso” a “máximo” na maioria das sessões (figura 10). Além disso, a percepção subjetiva de dor (PSD), mesmo apresentando grande variabilidade, foi baixa e pareceu ser maior (considerando-se a média) a partir das sessões 3 e 4 (segunda semana). Portanto, a intensidade do treinamento foi máxima e a dor muscular não foi fator limitante para o desenvolvimento do treinamento.

#### 5.1.1 Desempenho do salto vertical, potência muscular, força explosiva, potência e capacidade anaeróbia

Na primeira ( $H_1$ ) e quarta ( $H_4$ ) hipóteses, esperava-se que a inclusão do JIT tivesse efeito positivo sobre as variáveis medidas no CMJ e efeito positivo sobre o pico de torque isométrico/isocinético ( $PT_{ISM}$  e  $PT_{ISO}$ ) e a taxa de desenvolvimento do torque (TDT), especialmente para o quadríceps. Na avaliação do CMJ, houve aumento de magnitude moderada na altura do salto (H), na potência pico (PP) e na potência média (PM) para o GE (tabela 3), mas nos dois grupos o nível de agachamento ( $\Delta y$ ), a força máxima aplicada no solo ( $F_{max}$ ) e a taxa de desenvolvimento de força (TDF) diminuíram. Na avaliação realizada no dinamômetro isocinético, apenas a taxa de desenvolvimento de torque em 200ms do

quadríceps ( $TDT_{Q200}$ ) aumentou (tabela 6). Assim, apesar de algumas variáveis não terem sofrido efeito do JIT, aceita-se  $H_1$  e  $H_4$ , visto que o JIT foi capaz de melhorar aspectos neuromusculares, aumentando o desempenho do salto, a potência muscular (indiretamente representada pela PP e PM) e a força explosiva (representada pela TDT).

O aumento na altura do CMJ em decorrência do JIT ficou dentro da média de efeito (entre 4,7% e 8,7%,  $ES = 0,88$ ), provocada por treinamentos pliométricos, sugerido na meta-análise de Markovic (2007). O principal mecanismo que explica a melhora do desempenho do salto vertical, devido ao treinamento pliométrico, é o aumento da habilidade do indivíduo em utilizar as características neurais e elásticas do ciclo alongamento-encurtamento (CAE) (Markovic, 2007). As adaptações encontradas no presente estudo sobre a H, PP e PM podem ser atreladas, segundo Bosco (2007), a capacidade do treinamento em aumentar a habilidade reactiva do sistema neuromuscular, que é afetada por dois fatores: o miogênico, capacidade de utilização da energia armazenada no tecido musculotendíneo; e neurogênico, capacidade de alterar a coordenação e frequência de disparos das unidades motoras envolvendo o reflexo miotático.

Outro mecanismo que pode explicar o efeito do JIT sobre as variáveis do CMJ é o provável aumento do volume do sarcoplasma e a taxa de liberação do cálcio ( $Ca^{2+}$ ) relatada em estudo com SIT (GREEN et al., 2011). Enquanto no treinamento de corrida prolongado a captação  $Ca^{2+}$  no retículo sarcoplasmático diminuiu significativamente (GREEN et al., 2011), no SIT a maior taxa de liberação de  $Ca^{2+}$  está ligada ao aumento do desempenho de *sprints*, devido ao aumento do trabalho mecânico, taxa de desenvolvimento de força e potência muscular desenvolvida (ORTENBLAD et al., 2000).

Markovic et al. (2007) analisaram o efeito de dois treinamentos com características que compõem o modelo de treinamento aplicado na presente tese. Os autores compararam o efeito de um treinamento apenas com saltos em profundidade (TSP) e um treinamento apenas com *sprints* (TS) sobre as capacidades físicas de estudantes de Educação Física recreacionalmente ativos. Foi observado aumento da altura do CMJ de 7,4% ( $ES = 0,8$ ) e 6,3% ( $ES = 0,5$ ) para o TS e TSP, respectivamente, e aumento na PM de 7% ( $ES = 0,4$ ) para TS. Apesar do treinamento TS e TSP apresentarem valores percentuais maiores de efeito, o *effect size* do JIT é maior para essas variáveis. Esse fato sugere que o JIT pode ter efeito superior ao treinamento isolado com saltos em profundidade ou *sprints*, visto que os participantes do estudo não diferem muito das características do grupo utilizado no presente estudo. Contudo, essa

comparação pode não ser adequada sem que outro estudo seja realizado para testar essa hipótese.

Na avaliação do CMJ, também era esperado aumento na  $F_{\max}$  devido ao JIT. No entanto, verificou-se que a  $F_{\max}$  diminuiu em ambos os grupos (tabela 3). Essa diminuição não foi verificada na avaliação isocinética, visto que o pico de torque dos extensores e flexores do joelho, tanto isométrico quanto isocinético, não sofreu efeito do treinamento (tabela 6). Essas diferenças de resposta ao treinamento podem ser explicadas pelos diferentes métodos de medida da força máxima. Um dos métodos avaliou a contração voluntária máxima (CVM), isométrica e isocinética, isolada dos extensores e flexores do joelho em cadeia cinética aberta, por meio do pico de torque. O outro método avaliou a força máxima dinâmica em um movimento de cadeia cinética fechada, que envolve outros músculos, como o glúteo máximo. No entanto, provavelmente, o fato de ambos os grupos terem adotado níveis de agachamento maiores durante o CMJ, realizado após o treinamento, tenha diminuído a geração de força, como sugerido por Kirby et al. (2011) e Gheller et al. (2015). Deste modo, a diminuição da  $F_{\max}$  parece não ter sido provocada pelo treinamento, mas pela adoção da posição mais agachada.

Segundo Kirby et al. (2011) e Gheller et al. (2015), adotando posições mais agachadas, os indivíduos tendem a diminuir, não somente a capacidade de realizar de força, mas também a potência muscular. Nesse sentido, destaca-se que mesmo adotando um nível de agachamento maior após o JIT, os participantes do presente estudo apresentaram potência muscular (PP e PM) significativamente maior. Esse fato pode indicar que, se o nível de achamento na avaliação do CMJ tivesse sido controlado, provavelmente, maiores ganhos de potência poderiam ter sido verificados após a aplicação do JIT.

Markovic et al. (2007) encontraram aumento de 10% ( $ES = 0,4$ ) na CVM do agachamento isométrico, avaliado em máquina Hack com joelho a  $120^\circ$ , apenas após o treinamento com *sprints*. Grosset et al. (2009), analisando efeito do treinamento pliométrico (saltos em profundidade com 70 cm de queda), verificaram aumento de 10% na CVM do movimento de flexão plantar. Em geral, estudos têm sugerido o aumento da força máxima da musculatura de membros inferiores em decorrência do treinamento pliométrico variando entre 3,2% e 45%, dependendo de qual musculatura de membro inferior e regime de contração foi avaliado (MARKOVIC e MIKULIC, 2010). No entanto, os aumentos de maior magnitude, geralmente, foram relatados na combinação do treinamento pliométrico com o de força (resistido).

A rigidez vertical (KV) e a TDF do CMJ diminuíram 8,17% e 16,51%, respectivamente, para os grupos após o treinamento. Esperava-se que o valor de ambas variáveis aumentasse devido a inclusão do JIT. A rigidez vertical diminuiu, provavelmente devido ao maior nível de agachamento adotado após o período de treinamento, visto que no cálculo da rigidez quanto maior o denominador (nível de agachamento) menor o valor da variável. Comparações com a literatura também são difíceis de realizar, como ocorre para o  $F_{\max}$ , visto que tanto a rigidez quanto a TDF podem ser calculadas por diferentes métodos. A rigidez pode ser medida a partir de um tendão ou músculos por meio de técnicas indiretas que utilizam eletroestimulação e ressonância magnética ou ultrassom (FOURÉ, NORDEZ e CORNU, 2010) e técnicas duplamente indiretas, como a rigidez de um eixo articular ou a rigidez da perna ou do centro de massa (DAL PUPO et al., 2013; KUBO et al., 2007).

Provavelmente, devido às diferentes técnicas utilizadas para o cálculo da rigidez, há inconsistência na literatura a respeito dos efeitos do treinamento pliométrico sobre a rigidez, alguns estudos mostram aumento (BURGESS et al., 2007; FOURÉ, NORDEZ e CORNU, 2010; HOUGHTON, DAWSON e RUBENSON, 2013) e outros diminuição (GROSSET et al., 2009) desta variável. Burges et al. (2007), Fouré, Nordez e Cornu (2010) e Wu et al. (2010), relataram aumento da rigidez do tendão de Aquiles de 29%, 24,1% e 42,8%, respectivamente, devido ao treinamento pliométrico. Por outro lado, Grosset et al. (2009) encontraram diminuição (19,6%) da rigidez musculotendínea em consequência do treinamento pliométrico de 10 semanas com saltos em profundidade realizados de uma altura de 70 cm. Talvez esta diminuição tenha sido causada pelo efeito deletério dos saltos em profundidade realizados a 70 cm. Nesse sentido, Bobbert et al. (1987b) recomenda que os saltos em profundidade sejam realizados a partir de pequenas alturas (20–40 cm) para evitar o impacto acentuado no calcanhar durante a fase excêntrica e em consequência danos às estruturas passivas.

Em alguns casos, a resposta ao treinamento tem efeitos diferentes para cada tipo de rigidez. O estudo de Kubo et al. (2007) é um exemplo disto, onde os autores observaram efeito positivo do treinamento de 12 semanas de saltos em profundidade sobre a rigidez da articulação (63,4%), mas a rigidez do tendão de Aquiles aumentou apenas com o treinamento resistido. Os autores também encontraram aumento do desempenho (altura do salto) dos CMJs e saltos em profundidade apenas para o treinamento pliométrico e associaram esta melhora ao aumento encontrado no alongamento do tendão de Aquiles ( $\approx 9,5\%$ ) e na quantidade de energia elástica armazenada ( $\approx 19,6\%$ ).

A diminuição da TDF avaliada no CMJ após treinamento pode ter ocorrido devido a maneira com que ela foi calculada. A TDF foi calculada em parte da fase excêntrica do salto (entre o ponto de menor velocidade do CM e o ponto em que a velocidade do CM se torna positiva), a única maneira encontrada na literatura (MIZUGUCHI, 2012). A análise da TDF em movimentos dinâmicos tem sido bastante criticada, principalmente no salto vertical com contramovimento, visto que ela pode não ser representativa do desempenho do salto (UGRINOWITSCH et al., 2007), apresentando ainda alta variabilidade. Além disso, provavelmente, o maior tempo de contração (tempo de contato), indicado pelo maior nível de agachamento, afetou negativamente a TDF.

A TDF e TDT são indicadores da força explosiva e deveriam responder positivamente ao treinamento pliométrico. Kyrolainen et al. (2005), demonstraram que em 10 semanas de treinamento pliométrico a TDT do quadríceps aumentou 35%. Nesse sentido, a TDT<sub>200ms</sub> do presente estudo teve aumento moderado para o quadríceps na avaliação da CVM isométrica, sugerindo que o JIT promoveu o desenvolvimento da força explosiva. Grosset et al. (2009) relataram diminuição na TDT para flexão plantar em decorrência do treinamento pliométrico. Como relatado anteriormente os autores também detectaram diminuição da rigidez musculotendínea. Portanto, em Grosset et al. (2009), provavelmente, tanto a rigidez quanto a TDT foram afetados pelo efeito deletério dos saltos em profundidade realizados a 70 cm, como sugerido por Bobbert et al. (1987b).

Em relação a avaliação do teste CJ<sub>30</sub> esperava-se aumento da potência e capacidade anaeróbia (hipóteses H<sub>2</sub> e H<sub>3</sub>). Segundo Dal Pupo et al. (2014), a média de altura dos primeiros saltos pode ser um indicativo de potência anaeróbia e a média da altura considerando-se todos os saltos realizados nos 30s pode ser indicativo de capacidade anaeróbia, quando comparado ao teste de Wingate de 30s. O teste Wingate, apesar de não ser o padrão ouro para medida de capacidade anaeróbia, como o déficit máximo acumulado de oxigênio (MAOD), é o teste mais utilizado na literatura para esse fim.

Os primeiros saltos (20%) do CJ<sub>30</sub> são realizados em, aproximadamente, 6s. Segundo Gatin (2001), nesse tempo de exercício, 95% da energia provem do metabolismo anaeróbio alático (ATP-PC). Por outro lado, quando são considerados todos os saltos realizados no CJ<sub>30</sub> a maior parte da energia provem do metabolismo anaeróbio láctico (sistema glicolítico). No presente estudo, houve aumento de magnitude moderada/alta na potência e capacidade anaeróbia, indicado pelo aumento

na H e PP, nas duas condições supracitadas (tabela 4 e 5). Sendo assim, aceita-se as hipóteses H<sub>2</sub> e H<sub>3</sub>.

Os mecanismos que explicam a melhora na aptidão anaeróbia (potência e capacidade) provocada pelo SIT, provavelmente, são os mesmos que explicam as adaptações provocadas pelo JIT. Estudos tem sugerido que o SIT provoca adaptações metabólicas com aumento na atividade enzimática dos sistema ATP-PC, glicolítico e oxidativo (JACOBS et al., 1987; MACDOUGALL et al., 1998; PARRA et al., 2000; RODAS et al., 2000). Parra et al. (2000) analisaram o efeito de um SIT consistido de duas a sete repetições de *sprints* em cicloergômetro com 15 a 30s de duração e 12 minutos de intervalo. Os autores relataram aumento tanto nos marcadores enzimáticos relacionados a glicólise (fosfofrutocinase e aldolase), quando no marcador relacionado ao metabolismo alático (creatina cinase). Além das adaptações metabólicas, o SIT parece provocar adaptações neuromusculares. Creer et al. (2004), por exemplo, relatou mudanças nas variáveis eletromiográficas (EMG), indicando que o SIT aumenta a sincronização e taxa a recrutamento das unidades motoras.

A magnitude dos aumentos da PP e PM apresentados no presente estudo são similares aos valores apresentados na literatura em consequência do SIT. Hazell et al. (2010) testaram diferentes modelos (manipulando tempo de esforço e pausa) de SIT realizados em cicloergômetro. Os autores analisaram 48 indivíduos divididos em quatro grupos em relação ao tempo de exercício e intervalo de recuperação, respectivamente: G1 (30s-4min), G2 (10s:4min), G3 (10s:2min) e G4 (controle, sem treinamento). O desempenho dos 5 km melhorou 5,2% para G1, 3,5% para G2 e 3% para G3. A PP no teste Wingate aumentou 9,5% para G1, 8,5% para G2 e 4,2% para G3. A PM aumentou 12,1% para G1, 6,5% para G2. O grupo G1, mesmo tempo de esforço e pausa adotado na presente tese, apresentou os melhores resultados sobre o desempenho e os indicadores da aptidão anaeróbia.

Segundo Burgomaster et al. (2005), que testaram a aplicação de uma sequência de testes Wingate de 30s em cicloergômetro com quatro minutos de intervalo como treinamento, a média da PP do teste Wingate, aumentou após seis sessões de treinameto, apesar dos autores não apresentarem a magnitude dos valores. Nevill et al. (1989), analisando um treinamento de *sprints* realizados em oito semanas utilizando oito mulher e oito homens, encontraram aumento de 12% na PP e 6% na PM analisadas em um teste de 30s em esteira mecanizada. McKenna et al. (1997), utilizando treinamento de *sprints* em ciclo ergômetro com quatro a 10 *sprints* com intervalado de quatro min realizados durante quatro



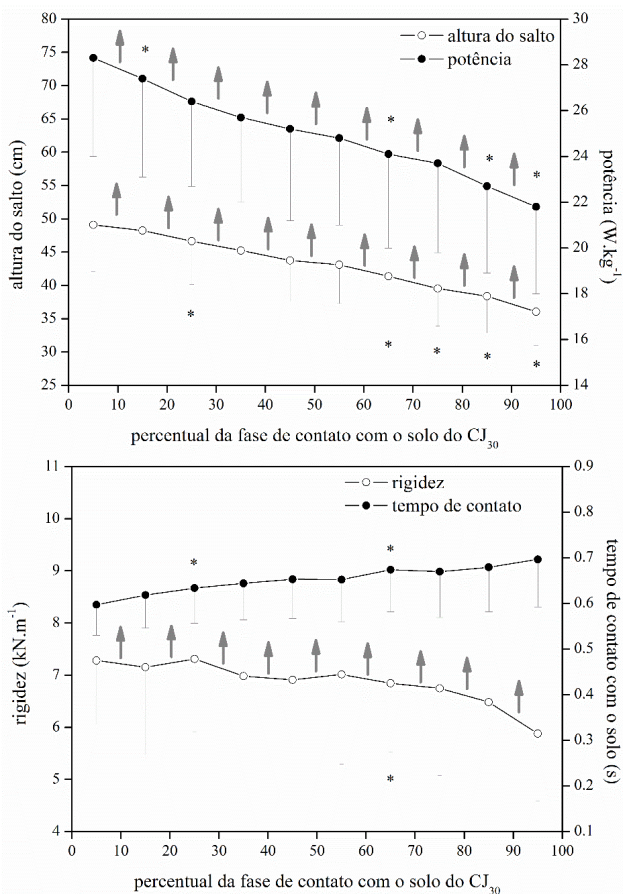
semanas, encontraram aumento da PP (3,9%) e do trabalho mecânico realizado em 30s. Macdougall et al. (1998), apresentando treinamento parecido com McKenna et al. (1997) encontraram aumento da PP e trabalho realizado no 30s de teste. Barnett et al. (2004), com método parecido, encontraram aumento de 7,1% na PM. Bayati et al. (2011), comparando um SIT de 30s com um treinamento a 125% do pico de potência, encontraram aumento de 10,3% na PP e 17,1% na PM apenas no treinamento *all-out*.

Tanto para a média dos primeiros saltos (tabela 4), quanto para a média de todos os saltos realizados no CJ<sub>30</sub> (tabela 5) houve diminuição da profundidade de agachamento ( $\Delta y$ ) e diminuição da rigidez (KV), verificada após o período de treinamento. A magnitude das mudanças foram maiores no GE para  $\Delta y$  e KV. Além disso, o GC pareceu ser mais rígido que o GE após o treinamento. Como relatado anteriormente, comportamento parecido com esse foi observado durante a avaliação do CMJ.

Alguns estudos analisando o efeito agudo de saltos intermitentes encontraram resultados similares em relação a diminuição da rigidez. Segundo Avela e Komi (1998) a utilização repetida do ciclo alongamento encurtamento (CAE) pode resultar na diminuição da função muscular e alterar a regulação da rigidez diminuindo-a. Kuitunen et al. (2007) analisaram o efeito agudo da realização de 100 saltos máximos intermitentes (um a cada cinco segundos) seguidos de saltos submáximos contínuos (a 70% da altura máxima alcançada nos primeiros 100 saltos máximos) até a exaustão realizados em máquina *hack* com inclinação de 25°. Segundo os autores, nos 100 saltos máximos não houve mudança na rigidez da perna ( $F_{\max}$ /deslocamento) e quando os saltos submáximos foram realizados até a exaustão houve a diminuição significativa de 27%. Em estudo semelhante, Horita et al. (2003) testaram o efeito agudo do exercício de saltos na mesma máquina utilizada por Avela e Komi (1998). Neste estudo a mesma sequência de saltos submáximos a 70% da altura máxima foram realizados até a exaustão. Os participantes realizaram em média  $92 \pm 30$  saltos e chegaram a exaustão em, em média, três minutos. O lactato após o exercício foi em média de  $7,2 \text{ mmol.l}^{-1}$  e dois dias depois aumentaram a atividade da creatina quisase (CK plasmática). Isto sugere que a exaustão do CAE induz fadiga metabólica e dano muscular tardio.

O único estudo que investigou o efeito agudo da fadiga no CJ<sub>30</sub> foi Dal Pupo et al. (2013). Os autores relataram que, com a diminuição da altura do salto e da potência mecânica, há diminuição da rigidez quando comparados os primeiros 10% dos saltos e os últimos de 10% de uma série de 30s. Este fato sugere que saltos em profundidade repetidos

consecutivamente, que levam a sinais de fadiga, tendem a diminuir a rigidez ao longo do exercício (efeito agudo). Com base em Dal Pupo et al. (2013), levantou-se a possibilidade de haver aumento da rigidez (KV e KL) do salto, altura do salto e potência, em decorrência do treinamento de saltos contínuos, apesar do efeito agudo do treinamento ser negativo nessas variáveis (figura 14). Esse efeito ocorreu para a altura do salto e potência, mas para rigidez houve efeito contrário, provavelmente devido ao aumento do nível de agachamento.



**Figura 14.** Efeito agudo (desconsiderando as setas) e crônico esperado (setas verticais na cor cinza) do CJ<sub>30</sub> sobre a altura do salto, potência mecânica e rigidez (adaptado de Dal Pupo et al. (2013)).

### 5.1.2 Potência e capacidade aeróbia

O SIT é considerado, por meio de revisões sistemáticas e meta-análises, um modelo de treinamento prático e eficiente, quando comparado ao treinamento contínuo, para aumentar (entre 4,2 a 13,4%) a potência aeróbia ( $VO_{2max}$ ) (SLOTH et al., 2013; GIST et al., 2014) de indivíduos sedentários e recreacionalmente ativos. A maioria dos estudos citados no tópico anterior, que mostraram evidências do aumento da potência e capacidade anaeróbia devido ao SIT, também mostraram efeito sobre a potência aeróbia, que pode ser representada pelo  $VO_{2pico}$  ou  $VO_{2max}$ . A hipótese cinco ( $H_5$ ) do presente estudo previa que a inclusão do JIT teria efeito positivo sobre a potência e a capacidade aeróbia.

As maiores magnitudes de mudança provocadas pelo JIT ocorreram nos indicadores de desempenho de *endurance* (tabela 7) e por isso, pode-se aceitar  $H_5$ . O JIT provocou aumento moderado/alto nos indicadores de potência aeróbia máxima (PV e  $VO_{2pico}$ ) e no indicador de capacidade aeróbia (vOBLA). A melhora na potência aeróbia máxima também foi verificada pelo aumento de magnitude moderada/alta no  $VO_{2pico}T_{lim}$  medido durante o teste do tempo de exaustão a 100% do PV (tabela 12). Não houve efeito do treinamento sobre as variáveis fisiológicas mensuradas durante o teste de economia de corrida (EC) a 9  $km.h^{-1}$  (tabela 9), com exceção da frequência cardíaca que diminuiu 1,84%.

Diversos estudos testaram o efeito do SIT utilizando o mesmo modelo esforço-pausa (1:8; 30s – 4 min a 5 min) do presente estudo. Estes estudos realizados com cicloergômetro encontraram aumentos da  $VO_{2pico}$  ou  $VO_{2max}$  em 15% (MCKENNA et al., 1997), 7,2% (MACDOUGALL et al., 1998), 8% (BARNETT et al., 2004), 9,3% (HAZELL et al., 2010) e 6,4% (ASTORINO et al., 2012) para indivíduos recreacionalmente ativos e 15% (METCALFE et al., 2012) para indivíduos sedentários.

O principal mecanismo que tem sido atribuído a melhora no metabolismo aeróbio em consequência do SIT é o aumento da atividade das enzimas oxidativas (síntese de citrato, lactato desidrogenase e 3-hidroxiacil-CoA desidrogenase) (JACOBS et al., 1987; MACDOUGALL et al., 1998; PARRA et al., 2000). Além disso, adaptações modulares e celulares têm sido relatadas. Gibala et al. (2006), por exemplo, analisando o efeito de um treinamento com o modelo SIT (14 dias, com uma sessão a cada dois dias de Wingates de 30s-4 min) e um treinamento contínuo de *endurance* (90 min a 65% do  $VO_{2pico}$ ), verificou que ambos os tipos de treinamento causam aumentos similares na atividade máxima do citocromo c oxidase (COX) da mitocôndria (indica a capacidade oxidativa

muscular), aumento no teor de proteínas do COX (II e IV), aumento no tamponamento ácido-base e aumento das reservas iniciais de glicogênio muscular. Todos esses aspectos podem explicar as adaptações na potência e capacidade aeróbia verificadas no presente estudo.

Bayati et al. (2011), ao comparar o efeito do SIT (três a quatro séries de 30s-4min) e do treinamento supramáximo (seis a 10 séries de 30s a 125% da potência aeróbia máxima com 4 minutos de recuperação), mostraram que os dois modelos de treinamento tem impacto parecido sobre a aptidão anaeróbia e aeróbia. No entanto, o SIT é realizado com metade do volume de treinamento, tornando-o mais eficiente. Além do aumento significativo do  $VO_{2max}$  (9,6%), houve aumento (12,8%) da potência aeróbia máxima (análogo ao pico de velocidade detectado no teste progressivo em esteira) e no tempo limite na potência aeróbia máxima (48,4%). Esses resultados corroboram parcialmente aos achados do presente estudo, visto que houve aumento do PV, mas não houve aumento do  $T_{lim}$  no grupo que realizou o JIT. Apesar de não estar claro, Bayati et al. (2011) analisou o  $T_{lim}$  pós treinamento na potência aeróbia máxima definida antes do treinamento. Portanto, este expressivo aumento no  $T_{lim}$  detectado pelos autores pode ter ocorrido devido a esse aspecto. No presente estudo, o  $T_{lim}$  não sofreu efeito, provavelmente porque foi avaliado segundo o PV medido antes e após o treinamento.

Apenas dois estudos sobre o efeito do modelo SIT executado em exercício de corrida (esteira mecanizada) foram encontrados. Macpherson et al. (2011) compararam o uso do SIT com o treinamento convencional (65%  $VO_{2max}$ , de 30 a 60 min) em homens e mulheres fisicamente ativos. Os autores encontraram diminuição do percentual de gordura, menor tempo na prova de 2 km e aumento da potência aeróbia máxima ( $VO_{2max}$ ) para ambos os grupos. No entanto, o débito cardíaco foi maior no grupo do treinamento convencional, o que pode indicar que as adaptações do SIT são de origem periférica. Hazell et al. (2014), analisando o efeito do mesmo treinamento aplicado por Macpherson et al. (2011), encontraram diminuição no percentual de gordura e aumento do  $VO_{2max}$ . Um aspecto negativo do trabalho de Hazell et al. (2014) é que não foi utilizado grupo controle, o que limita a inferência dos seus achados. Nesse sentido, o design metodológico utilizado nesta tese, também utilizado por Creer et al. (2004), onde todos os participantes realizam treinamento aeróbio convencional e no grupo experimental é adicionado o SIT, parece ser ideal para estabelecer o verdadeiro efeito do treinamento que está sendo proposto.

Em atletas altamente treinados o SIT pode provocar mudanças no  $VO_{2max}$  e em outros indicadores do desempenho de *endurance*. No

entanto, sob a luz da literatura revisada apenas dois estudos apresentaram efeito SIT (30s-4min) sobre o desempenho de atletas treinados. Rowan, Kueffner e Stavrianeas (2012) testaram o efeito de cinco semanas de SIT em atletas de futebol do sexo feminino. Nesse estudo houve aumento de 4,73% no  $VO_{2max}$ . Outro estudo foi Creer et al. (2004), que analisaram 17 ciclistas treinados divididos em grupo controle e experimental. Os autores utilizaram o mesmo modelo e volume de treinamento utilizada pela presente tese, oito sessões de SIT adicionadas ao treinamento de *endurance* tradicional e realizadas em quatro semanas de treinamento. Foi realizado o teste progressivo máximo para determinação da aptidão aeróbia e a mesma sequência de quatro *sprints* realizados nas sessões de treinamento para determinação da aptidão anaeróbia pré e pós-treinamento. O SIT neste caso provocou aumento na potência aeróbia ( $VO_{2max}$ ), potência (PP) e capacidade anaeróbia (PM). Apesar de apresentar viés no grupo controle, os autores destacam que adicionar o SIT ao treinamento de *endurance* tradicional pode ser um benefício para atletas de alto nível.

Apesar de existir um número expressivo de estudos mostrando o efeito do SIT sobre a potência aeróbia, poucos estudos relataram aumento da capacidade aeróbia, normalmente representada por variáveis submáximas, como a velocidade no segundo limiar de lactato ou na máxima fase estável do lactato e tempo limite em velocidades submáximas. Burgomaster et al. (2005) examinaram o efeito do SIT, realizado durante duas semanas, constituído de quatro a sete repetições de 30s do teste Wingate com 4 minutos de intervalo aplicadas por sessão. Os autores relatam que a capacidade aeróbia, representada pelo tempo limite a 80% do  $VO_{2pico}$ , dobrou em indivíduos recreacionalmente ativos. Mckenna et al. (1997), além de detectarem aumento de 15% no  $VO_{2max}$ , devido ao SIT, verificaram que os limiares ventilatórios 1 e 2 aumentaram 48% e 72%, respectivamente, após o treinamento. Apesar das críticas em relação ao uso dos limiares ventilatórios, os achados de Mckenna et al. (1997) corroboram aos achados do presente estudo, pois houve aumento do vOBLA (tabela 7) após o treinamento com saltos proposto na presente tese (JIT).

### 5.1.3 Variáveis biomecânicas e fisiológicas da corrida em velocidade submáxima

A hipótese 6 ( $H_6$ ) sugeria que a inclusão do JIT no treinamento de corrida poderia aumentar a rigidez vertical (KV), rigidez da perna (KL)

e melhorar a coordenação intrassegmentos, visto que para Boobert (1990) o treinamento com saltos em profundidade (principal tipo de salto realizado durante o JIT) melhora a potência muscular, principalmente dos músculos extensores do joelho e flexores plantares, melhorando a coordenação de movimento e potencializando o estímulo neuromuscular devido a maior sobrecarga na fase negativa. Além disso, esperava-se melhora na EC. Apesar de não terem sido identificadas mudanças nas variáveis fisiológicas examinadas na velocidade de  $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (tabela 9) em decorrência do treinamento, com exceção da diminuição da frequência cardíaca (1,84%), diversas variáveis biomecânicas (tabela 8, texto pg. 87 e 88) sofreram efeito do tempo (pré e pós-treinamento). Porém, não foi encontrado efeito do grupo (GE e GC) nem de interação. Assim, nega-se a  $H_6$ , visto que apesar das variáveis biomecânicas terem sofrido adaptações devido ao treinamento de corrida em esteira a inclusão do JIT não interferiu nestas mudanças.

As principais adaptações do treinamento de corrida foram a diminuição do tempo de contato, do deslocamento vertical do centro de massa ( $\Delta Y$ ), da deformação da perna ( $\Delta L$ ) e aumento da frequência de passos ( $F_{\text{passo}}$ ). Em consequência destas alterações a KV e a KL aumentaram 8,1% (tabela 8). Segundo Farley e Gonzalez (1996), um dos ajustes mais importantes do sistema massa-mola do corpo para acompanhar o aumento da  $F_{\text{passo}}$  é que a perna fica mais rígida. Apesar da KV e KL terem sido medidas a partir da força máxima estimada com base no tempo de vôo, tempo de contato e a massa corporal do indivíduo este método se mostrou válido e confiável para avaliações realizadas em esteira (MORIN et al., 2005; PAPAS et al., 2014).

Comparar a magnitude dos valores de KV e KL com os valores apresentados de outros estudos pode não ser apropriado, visto que as características estruturais das esteiras e tipo de calçado utilizado interferem na medida (LUSSIANA, HÉBERT-LOSIER e MOUROT, 2014). Além disso, quanto maior a velocidade da corrida maior a rigidez vertical (MORIN et al., 2005). Lussiana, Hébert-Losier e Mourot (2014) foi o único trabalho encontrado na literatura para a comparação dos valores de rigidez. Quando apenas corredores do sexo masculino são avaliados em corrida na esteira a  $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , os valores de KV e KL são o dobro dos encontrados no presente estudo (tabela 8), em média  $22 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$  e  $7,5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ , respectivamente. A diferença da rigidez entre os estudos pode ser explicada pela maior velocidade de corrida e pelas características dos participantes em Lussiana, Hébert-Losier e Mourot (2014). Participaram atletas do sexo masculino, que normalmente são mais rígidos que as mulheres. Morin et al. (2005) e Pappas et al. (2014) também

apresentam valores mais expressivos de KV e KL, em torno de  $30 \text{ kN.m}^{-1}$  e  $9 \text{ kN.m}^{-1}$ , respectivamente, devido a utilização de velocidade maiores de corrida.

O aumento da rigidez em decorrência do treinamento de corrida monstrado no presente estudo também foi mostrado em Grosset et al. (2009). Dez semanas de treinamento aumentaram a rigidez musculotendínea em 19,6%. O treinamento foi consistido de 45 minutos de corrida em pista, a 70% do pico de velocidade (PV) determinado por teste progressivo máximo, nas primeiras duas semanas e 45 minutos de treinamento intervalado máximo, alternando entre 100% e 50% do PV a cada 30s nas duas semanas finais. O treinamento utilizado por Grosset et al. (2009) foi parecido com o treinamento de corrida aplicado na presente tese, com excessão das últimas duas semanas, onde foi realizado um treinamento intervalado de alta intesidade. O aumento da rigidez foi duas vezes maior que o indentificado na presente tese. No entanto, esta comparação em termos relativos pode não ser adequada, pois, como comentado no tópico anterior, o estudo de Grosset et al. (2009) utilizou a medida de rigidez do complexo musculotendíneo do tríceps sural (movimento de flexão plantar), que pode não refletir a mesma medida da KV e KL.

Em relação ao efeito do treinamento sobre a coordenação intrassegmentos, o treinamento de corrida em esteira não mudou o padrão coordenativo dos membros inferiores, visto que a correlação cruzada dos sinais da fase relativa continua (CRP) entre a condição pré e pós-treinamento foi alta (tabela 10 e 11, figura 11 e 12). Estudos tem utilizado as correlações cruzadas para verificar efeito da idade, da velocidade (CHIU e CHOU, 2012) e da sobrecarga (HADDAD et al., 2006) sobre mudanças no padrão coordenativo da marcha.

Apesar de não haver mudança no padrão coordenativo em decorrência do treinamento, houve diminuição do valor RMS (tabela 8) para o acoplamento coxa-perna ( $\text{CRP}_{\text{CP}}$ ) considerando-se o ciclo inteiro da passada (3,4%). Quando as fases da passada foram separadas, o efeito de maior magnitude parece ter ocorrido sobre a fase de suporte ou contato (7,13%) e menor na fase de recuperação (2,02%). Um menor valor do RMS da variável CRP indica que os segmentos se tornaram mais em fase (próximos a  $0^\circ$ ), representado o melhor estado coordenativo do acoplamento (SCHOLZ, 1990). Por outro lado, a variabilidade dentre indivíduos para o acoplamento perna-pe ( $\text{VCRP}_{\text{PP}}$ ) aumentou 35,8% na fase de suporte e 29,75% considerando-se o ciclo inteiro da passada.

Estes resultados indicam que o treinamento contínuo realizado em esteira provocou adaptações positivas, tornando o estado coordenativo

do acoplamento coxa-perna mais estável e aumentando a  $VCRP_{PP}$ . Tradicionalmente o termo variabilidade representa sinônimo de ruído resultante de erros na execução de movimento ou no tratamento de dados (SCHMIDT et al., 1979). No entanto, na teoria dos sistemas dinâmicos a variabilidade não é boa nem má, mas reflete a variedade de padrões coordenativos usado para completar uma tarefa (SCHONER e KELSO, 1988). Baixos valores de  $VCRP$  foram sugeridos como indicadores de problemas de saúde (HAMILL et al., 1999; HEIDERSCHEIT, 2000; MILLER et al., 2008). Heiderscheit (2000), sugere que aumentar a velocidade de locomoção ou tipo de superfície para ser mais desafiadora pode promover mudanças na coordenação dos movimentos. Estas mudanças na coordenação são tipicamente precedidas pelo aumento da sua variabilidade. Nesse sentido, o aumento da  $VCRP_{PP}$ , apontado no presente estudo, parece ser uma adaptação positiva do treinamento.

Em relação às características das curvas da fase relativa (figuras 11 e 12), o desvio padrão do CRP (variabilidade entre indivíduos) é maior na fase de suporte, diminuindo gradativamente na transição entre a fase de suporte e a recuperação. Além disso, pode-se observar que durante a fase de suporte o valor RMS do acoplamento perna-pé é maior que a fase de recuperação ( $CRP_{PP}$ ; tabela 8 e figura 12). Essa característica corrobora aos achados de Gittoes e Wilson (2010) que analisaram a coordenação intraarticulações durante sprint de 110m realizado por atletas universitários. Para os autores este movimento mais fora de fase durante a fase de suporte pode ser atribuída a necessidade de desestabilizar a estratégia de coordenação das extremidades dos membros inferiores para permitir a transição da cadeia cinética fechada (fase de suporte) para a cadeia cinética aberta (fase de recuperação).

Apesar de ter sido esperado melhora na EC, nem o treinamento contínuo, nem a inclusão do JIT foi capaz de promover alterações nesta variável (tabela 9). Mesmo com o aumento da rigidez vertical e da perna detectada nos dois grupos do estudo, que estaria relacionada negativamente ao  $VO_2$  ou CE em velocidade submáxima (SPURRS, MURPHY e WATSFORD, 2003), a EC não melhorou. Um dos poucos estudos que detectaram melhora na EC com o modelo esforço-pausa de 30s com 3-4min de intervalo foi o trabalho de Iaia et al. (2009), que testaram o treinamento realizado em pista em corredores de fundo treinados. Entretanto, o treinamento não foi *all-out*, mas sim na velocidade correspondente a 93% do pico de velocidade detectado no *sprint* de 30s. Os autores indicaram que o treinamento realizado durante quatro semanas diminuiu o  $VO_2$  em 6,6; 7,6; 5,7 e 6,4% nas velocidades de 11; 13; 14,5; 16  $km \cdot h^{-1}$ , respectivamente. Os autores afirmam que o



nível de enzimas mitocondriais oxidativas, capilarização muscular,  $VO_{2max}$  e performance de endurance permaneceram inalterados, sugerindo que novos estudos sejam realizados para verificar se a melhora na EC pode ser atrelada a fatores biomecânicos ou bioenergéticos (por exemplo, aumento na eficiência mitocondrial).

A literatura apresenta até o momento dois estudos que encontraram efeito do treinamento exclusivamente realizado com saltos verticais sobre a EC. Tuner, Owings e Schwane (2003) analisaram o efeito do treinamento pliométrico sobre os indicadores de desempenho de endurance de 10 homens e oito mulheres divididos em grupo controle e experimental. O treinamento envolveu saltos verticais contínuos (5 a 10s) e intermitentes, com uma ou duas pernas, saltos tesoura, e sequências de saltos em aclave. O número de repetições variou de 5 a 30, sendo que o número de séries e intervalo não foi informado. Os autores relataram pequeno aumento de 2 a 3% na EC a  $11.8 \text{ km.h}^{-1}$ .

Com o design parecido com o estudo supracitado, Spurrs, Murphy e Watsford (2003) analisaram o efeito de um treinamento pliométrico sobre a EC,  $VO_{2max}$ , desempenho em prova de 3 km, força (CVM), TDF e rigidez musculotendínea do tríceps sural (flexão plantar), desempenho do CMJ e primeiro limiar de lactato ( $L_1$ ) em corredores de *endurance* treinados ( $10 \pm 6$  anos de experiência). Os autores utilizaram um treinamento de seis semanas (de dois a três dias p/semana) com sessões compostas por duas séries de seis a 15 repetições de vários tipos de saltos: salto semi-agachado, salto tesoura, saltos horizontais contínuos, saltos horizontais alternados, salto em profundidade e salto de obstáculos com uma ou duas pernas. Os autores relataram que apesar de não haver mudanças no  $VO_{2max}$  e limiar ventilatório ( $L_1$ ), o desempenho de 3 km melhorou 2,7%, a altura do CMJ aumentou 13,2%, a CVM da flexão plantar aumentou 12%, a rigidez do tríceps sural aumentou em média 13% e a EC melhorou 6,7% para  $12 \text{ km.h}^{-1}$ , 6,4% para  $14 \text{ km.h}^{-1}$  e 4,1% para  $16 \text{ km.h}^{-1}$ .

Apesar do treinamento proposto por Spurrs, Murphy e Watsford (2003) ser essencialmente de saltos verticais, a comparação da magnitude dos efeitos encontrados no presente estudo com os resultados dos autores é limitada. Apesar disso, o único achado em comum entre o presente estudo e o estudo supracitado foi o aumento da altura do CMJ (4,7% e 13,2%, respectivamente). Os autores associaram a melhora da EC ao aumento da rigidez musculotendínea do tríceps sural.

No presente estudo, apesar da KV e KL (tabela) terem aumentando para ambos os grupos (GE e GC) em decorrência do treinamento de corrida, a EC não melhorou. Provavelmente, esse

comportamento ocorreu devido a falta de correlação do  $VO_2$  e CE com a rigidez (KV e KL) durante as corridas a 8, 9 e 10  $km.h^{-1}$  (tabela 13 e figura 13) para o grupo analisado. Portanto, aumentar o nível de rigidez não foi capaz de tornar os participantes deste estudo mais econômicos.

## **5.2 Relação entre economia de corrida, rigidez e coordenação intrassegmentos**

A penúltima hipótese do estudo ( $H_7$ ), sugeria que o consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) e o custo energético (CE) estariam positivamente relacionados com a medida de coordenação intrassegmentos (RMS do CRP). Confirma-se a  $H_7$ , pois foi identificada relação positiva de magnitude moderada do consumo de  $O_2$  ( $VO_2.MC^{-0.87}$ ) e o custo energético ( $CE.MC^{-0.86}$ ), ajustados alometricamente pela massa corporal (MC), com a coordenação intrassegmentos do acoplamento coxa-perna ( $CRP_{CP}$ ) na velocidade 9  $km.h^{-1}$  (tabela 13). Sugere-se assim que, quanto mais em fase (estado coordenativo mais estável) é o acoplamento coxa-perna, maior é a economia de corrida (EC). Porém, deve-se adotar cautela, visto que nas velocidades de 8  $km.h^{-1}$  e 10  $km.h^{-1}$ , onde foram avaliadas (os) mulheres e homens, respectivamente, essas correlações não foram significativas (tabela 14 e 15).

A EC, definida como o consumo de oxigênio ou energético em velocidade submáxima de corrida (CAVANAGH e WILLIAMS, 1982), está ligada a diversos parâmetros fisiológicos ou biomecânicos (WILLIAMS e CAVANAGH, 1987; SAUNDERS et al., 2004) como: distribuição dos tipos de fibra muscular, composição corporal, metabolismo muscular, temperatura corporal, frequência cardíaca, composição corporal (SAUNDERS et al., 2004), braço de momento do tendão de Aquiles (SCHOLZ et al., 2008), raça (WESTON, MBAMBO e MYBURGH, 2000), rigidez musculotendínea (SPURRS, MURPHY, WATSFORD, 2003) e até fatores externos como tipo de calçado (PERL, DAOUD e LIEBERMAN, 2012) e a resistência do vento (SAUNDERS et al., 2004). Além disso, outros parâmetros biomecânicos e antropométricos específicos relacionados à EC também são relatados por Anderson (1996), como: pés menores que a média, baixa oscilação vertical do centro de massa do corpo, ângulos menores do joelho durante a fase de recuperação, maior velocidade angular de flexão plantar durante a saída do pé do solo e baixo pico das forças de reação do solo. Todavia, até o presente momento, a exata contribuição dos fatores metabólicos, antropométricos e biomecânicos continuam pouco claros (LACOUR e

BOURDI, 2015). O presente estudo foi o primeiro a mostrar evidências da relação da EC com a coordenação intrassegmentos dos membros inferiores. Se os membros apresentam um estado coordenativo mais estável, a mecânica da corrida é mais eficiente e provavelmente o custo energético é menor. Nesse sentido, segundo Heise, Shinohara e Binks (2008), longas coativações, que poderiam representar a coordenação muscular, entre o quadríceps e o gastrocnêmio durante a fase de apoio da corrida estão relacionadas com um custo metabólico menor (melhor economia de corrida).

Moore, Jones e Dixon (2014) vão de encontro à Heise, Shinohara e Binks (2008). Os autores, avaliando 11 corredoras recreacionais, sugerem que longas coativações (contrações simultâneas de um par de músculos) dos músculos proximais (reto femoral vs bíceps femoral e vasto-lateral vs bíceps femoral) e extensores da perna (reto femoral vs gastrocnêmio femoral) durante a corrida têm potencial para deteriorar o desempenho, pois estão associadas a um custo metabólico maior. Segundo os autores o custo metabólico aumenta porque na corrida, para se fazer a flexão de joelhos, o agonista (isquiotibiais) precisa produzir maior força que o antagonista (quadríceps), quando comparada a flexão de joelhos isolada em cadeia cinética aberta. A magnitude de ativação requerida para produzir este movimento é, portanto, maior se o agonista contrair sem a contração do antagonista. Os autores sugerem que o quadríceps, que foi envolvido em cada par de músculos associados com o custo energético, influencia bastante o consumo de oxigênio dos corredores.

As coativações mais longas ou maiores tendem a tornar as articulações mais estáveis (mais rígidas), o que tornaria aproveitamento da energia elástica mais eficiente e diminuiria o custo metabólico (HORTOBÁGYI e DEVITA, 2000; KYROLAINEN, BELLI e KOMI, 2001). Segundo Kyrolainen, Belli e Komi (2001), que analisaram a EC de 17 corredores em diferentes velocidades de corrida utilizando-se da eletromiografia. A produção de força durante o contato com o solo, com a ativação dos extensores da perna durante a pré-atividade e fases de amortecimento da carga e sua coordenação com a ativação mais duradoura dos músculos isquiotibiais foram de extrema importância. Os autores apontam que o aumento na coativação dos músculos ao redor do joelho e tornozelo provoca aumento insignificante do custo de oxigênio, mas torna as articulações mais rígidas.

No presente estudo um estado coordenativo mais estável do acoplamento coxa-perna está ligado ao custo energético menor, o que pode corroborar os achados Heise, Shinohara e Binks (2008) e ir de

encontro aos achados de Moore, Jones e Dixon (2014). No entanto, não foram encontradas evidências que indiquem que maiores ou mais longas coativações levem a coordenação intrassegmentos mais estável (menor valor RMS do CRP). Portanto, comparar os resultados da presente tese com os estudos supracitados se torna difícil sem que seja realizado outro experimento que inclua a análise da coordenação intrassegmentos e as coativações musculares.

A última hipótese do estudo ( $H_8$ ), sugeria que o consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) e o custo energético (CE) estariam negativamente relacionados com a rigidez na corrida (KV e KL). Como foi encontrada relação positiva moderada do  $VO_2.MC^{-0,87}$  e do CE.  $MC^{-0,86}$  com a rigidez vertical e rigidez da perna (tabela 13), sugerindo que os mais rígidos consomem mais energia, rejeita-se a  $H_8$ . No entanto, a relação negativa entre KV e  $VO_2$  ou CE da corrida em velocidade submáxima é claramente demonstrada em estudos transversais. Dalleau et al. (1998) reportaram relação negativa ( $r = -0,8$ ) entre o KV e  $VO_2.MC^{-1}$  quando analisaram indivíduos saudáveis do sexo masculino em velocidade correspondente a 90 % do  $VO_{2max}$ . Este mesmo comportamento foi observado por Heise e Martin (1998) ( $r = -0,48$ ), que avaliaram 16 corredores recreacionais do sexo masculino em esteira a  $12 \text{ km.h}^{-1}$  e Lazzer et al. (2014) ( $r = -0,65$ ), avaliando 15 corredores do sexo masculino participantes de ultramaratona. Barnes, Mcguigan e Kilding (2014), que avaliaram 66 corredores do sexo feminino e masculino, também encontraram relação entre KV estimada durante o teste de cinco saltos consecutivos (*5-jump test*, 5JT) e  $VO_2.MC^{-1}$  ( $r = -0,80$ ).

No presente estudo, apesar de não ter sido apresentado nos resultados, a KV do CMJ também apresentou relação contrária a literatura com o  $VO_2$  ( $r = 0,488$ ) e CE (0,487). No entanto, quando a KV foi relacionada ao  $VO_2.MC^{-0,87}$  e CE. $MC^{-0,86}$  a relação ficou próxima a zero,  $r = 0,02$  e  $r = 0,03$ , respectivamente. Isso mostra que o ajuste das variáveis fisiológicas pela MC é determinante para interpretação dos resultados dos experimentos de cunho correlacional.

Os estudos supracitados apresentaram a relação do KV e KL com o  $VO_2$  e CE ajustados pela taxa padrão ( $VO_2.MC^{-1}$ ), o que é bastante criticado na literatura (BERGH et al., 1991) e pode ter levado estes estudo a apresentarem correlações negativas. Shaw, Ingham e Folland (2014) encontraram os expoentes alométricos de 0,90 para homens e 0,87 para mulheres, utilizando 172 corredores que competiam de provas de 800m a maratona, o que se aproxima muitos dos valores encontrados e utilizados no presente estudo quando envolvidos ambos os sexos (0,87 para  $VO_2$  e 0,86 para CE).

O principal aspecto que pode ter levado o presente estudo a apresentar correlação positiva da rigidez com o custo de oxigênio ou energético é a alta variabilidade da medida de rigidez (KV e KL). Na figura 13 (esquerda), a KV variou de 6 a 18 kN.m<sup>-1</sup> quando 22 indivíduos foram analisados. Porém, quando foram removidos dois indivíduos, que apresentavam valores discrepantes de rigidez próximos a 18 kN.m<sup>-1</sup>, a relação do KV com VO<sub>2</sub> deixou de existir, sendo apenas trivial. Em análise qualitativa realizada a partir dos vídeos das corridas na esteira foi possível observar que esses dois indivíduos foram os únicos que apresentaram pisada com predominância do médio-pé e ante-pé. Esse estilo de pisada apresenta valores baixos de tempo de contato durante a corrida, visto que utiliza um amplo movimento de flexão plantar (LORENZ e PONTILLO, 2012; PERL, DAOUD e LIEBERMAN, 2012), aumentando consequentemente a rigidez devido à baixa oscilação do centro de massa. Divert et al. (2005) sugere que corredores que utilizam o ante-pé são mais rígidos que corredores que utilizam o médio-pé ou retro-pé.

Na tabela 14, quando foram utilizadas apenas mulheres na velocidade de 8 km.h<sup>-1</sup>, a relação entre rigidez e custo de oxigênio ou custo energético foi trivial (inexistente). Na tabela 15, quando foram avaliados apenas homens (10 km.h<sup>-1</sup>), a tendência foi que esta relação fosse positiva, apesar de não ser significativa. Porém, quando os dois indivíduos que destoaram dos demais foram retirados a relação foi nula (Figura 13). Portanto, apesar de haver tendência de que os indivíduos mais rígidos tenham VO<sub>2</sub> ou CE mais elevado, ao contrário do que a literatura sugere, a retirada desses dois participantes mostrou que para a maioria dos participantes do presente estudo não há relação entre rigidez e economia de corrida.



## 6 CONCLUSÕES

A inclusão do treinamento intervalado de salto contínuos (JIT), aplicado duas vezes por semana, em um treinamento contínuo de corrida realizado durante quatro semanas, mostrou-se uma boa opção para promover mudanças neuromusculares e metabólicas em corredores recreacionais. Com base nos resultados apresentados no presente estudo é possível concluir que:

- 1) O JIT é capaz de melhorar o desempenho do salto vertical com contramovimento - CMJ (altura do salto), a potência muscular (representada pela potência mecânica gerada no CMJ) e a força explosiva, representada pela taxa de desenvolvimento de torque isométrico do quadríceps. Esses aspectos indicam que o JIT é capaz de melhorar aspectos neuromusculares.
- 2) O JIT é capaz de promover adaptações no metabolismo anaeróbio alático e láctico, visto que foi verificado incremento moderado da potência e da capacidade anaeróbia, representados, respectivamente, pela média da altura do salto (H) e potência pico (PP) dos primeiros saltos e a média da H e PP de todos os saltos realizados no teste de saltos contínuos.
- 3) O JIT é capaz de promover adaptações no metabolismo oxidativo, visto que foi verificado incremento moderado a alto da potência e capacidade aeróbia, representados pelos indicadores máximos (PV e  $VO_{2\text{pico}}$ ) e submáximo (vOBLA), respectivamente.
- 4) O JIT não é capaz de promover mudanças nas variáveis biomecânicas e fisiológicas da corrida em velocidade submáxima. Porém, o treinamento de corrida em esteira é capaz de provocar aumento na rigidez vertical, na rigidez da perna e na coordenação do acoplamento coxa-perna.
- 5) Quanto mais estável é o estado coordenativo do acoplamento coxa-perna, maior é a economia de corrida (EC), visto que foi encontrada correlação positiva entre a coordenação intrassegmentos e o custo energético a  $9 \text{ km.h}^{-1}$ . Portanto, melhorar a coordenação intrassegmentos dos membros inferiores pode melhorar a EC e, provavelmente, o desempenho em prova de corredores.
- 6) Não há relação entre rigidez e EC para os participantes do presente estudo. Portanto, aumentar o nível de rigidez de corredores recreacionais pode não melhorar a EC.





## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E APLICAÇÃO PRÁTICA

Os resultados mostram que o treinamento contínuo de corrida foi suficiente apenas para manter o nível de condicionamento do grupo controle. Isso ocorreu, provavelmente, devido a baixa intensidade do treinamento. Por outro lado, quando o JIT foi adicionado ao grupo experimental, consideráveis adaptações neuromusculares, anaeróbias e aeróbias foram identificadas.

Pode-se especular que o JIT, aplicado em indivíduos fisicamente ativos, pode ser uma opção eficiente para melhorar a aptidão física geral, visto que requer apenas 50 min de treinamento por semana. O tempo despendido é praticamente metade do utilizado em um treinamento de corrida, como o aplicado no presente estudo (120 min/semana). Além disso, em uma sessão do JIT, que dura no máximo 25 minutos, o tempo total de esforço máximo é de três minutos. Portanto, pode-se dizer que apenas seis minutos de saltos contínuos realizados por semana podem provocar consideráveis ganhos na aptidão física.

Outro aspecto positivo do JIT é a praticidade, pois o mesmo pode ser realizado em qualquer local e não depende de equipamentos. Não é necessário mais que 1 m<sup>2</sup> de piso rígido, indumentária apropriada e um tênis esportivo para realizá-lo. Muitas vezes atletas recreacionais ou mesmo de alto nível de diversas modalidades esportivas são impedidos de realizarem um treinamento devido ao clima adverso e falta de local ou equipamento apropriado. Nesses casos, é possível utilizar o JIT para manter a aptidão física ou melhorá-la.

Apesar dos bons resultados encontrados, os benefícios do JIT ao treinamento de atletas de alto nível ainda são incertos, visto que promover mudanças significativas na aptidão e no desempenho desse tipo de atleta é um desafio. Nesse sentido, espera-se dar continuidade ao desenvolvimento do JIT, testando-o em futuros estudos que envolvam corredores de meio-fundo e fundo de nível nacional ou internacional.



## 8 REFERÊNCIAS

- AAGAARD, P. et al. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. **J Appl Physiol** (1985), v. 93, n. 4, p. 1318-26, Oct 2002.
- ALEXANDER, R. M. Energy-saving mechanisms in walking and running. *J Exp Biol*, v. 160, p. 55-69, Oct 1991.
- ALKJAER, T. et al. Neuromuscular adaptations to 4 weeks of intensive drop jump training in well-trained athletes. **Physiol Rep**, v. 1, n. 5, p. e00099, Oct 2013.
- ANDERSEN, J. L.; KLITGAARD, H.; SALTIN, B. Myosin heavy chain isoforms in single fibres from m. vastus lateralis of sprinters: influence of training. **Acta Physiologica Scandinavica**, v. 151, n. 2, p. 135-42, Jun 1994.
- ANDERSON, T. Biomechanics and running economy. **Sports Medicine**, v. 22, n. 2, p. 76-89, Aug 1996.
- ARUIN, A. S.; PRILUTSKII, B. I. Relationship of the biomechanical properties of muscles to their ability to utilize elastic deformation energy. **Hum Physiol**, v. 11, n. 1, p. 8-12, Jan-Feb 1985.
- ASTORINO, T. A. et al. Effect of high-intensity interval training on cardiovascular function, VO<sub>2</sub>max, and muscular force. **J Strength Cond Res**, v. 26, n. 1, p. 138-45, Jan 2012.
- AVELA, J.; KOMI, P. V. Reduced stretch reflex sensitivity and muscle stiffness after long-lasting stretch-shortening cycle exercise in humans. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 78, n. 5, p. 403-10, Oct 1998.
- BAILEY, S. J. et al. Influence of repeated sprint training on pulmonary O<sub>2</sub> uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. **J Appl Physiol** (1985), v. 106, n. 6, p. 1875-87, Jun 2009.

BARNES, K. R. et al. Effects of resistance training on running economy and cross-country performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 45, n. 12, p. 2322-31, Dec 2013.

BARNES, K. R.; MCGUIGAN, M. R.; KILDING, A. E. Lower-body determinants of running economy in male and female distance runners. **J Strength Cond Res**, v. 28, n. 5, p. 1289-97, May 2014.

BARNETT, C. et al. Muscle metabolism during sprint exercise in man: influence of sprint training. **J Sci Med Sport**, v. 7, n. 3, p. 314-22, Sep 2004.

BAR-OR, O. The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. **Sports Medicine**, v. 4, n. 6, p. 381-94, Nov-Dec 1987.

BASSETT, D. R.; HOWLEY, E. T. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 32, n. 1, p. 70-84, Jan 2000.

BAYATI, M. et al. A practical model of low-volume high-intensity interval training induces performance and metabolic adaptations that resemble 'all-out' sprint interval training. **J Sports Sci Med**, v. 10, n. 3, p. 571-6, 2011.

BEHM, D. G.; SALE, D. G. Intended Rather Than Actual Movement Velocity Determines Velocity-Specific Training Response. **J Appl Physiol**, v. 74, n. 1, p. 359-368, Jan 1993.

BEHRENS, M.; MAU-MOELLER, A.; BRUHN, S. Effect of plyometric training on neural and mechanical properties of the knee extensor muscles. **Int J Sports Med**, v. 35, n. 2, p. 101-19, Feb 2014.

BERGH, U. et al. The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. **Med Sci Sports Exerc**, v. 23, n. 2, p. 205-11, Feb 1991.

BILLAT, L. V. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part I: aerobic interval training. **Sports Medicine**, v. 31, n. 1, p. 13-31, 2001a.

\_\_\_\_\_. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part II: anaerobic interval training. **Sports Medicine**, v. 31, n. 2, p. 75-90, Feb 2001b.

BILLAT, V. L. et al. Interval training at VO<sub>2</sub>max: effects on aerobic performance and overtraining markers. **Med Sci Sports Exerc**, v. 31, n. 1, p. 156-63, Jan 1999.

BLAZEVICH, A. J. et al. Training-specific muscle architecture adaptation after 5-wk training in athletes. **Med Sci Sports Exerc**, v. 35, n. 12, p. 2013-22, Dec 2003.

BOBBERT, M. F. Drop jumping as a training method for jumping ability. **Sports Medicine**, v. 9, n. 1, p. 7-22, Jan 1990.

BOBBERT, M. F.; HUIJING, P. A.; VAN INGEN SCHENAU, G. J. Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. **Med Sci Sports Exerc**, v. 19, n. 4, p. 332-8, Aug 1987a.

\_\_\_\_\_. Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. **Med Sci Sports Exerc**, v. 19, n. 4, p. 339-46, Aug 1987b.

BOGDANIS, G. C. et al. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. **J Appl Physiol (1985)**, v. 80, n. 3, p. 876-84, Mar 1996.

\_\_\_\_\_. Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 s of maximal sprint exercise in humans. **Acta Physiol Scand**, v. 163, n. 3, p. 261-72, Jul 1998.

BONACCI, J. et al. Neuromuscular adaptations to training, injury and passive interventions: implications for running economy. **Sports Medicine**, v. 39, n. 11, p. 903-21, 2009.

BORG, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Med Sci Sports Exerc**, v. 14, n. 5, p. 377-81, 1982.

BOSCO, C. **A força muscular: aspectos fisiológicos e aplicações práticas**. São Paulo: Phorte Editora, 2007.

BOSCO, C.; LUHTANEN, P.; KOMI, P. V. A simple method for measurement of mechanical power in jumping. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 50, n. 2, p. 273-82, 1983.

BOUTCHER, S. H. High-intensity intermittent exercise and fat loss. **J Obes**, v. 2011, p. 868305, 2011.

BUCHHEIT, M.; LAURSEN, P. B. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. Part II: anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. **Sports Medicine**, v. 43, n. 10, p. 927-54, Oct 2013a.

\_\_\_\_\_. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. **Sports Medicine**, v. 43, n. 5, p. 313-38, May 2013b.

BULBULIAN, R.; WILCOX, A. R.; DARABOS, B. L. Anaerobic contribution to distance running performance of trained cross-country athletes. **Med Sci Sports Exerc**, v. 18, n. 1, p. 107-13, Feb 1986.

BURGESS, K. E. et al. Plyometric vs. isometric training influences on tendon properties and muscle output. **J Strength Cond Res**, v. 21, n. 3, p. 986-9, Aug 2007.

BURGOMASTER, K. A. et al. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. **J Physiol**, v. 586, n. 1, p. 151-60, Jan 1 2008.

\_\_\_\_\_. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. **J Appl Physiol (1985)**, v. 98, n. 6, p. 1985-90, Jun 2005.

BUTLER, R. J.; CROWELL, H. P., 3RD; DAVIS, I. M. Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. **Clin Biomech (Bristol, Avon)**, v. 18, n. 6, p. 511-7, Jul 2003.

- CADEFAU, J. et al. Biochemical and histochemical adaptation to sprint training in young athletes. **Acta Physiol Scand**, v. 140, n. 3, p. 341-51, Nov 1990.
- CAVAGNA, G. A.; KANEKO, M. Mechanical work and efficiency in level walking and running. **J Physiol**, v. 268, n. 2, p. 467--81, Jun 1977.
- CAVAGNA, G. A.; SAIBENE, F. P.; MARGARIA, R. Mechanical Work in Running. **J Appl Physiol**, v. 19, p. 249-56, Mar 1964.
- CAVANAGH, P. R.; WILLIAMS, K. R. The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. **Med Sci Sports Exerc**, v. 14, n. 1, p. 30-5, 1982.
- CHEN, T. C. Effects of a second bout of maximal eccentric exercise on muscle damage and electromyographic activity. **Eur J Appl Physiol**, v. 89, n. 2, p. 115-21, Apr 2003.
- CHERIF, M. et al. The effect of a combined high-intensity plyometric and speed training program on the running and jumping ability of male handball players. **Asian J Sports Med**, v. 3, n. 1, p. 21-8, Mar 2012.
- CHIMERA, N. J. et al. Effects of Plyometric Training on Muscle-Activation Strategies and Performance in Female Athletes. **J Athl Train**, v. 39, n. 1, p. 24-31, Mar 2004.
- CHIU, S. L.; CHOU, L. S. Effect of walking speed on inter-joint coordination differs between young and elderly adults. **J Biomech**, v. 45, n. 2, p. 275-280, Jan 10 2012.
- COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- CONLEY, D. K.; BURKETT, L. N.; MILLAR, A. L. Following Steve Scott: physiological changes accompanying training. **Physician Sports Medicine**, v. 12, p. 103-106, 1984.
- CONLEY, D. L.; KRAHENBUHL, G. S. Running economy and distance running performance of highly trained athletes. **Med Sci Sports Exerc**, v. 12, n. 5, p. 357-60, 1980.

CONLEY.D.L.; KRAHENBUHL, G.S., BURKETT, L.N. e MILLAR, A. Training for aerobic capacity and running economy. **Phys Sportsmed**, v. 9, p. 107-15, 1981.

COSTILL, D. L. Muscle metabolism and electrolyte balance during heat acclimation. **Acta Physiol Scand Suppl**, v. 556, p. 111-8, 1986.

CRAIB, M. W. et al. The association between flexibility and running economy in sub-elite male distance runners. **Med Sci Sports Exerc**, v. 28, n. 6, p. 737-743, Jun 1996.

CREER, A. R. et al. Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists. **Int J Sports Med**, v. 25, n. 2, p. 92-8, Feb 2004.

DAL PUPO, J. et al. Stiffness, intralimb coordination, and joint modulation during a continuous vertical jump test. **Sports Biomech**, v. 12, n. 3, p. 259-71, Sep 2013.

\_\_\_\_\_. Reliability and validity of the 30-s continuous jump test for anaerobic fitness evaluation. **J Sci Med Sport**, v. 17, n. 6, p. 650-5, Nov 2014.

DALLAM, G. M. et al. Effect of a global alteration of running technique on kinematics and economy. **J Sports Sci**, v. 23, n. 7, p. 757-64, Jul 2005.

DALLEAU, G. et al. The spring-mass model and the energy cost of treadmill running. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 77, n. 3, p. 257-63, Feb 1998.

DAWSON, B. et al. Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 78, n. 2, p. 163-9, Jul 1998.

DAWSON, T. J.; TAYLOR, C. R. Energetic Cost of Locomotion in Kangaroos. **Nature**, v. 246, n. 5431, p. 313-314, 1973.

DEMINICE, R. et al. Oxidative stress biomarkers response to high intensity interval training and relation to performance in competitive



swimmers. **J Sports Med Phys Fitness**, v. 50, n. 3, p. 356-62, Sep 2010.

DENADAI, B. S. et al. Interval training at 95% and 100% of the velocity at VO<sub>2</sub> max: effects on aerobic physiological indexes and running performance. **Appl Physiol Nutr Metab**, v. 31, n. 6, p. 737-43, Dec 2006.

DIVERT, C. et al. Stiffness adaptations in shod running. **J Appl Biomech**, v. 21, n. 4, p. 311-21, Nov 2005.

DRILLER, M. W. et al. The effects of high-intensity interval training in well-trained rowers. **Int J Sports Physiol Perform**, v. 4, n. 1, p. 110-21, Mar 2009.

DUMKE, C. L. et al. Relationship Between Muscle Strength, Power and Stiffness and Running Economy in Trained Male Runners. **Int J Sports Physiol Perform**, v. 5, n. 2, p. 249-261, Jun 2010.

ESBJORNSSON-LILJEDAHL, M. et al. Different responses of skeletal muscle following sprint training in men and women. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 74, n. 4, p. 375-83, 1996.

ESBJORNSSON-LILJEDAHL, M. et al. Muscle fibre type changes with sprint training: effect of training pattern. **Acta Physiol Scand**, v. 149, n. 2, p. 245-6, Oct 1993.

ESFARJANI, F.; LAURSEN, P. B. Manipulating high-intensity interval training: effects on VO<sub>2</sub>max, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. **J Sci Med Sport**, v. 10, n. 1, p. 27-35, Feb 2007.

FARLEY, C. T.; GONZALEZ, O. Leg stiffness and stride frequency in human running. **J Biomech**, v. 29, n. 2, p. 181-6, Feb 1996.

FAUL, F. et al. G\*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. **Behav Res Methods**, v. 39, n. 2, p. 175-91, May 2007.

FERNANDEZ-DEL-OLMO, M. et al. Isometric knee extensor fatigue following a Wingate test: peripheral and central mechanisms. **Scand J Med Sci Sports**, v. 23, n. 1, p. 57-65, Feb 2013.

FERREIRA-VALENTE, M. A.; PAIS-RIBEIRO, J. L.; JENSEN, M. P. Validity of four pain intensity rating scales. **Pain**, v. 152, n. 10, p. 2399-404, Oct 2011.

FOURÉ, A.; NORDEZ, A.; CORNU, C. Plyometric training effects on Achilles tendon stiffness and dissipative properties. **J Appl Physiol (1985)**, v. 109, n. 3, p. 849-54, Sep 2010.

FRANCH, J. et al. Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. **Med Sci Sports Exerc**, v. 30, n. 8, p. 1250-6, Aug 1998.

GAITANOS, G. C. et al. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. **J Appl Physiol (1985)**, v. 75, n. 2, p. 712-9, Aug 1993.

GASTIN, P. B. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. **Sports Medicine**, v. 31, n. 10, p. 725-41, 2001.

GHELLER, R. G. et al. Effect of different knee starting angles on intersegmental coordination and performance in vertical jumps. **Hum Mov Sci**, v. 42, p. 71-80, May 7 2015.

GIBALA, M. J. et al. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. **J Physiol**, v. 575, n. Pt 3, p. 901-11, Sep 15 2006.

\_\_\_\_\_. Brief intense interval exercise activates AMPK and p38 MAPK signaling and increases the expression of PGC-1alpha in human skeletal muscle. **J Appl Physiol (1985)**, v. 106, n. 3, p. 929-34, Mar 2009.

GIST, N. H. et al. Sprint interval training effects on aerobic capacity: a systematic review and meta-analysis. **Sports Medicine**, v. 44, n. 2, p. 269-79, Feb 2014.

GREEN, H. J. et al. Malleability of human skeletal muscle sarcoplasmic reticulum to short-term training. **Appl Physiol Nutr Metab**, v. 36, n. 6, p. 904-12, Dec 2011.

GROSSET, J. F. et al. Paired changes in electromechanical delay and musculo-tendinous stiffness after endurance or plyometric training. **Eur J Appl Physiol**, v. 105, n. 1, p. 131-9, Jan 2009.

GUGLIELMO, L. G.; GRECO, C. C.; DENADAI, B. S. Effects of strength training on running economy. **Int J Sports Med**, v. 30, n. 1, p. 27-32, Jan 2009.

GUGLIELMO, L. G. A. **Efeitos de diferentes tipos de treinamento sobre a intensidade e o tempo de exaustão a 100% do VO2max**. 2005. Doutorado em Ciências da Motricidade, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

HADDAD, J. M. et al. Adaptations in interlimb and intralimb coordination to asymmetrical loading in human walking. **Gait Posture**, v. 23, n. 4, p. 429-34, Jun 2006.

HAMILL, J. et al. A dynamical systems approach to lower extremity running injuries. **Clin Biomech (Bristol, Avon)**, v. 14, n. 5, p. 297-308, Jun 1999.

HARRIDGE, S. D. et al. Sprint training, in vitro and in vivo muscle function, and myosin heavy chain expression. **J Appl Physiol (1985)**, v. 84, n. 2, p. 442-9, Feb 1998.

HAZELL, T. J. et al. Running sprint interval training induces fat loss in women. **Appl Physiol Nutr Metab**, v. 39, n. 8, p. 944-50, Aug 2014.

\_\_\_\_\_. 10 or 30-s sprint interval training bouts enhance both aerobic and anaerobic performance. **Eur J Appl Physiol**, v. 110, n. 1, p. 153-60, Sep 2010.

\_\_\_\_\_. Two minutes of sprint-interval exercise elicits 24-hr oxygen consumption similar to that of 30 min of continuous endurance exercise. **Int J Sport Nutr Exerc Metab**, v. 22, n. 4, p. 276-83, Aug 2012.

- HEGGELUND, J. et al. Maximal strength training improves work economy, rate of force development and maximal strength more than conventional strength training. **Eur J Appl Physiol**, v. 113, n. 6, p. 1565-73, Jun 2013.
- HEIDERSCHEIT, B. C. Movement variability as a clinical measure for locomotion. **J App Biomech**, v. 16, n. 4, p. 419-427, Nov 2000.
- HEISE, G.; SHINOHARA, M.; BINKS, L. Biarticular leg muscles and links to running economy. **Int J Sports Med**, v. 29, n. 8, p. 688-91, Aug 2008.
- HEISE, G. D.; MARTIN, P. E. "Leg spring" characteristics and the aerobic demand of running. **Med Sci Sports Exerc**, v. 30, n. 5, p. 750-4, May 1998.
- HELGERUD, J. et al. Aerobic high-intensity intervals improve VO<sub>2</sub>max more than moderate training. **Med Sci Sports Exerc**, v. 39, n. 4, p. 665-671, Apr 2007.
- HOLLOSZY, J. O. et al. Physiological consequences of the biochemical adaptations to endurance exercise. **Ann N Y Acad Sci**, v. 301, p. 440-50, 1977.
- HOPKINS, W. G. Probabilities of clinical ou practical significance. **Sportscience**, v. 6, p. <http://www.sportsci.org/jour/0201/wghprob.htm>, 2002.
- HOPKINS, W. G. et al. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. **Med Sci Sports Exerc**, v. 41, n. 1, p. 3-13, Jan 2009.
- HORITA, T. et al. Exhausting stretch-shortening cycle (SSC) exercise causes greater impairment in SSC performance than in pure concentric performance. **Eur J Appl Physiol**, v. 88, n. 6, p. 527-34, Feb 2003.
- HORTOBÁGYI, T.; DEVITA, P. Muscle pre- and coactivity during downward stepping are associated with leg stiffness in aging. **J Electromyogr Kinesiol**, v. 10, n. 2, p. 117-26, Apr 2000.

- HOUGHTON, L. A.; DAWSON, B. T.; RUBENSON, J. Effects of plyometric training on achilles tendon properties and shuttle running during a simulated cricket batting innings. **J Strength Cond Res**, v. 27, n. 4, p. 1036-46, Apr 2013.
- HOUMARD, J. A. et al. The role of anaerobic ability in middle distance running performance. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 62, n. 1, p. 40-3, 1991.
- HUDGINS, B. et al. Relationship between jumping ability and running performance in events of varying distance. **J Strength Cond Res**, v. 27, n. 3, p. 563-7, Mar 2013.
- HUNTER, G. R. et al. Muscle fiber type, achilles tendon length, potentiation, and running economy. **J Strength Cond Res**, v. 29, n. 5, p. 1302-9, May 2015.
- IAIA, F. M., BANGSBO, J. Speed endurance training is a powerful stimulus for physiological adaptations and performance improvements of athletes. **Scand J Med Sci Spor**, v. 20 (Suppl. 2), p. 11-23, 2010.
- IAIA, F. M. et al. Four weeks of speed endurance training reduces energy expenditure during exercise and maintains muscle oxidative capacity despite a reduction in training volume. **J Appl Physiol (1985)**, v. 106, n. 1, p. 73-80, Jan 2009.
- ISSEKUTZ, B.; BIRKHEAD, N. C.; RODAHL, K. Use of Respiratory Quotients in Assessment of Aerobic Work Capacity. **J App Physiol**, v. 17, n. 1, p. 47-&, 1962.
- JACOBS, I. et al. Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. **Med Sci Sports Exerc**, v. 19, n. 4, p. 368-74, Aug 1987.
- JANSSON, E. et al. Increase in the proportion of fast-twitch muscle fibres by sprint training in males. **Acta Physiol Scand**, v. 140, n. 3, p. 359-63, Nov 1990.
- JOHNSTON, R. E., QUINN, T. J., KERTZER, R., & VROMAN, N. B. Strength Training in Female Distance Runners: Impact on Running Economy. **J Strength Cond Res**, v. 11, n. 4, p. 224-229, 1997.

- JONES, A. M. The physiology of the world record holder for the women's marathon. **Int J Sports Sci Coach**, v. 1, n. 2, p. 101-116, 2006.
- JONES, A. M. Running economy is negatively related to sit-and-reach test performance in international-standard distance runners. **Int J Sports Med**, v. 23, n. 1, p. 40-43, Jan 2002.
- JOYNER, M. J.; COYLE, E. F. Endurance exercise performance: the physiology of champions. **J Physiol**, v. 586, n. 1, p. 35-44, Jan 1 2008.
- KER, R. F. et al. The spring in the arch of the human foot. **Nature**, v. 325, n. 7000, p. 147-9, Jan 8-14 1987.
- KIRBY, T. J. et al. Relative net vertical impulse determines jumping performance. **J App Biomech**, v. 27, n. 3, p. 207-14, Aug 2011.
- KRAMER, J. F.; MORROW, A.; LEGER, A. Changes in rowing ergometer, weight lifting, vertical jump and isokinetic performance in response to standard and standard plus plyometric training programs. **Int J Sports Med**, v. 14, n. 8, p. 449-54, Nov 1993.
- KUBO, K. et al. Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 39, n. 10, p. 1801-10, Oct 2007.
- KUITUNEN, S. et al. Leg stiffness modulation during exhaustive stretch-shortening cycle exercise. **Scand J Med Sci Sports**, v. 17, n. 1, p. 67-75, Feb 2007.
- KUITUNEN, S. et al. Acute and prolonged reduction in joint stiffness in humans after exhausting stretch-shortening cycle exercise. **Eur J Appl Physiol**, v. 88, n. 1-2, p. 107-16, Nov 2002.
- KYROLAINEN, H. et al. Effects of power training on mechanical efficiency in jumping. **Eur J Appl Physiol**, v. 91, n. 2-3, p. 155-9, Mar 2004.
- \_\_\_\_\_. Effects of power training on muscle structure and neuromuscular performance. **Scand J Med Sci Sports**, v. 15, n. 1, p. 58-64, Feb 2005.

- KYROLAINEN, H.; BELLI, A.; KOMI, P. V. Biomechanical factors affecting running economy. **Med Sci Sports Exerc**, v. 33, n. 8, p. 1330-7, Aug 2001.
- KYROLANEN, H., KOMI, PV., KIM, H. Effects of power training on neuromuscular performance and mechanical efficiency. **Scand J Med Sci Sports**, v. 1, n. 2, p. 78-87, 1991.
- LACOUR, J. R.; BOURDIN, M. Factors affecting the energy cost of level running at submaximal speed. **Eur J Appl Physiol**, v. 115, n. 4, p. 651-73, Apr 2015.
- LAMBERTS, R. P. et al. Heart rate recovery as a guide to monitor fatigue and predict changes in performance parameters. **Scand J Med Sci Sports**, v. 20, n. 3, p. 449-457, Jun 2010.
- LATTIER, G. et al. Fatigue and recovery after high-intensity exercise part I: neuromuscular fatigue. **Int J Sports Med**, v. 25, n. 6, p. 450-6, Aug 2004.
- LAURSEN, P. B. Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? **Scand J Med Sci Sports**, v. 20 Suppl 2, p. 1-10, Oct 2010.
- LAURSEN, P. B.; JENKINS, D. G. The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. **Sports Medicine**, v. 32, n. 1, p. 53-73, 2002.
- LAURSEN, P. B. et al. Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. **Med Sci Sports Exerc**, v. 34, n. 11, p. 1801-1807, Nov 2002.
- \_\_\_\_\_. Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. **J Strength Cond Res**, v. 19, n. 3, p. 527-33, Aug 2005.
- LAZZER, S. et al. Factors affecting metabolic cost of transport during a multi-stage running race. **J Exp Biol**, v. 217, n. Pt 5, p. 787-95, Mar 1 2014.

- LE MEUR, Y. et al. Spring-mass behaviour during the run of an international triathlon competition. **Int J Sports Med**, v. 34, n. 8, p. 748-55, Aug 2013.
- LINOSSIER, M. T. et al. Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 67, n. 5, p. 408-14, 1993.
- LORENZ, D. S.; PONTILLO, M. Is there evidence to support a forefoot strike pattern in barefoot runners? A review. **Sports Health**, v. 4, n. 6, p. 480-4, Nov 2012.
- LUSSIANA, T., HÉBERT-LOSIER, K., MOUROT, L. Effect of minimal shoes and slope on vertical and leg stiffness during running. **J Sport Health Sci**, 2014. doi:10.1016/j.jshs.2013.09.004.
- MACDOUGALL, J. D. et al. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. **J Appl Physiol (1985)**, v. 84, n. 6, p. 2138-42, Jun 1998.
- MACPHERSON, R. E. et al. Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output. **Med Sci Sports Exerc**, v. 43, n. 1, p. 115-22, Jan 2011.
- MARKOVIC, G. Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. **Br J Sports Med**, v. 41, n. 6, p. 349-355, Jun 2007.
- MARKOVIC, G.; JARIC, S. Positive and negative loading and mechanical output in maximum vertical jumping. **Med Sci Sports Exerc**, v. 39, n. 10, p. 1757-64, Oct 2007.
- MARKOVIC, G. et al. Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. **J Strength Cond Res**, v. 21, n. 2, p. 543-9, May 2007.
- MARKOVIC, G.; MIKULIC, P. Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. **Sports Medicine**, v. 40, n. 10, p. 859-95, Oct 1 2010.



MAYHEW, J. L. Oxygen cost and energy expenditure of running in trained runners. **Br J Sports Med**, v. 11, n. 3, p. 116-21, Sep 1977.

MCCAULLEY, G. O. et al. Mechanical efficiency during repetitive vertical jumping. **Eur J Appl Physiol**, v. 101, n. 1, p. 115-23, Sep 2007.

MCHUGH, M. P. Recent advances in the understanding of the repeated bout effect: the protective effect against muscle damage from a single bout of eccentric exercise. **Scand J Med Sci Sports**, v. 13, n. 2, p. 88-97, Apr 2003.

MCKENNA, M. J. et al. Enhanced pulmonary and active skeletal muscle gas exchange during intense exercise after sprint training in men. **J Physiol**, v. 501 (Pt 3), p. 703-16, Jun 15 1997.

MENDEZ-VILLANUEVA, A. et al. The Recovery of Repeated-Sprint Exercise Is Associated with PCr Resynthesis, while Muscle pH and EMG Amplitude Remain Depressed. **PLoS One**, v. 7, n. 12, Dec 17 2012.

MERO, A. L., P.; VIITASALO, J.; KOMI, P. Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. **Scand J Med Sci Sports**, v. 3, p. 16-22, 1981.

METCALFE, R. S. et al. Towards the minimal amount of exercise for improving metabolic health: beneficial effects of reduced-exertion high-intensity interval training. **Eur J Appl Physiol**, v. 112, n. 7, p. 2767-75, Jul 2012.

MIDGLEY, A. W.; MCNAUGHTON, L. R.; JONES, A. M. Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? **Sports Medicine**, v. 37, n. 10, p. 857-80, 2007.

MIDGLEY, A. W.; MCNAUGHTON, L. R.; WILKINSON, M. Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners?: empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. **Sports Medicine**, v. 36, n. 2, p. 117-32, 2006.

MIKKOLA, J. et al. Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular performance in recreational endurance runners. **J Sports Sci**, v. 29, n. 13, p. 1359-71, Oct 2011.

MILLER, R. H. et al. Continuous relative phase variability during an exhaustive run in runners with a history of iliotibial band syndrome. **J App Biomech**, v. 24, n. 3, p. 262-70, Aug 2008.

MILLET, G. P. et al. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and  $\dot{V}O_2$  kinetics. **Med Sci Sports Exerc**, v. 34, n. 8, p. 1351-9, Aug 2002.

MINETT, G. M.; DUFFIELD, R. Is recovery driven by central or peripheral factors? A role for the brain in recovery following intermittent-sprint exercise. **Front Physiol**, v. 5, p. 24, 2014.

MIZUGUCHI, S. **Net Impulse and Net Impulse Characteristics in Vertical Jumping**. 2012. (PhD). Department of Kinesiology, Leisure, and Sport Sciences, East Tennessee State University

MOORE, I. S.; JONES, A. M.; DIXON, S. J. Relationship between metabolic cost and muscular coactivation across running speeds. **J Sci Med Sport**, v. 17, n. 6, p. 671-676, Nov 2014.

MORIN, J. B. et al. A simple method for measuring stiffness during running. **J App Biomech**, v. 21, n. 2, p. 167-80, May 2005.

MURRAY, M. P. et al. Strength of isometric and isokinetic contractions: knee muscles of men aged 20 to 86. **Phys Ther**, v. 60, n. 4, p. 412-9, Apr 1980.

MYERS, M. J.; STEUDEL, K. Effect of limb mass and its distribution on the energetic cost of running. **J Exp Biol**, v. 116, p. 363-73, May 1985.

NELSON, R. C.; GREGOR, R. J. Biomechanics of distance running: a longitudinal study. **Res Q**, v. 47, n. 3, p. 417-28, Oct 1976.

NEVILL, M. E. et al. Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. **J Appl Physiol** (1985), v. 67, n. 6, p. 2376-82, Dec 1989.

NOAKES, T. D. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. **Med Sci Sports Exerc**, v. 20, n. 4, p. 319-30, Aug 1988.

NUMMELA, A.; KERANEN, T.; MIKKELSSON, L. O. Factors related to top running speed and economy. **Int J Sports Med**, v. 28, n. 8, p. 655-61, Aug 2007.

NUMMELA, A. T. et al. Neuromuscular factors determining 5 km running performance and running economy in well-trained athletes. **Eur J Appl Physiol**, v. 97, n. 1, p. 1-8, May 2006.

OGUETA-ALDAY, A. et al. Validation of a new method to measure contact and flight times during treadmill running. **J Strength Cond Res**, v. 27, n. 5, p. 1455-62, May 2013.

ORTENBLAD, N. et al. Enhanced sarcoplasmic reticulum Ca(2+) release following intermittent sprint training. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v. 279, n. 1, p. R152-60, Jul 2000.

PAAVOLAINEN, L. et al. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. **J Appl Physiol**, v. 86, n. 5, p. 1527-33, May 1999.

PAAVOLAINEN, L.; HAKKINEN, K.; RUSKO, H. Effects of explosive type strength training on physical performance characteristics in cross-country skiers. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 62, n. 4, p. 251-5, 1991.

PAPPAS, P. et al. Reliabilities of leg and vertical stiffness during treadmill running. **Sports Biomech**, v. 13, n. 4, p. 391-9, Nov 2014.

PARRA, J. et al. The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high-intensity training in human muscle. **Acta Physiol Scand**, v. 169, n. 2, p. 157-65, Jun 2000.

PATON, C. D., HOPKINS, W.G. Effects of High-intensity Training on Performance and Physiology of Endurance Athletes. **Sportscience**, v. 8, p. 25-40, 2004.

PERL, D. P.; DAOUD, A. I.; LIEBERMAN, D. E. Effects of footwear and strike type on running economy. **Med Sci Sports Exerc**, v. 44, n. 7, p. 1335-43, Jul 2012.

PERONNET, F.; MASSICOTTE, D. Table of Nonprotein Respiratory Quotient - an Update. **Can J Sport Sci**, v. 16, n. 1, p. 23-29, Mar 1991.

PERREY, S. et al. Neural and muscular adjustments following repeated running sprints. **Eur J Appl Physiol**, v. 109, n. 6, p. 1027-36, Aug 2010. ISSN

PIACENTINI, M. F. et al. Concurrent strength and endurance training effects on running economy in master endurance runners. **J Strength Cond Res**, v. 27, n. 8, p. 2295-303, Aug 2013.

PLATONOV, V. **Tratado geral de treinamento desportivo**. São Paulo: Phorte, 2008.

POTTEIGER, J. A. L., R.H.; HAUB, M.D.; DOLEZAL, B.A.; ALMUZAINI, K.S.; SCHROEDER, J.M.; ZEBAS, C.J. Muscle Power and Fiber Characteristics Following 8 Weeks of Plyometric Training. **J Strength Cond Res**, v. 13, n. 3, p. 275-279, 1999.

RAMIREZ-CAMPILLO, R. et al. Effects of plyometric training on endurance and explosive strength performance in competitive middle- and long-distance runners. **J Strength Cond Res**, v. 28, n. 1, p. 97-104, Jan 2014.

RIMMER, E., SLEIVERT, G. Effects of a plyometrics intervention program on sprint performance. **J Strength Cond Res**, v. 14, n. 3, p. 295-301, 2000.

RODAS, G. et al. A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. **Eur J Appl Physiol**, v. 82, n. 5-6, p. 480-6, Aug 2000.

ROPER, R. L. Incorporating Agility Training and Backward Movement Into a Plyometric Program. **Strength Cond J**, v. 20, n. 4, p. 60-3, 1998.

ROSS, A.; LEVERITT, M. Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training: implications for sprint training and tapering. **Sports Medicine**, v. 31, n. 15, p. 1063-82, 2001.

ROSS, A.; LEVERITT, M.; RIEK, S. Neural influences on sprint running: training adaptations and acute responses. **Sports Medicine**, v. 31, n. 6, p. 409-25, 2001.

ROWAN, A.; KUEFFNER, T.; STAVRIANEAS, S. Short Duration High-Intensity Interval Training Improves Aerobic Conditioning of Female College Soccer Players. **Int J Exerc Sci**, v. 5, n. 3, p. 232-238, May 2012.

SAUNDERS, P. U. et al. Factors affecting running economy in trained distance runners. **Sports Medicine**, v. 34, n. 7, p. 465-85, 2004.

\_\_\_\_\_. Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. **J Strength Cond Res**, v. 20, n. 4, p. 947-54, Nov 2006.

SCHMIDT, R. A. et al. Motor-output variability: a theory for the accuracy of rapid motor acts. **Psychol Rev**, v. 47, n. 5, p. 415-51, Sep 1979.

SCHOLZ, J. P. Dynamic pattern theory--some implications for therapeutics. **Phys Ther**, v. 70, n. 12, p. 827-43, Dec 1990.

SCHOLZ, M. N. et al. Running biomechanics: shorter heels, better economy. **J Exp Biol**, v. 211, n. Pt 20, p. 3266-71, Oct 2008.

SCHONER, G.; KELSO, J. A. Dynamic pattern generation in behavioral and neural systems. **Science**, v. 239, n. 4847, p. 1513-20, Mar 25 1988.

SCHULZ, K. F.; ALTMAN, D. G.; MOHER, D. CONSORT 2010 Statement: updated guidelines for reporting parallel group randomized trials. **Open Med**, v. 4, n. 1, p. e60-8, 2010.

SCOTT, A. et al. Mechanotransduction in human bone: in vitro cellular physiology that underpins bone changes with exercise. **Sports Medicine**, v. 38, n. 2, p. 139-60, 2008.

SHAW, A. J.; INGHAM, S. A.; FOLLAND, J. P. The valid measurement of running economy in runners. **Med Sci Sports Exerc**, v. 46, n. 10, p. 1968-73, Oct 2014.

SHAW, A. J. et al. The reliability of running economy expressed as oxygen cost and energy cost in trained distance runners. **Appl Physiol Nutr Metab**, v. 38, n. 12, p. 1268-1272, Dec 2013.

SIMONEAU, J. A. et al. Human skeletal muscle fiber type alteration with high-intensity intermittent training. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol**, v. 54, n. 3, p. 250-3, 1985.

SKURVYDAS A., K. S., STANISLOVAITIS A., MAMKUS G., MICKEVIČIENĖ D. Effect of four jumping endurance trainings on metabolic fatigue and on indirect symptoms of skeletal muscle damage. **Biol Sport**, v. 27, n. 3, p. 255-261, 2010.

SLAWINSKI, J. et al. Changes in spring-mass model parameters and energy cost during track running to exhaustion. **J Strength Cond Res**, v. 22, n. 3, p. 930-6, May 2008.

SLOTH, M. et al. Effects of sprint interval training on VO<sub>2</sub>max and aerobic exercise performance: A systematic review and meta-analysis. **Scand J Med Sci Sports**, v. 23, n. 6, p. e341-52, Dec 2013.

SMITH, J. C.; HILL, D. W. Contribution of energy systems during a Wingate power test. **Br J Sports Med**, v. 25, n. 4, p. 196-9, Dec 1991.

SPERLICH, B. et al. High-intensity interval training improves VO<sub>2</sub>(peak), maximal lactate accumulation, time trial and competition performance in 9-11-year-old swimmers. **Eur J Appl Physiol**, v. 110, n. 5, p. 1029-36, Nov 2010.

SPURRS, R. W.; MURPHY, A. J.; WATSFORD, M. L. The effect of plyometric training on distance running performance. **Eur J Appl Physiol**, v. 89, n. 1, p. 1-7, Mar 2003.

STAFILIDIS, S.; ARAMPATZIS, A. Muscle - tendon unit mechanical and morphological properties and sprint performance. **J Sports Sci**, v. 25, n. 9, p. 1035-46, Jul 2007.

STARON, R. S. et al. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. **J Appl Physiol** (1985), v. 76, n. 3, p. 1247-55, Mar 1994.

STEPTO, N. K. et al. Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. **Med Sci Sports Exerc**, v. 31, n. 5, p. 736-41, May 1999.

STØREN, O. et al. Maximal strength training improves running economy in distance runners. **Med Sci Sports Exerc**, v. 40, n. 6, p. 1087-92, Jun 2008.

TAIPALE, R. S. et al. Neuromuscular adaptations during combined strength and endurance training in endurance runners: maximal versus explosive strength training or a mix of both. **Eur J Appl Physiol**, v. 113, n. 2, p. 325-35, Feb 2013.

TANNER, J. M. Fallacy of Per-Weight and Per-Surface Area Standards, and Their Relation to Spurious Correlation. **J App Physiol**, v. 2, n. 1, p. 1-15, 1949.

TARTARUGA, M. P., PEYRÉ-TARTARUGA, L.A., COERTJENS, M., MEDEIROS, M.H.D., KRUEL, L.F.M The influence of the allometric scale on the relationship between running economy and biomechanical variables in distance runners. **Biol Sport**, v. 26, p. 263–273, 2009.

TARTARUGA, M. P. et al. The relationship between running economy and biomechanical variables in distance runners. **Res Q Exerc Sport**, v. 83, n. 3, p. 367-75, Sep 2012.

TAUBE, W. et al. The drop height determines neuromuscular adaptations and changes in jump performance in stretch-shortening cycle training. **Scand J Med Sci Sports**, v. 22, n. 5, p. 671-83, Oct 2012.

THOMAS, D. Q. F., B.; BLANPIED, P.; STILLWELL, K. Changes in Running Economy and Mechanics During a Submaximal 5-km Run. **J Strength Cond Res**, v. 3, p. 170–175, 1995.

TURNER, A. M.; OWINGS, M.; SCHWANE, J. A. Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. **J Strength Cond Res**, v. 17, n. 1, p. 60-7, Feb 2003.

TURPIN, N. A. et al. Fatigue-related adaptations in muscle coordination during a cyclic exercise in humans. **J Exp Biol**, v. 214, n. Pt 19, p. 3305-14, Oct 1 2011.

UGRINOWITSCH, C. et al. Influence of training background on jumping height. **J Strength Cond Res**, v. 21, n. 3, p. 848-52, Aug 2007.

VERKHOSHANSKY, Y. Are depth jumps useful? **Sovietic sport review**, v. 3, p. 75-78, 1968.

VILLARREAL, E. S. S.; REQUENA, B.; NEWTON, R. U. Does plyometric training improve strength performance? A meta-analysis. **J Sci Med Sport**, v. 13, n. 5, p. 513-522, Sep 2010.

WESTON, A. R.; MBAMBO, Z.; MYBURGH, K. H. Running economy of African and Caucasian distance runners. **Med Sci Sports Exerc**, v. 32, n. 6, p. 1130-4, Jun 2000.

WILLIAMS, K. R.; CAVANAGH, P. R. Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. **J Appl Physiol** (1985), v. 63, n. 3, p. 1236-45, Sep 1987.

WILSON, J. M. et al. The effects of endurance, strength, and power training on muscle fiber type shifting. **J Strength Cond Res**, v. 26, n. 6, p. 1724-9, Jun 2012.

WILT, F. Pliometrics - What is it and how it works. **Modern Athlete and Coach**, v. 16, p. 9-12, 1978.

WINTER, D. A. **Biomechanics of human movement**. New York: Wiley & Sons, 1979.

\_\_\_\_\_. **Biomechanics and Motor Control of Human Movement**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2004.



WU, Y. K. et al. Relationships between three potentiation effects of plyometric training and performance. **Scand J Med Sci Sports**, v. 20, n. 1, p. e80-6, Feb 2010.

YAMAMOTO, L. M. et al. The effects of resistance training on endurance distance running performance among highly trained runners: a systematic review. **J Strength Cond Res**, v. 22, n. 6, p. 2036-44, Nov 2008.



**ANEXO A – Parecer consubstanciado do cep**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
SANTA CATARINA - UFSC



**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP**

**DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

**Título da Pesquisa:** Efeito do treinamento intervalado de saltos verticais contínuos de alta-intensidade sobre a economia de corrida: um ensaio clínico randomizado

**Pesquisador:** Antônio Renato Pereira Moro

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 22537013.4.0000.0121

**Instituição Proponente:** Universidade Federal de Santa Catarina

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

**DADOS DO PARECER**

**Número do Parecer:** 483.387

**Data da Relatoria:** 09/12/2013

**Apresentação do Projeto:**

Estudo de Dias, orientado por Moro, par obtenção de doutorado na PG de Educação Física, que avaliará 20 atletas.

**Objetivo da Pesquisa:**

Segundo os autores o Objetivo Primário é analisar o efeito do treinamento intervalado de saltos verticais contínuos de alta intensidade (TIAICJ) e do treinamento intervalado convencional (TIAI), aplicados durante quatro semanas, sobre a economia de corrida (EC); e os Objetivos Secundários: a) verificar e comparar o tamanho do efeito do TIAICJ e do TIAI sobre a EC e outros indicadores do desempenho de endurance (VO2max, vVO2max, LAn e Tlim a 95% do vVO2max). b) verificar e comparar as adaptações neuromusculares causadas pelos dois tipos de treinamento por meio das seguintes variáveis: pico de torque isométrico e isocinético (PTISOM e PTISO) e taxa de desenvolvimento da força (TDF) dos movimentos de extensão e flexão de joelhos; altura máxima (HMAX) e média (HMED) dos saltos, índice de fadiga (IF), stiffness (SVERT) e coordenação intrassegmentos (CRP) medidas no teste CJ30; e a CRP medida durante o teste de EC.c) verificar a relação entre a coordenação intrassegmentos e a EC.

**Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Adequada

**Endereço:** Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima

**Bairro:** Trindade **CEP:** 88.040-900

**UF:** SC **Município:** FLORIANOPOLIS

**Telefone:** (48)3721-9206 **Fax:** (48)3721-9696 **E-mail:** cep@reitoria.ufsc.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
SANTA CATARINA - UFSC



Continuação do Parecer: 483.387

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

Pode gerar conhecimento generalizável sobre o tema.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Adequados

**Recomendações:**

Não há

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Pela aprovação

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

**Considerações Finais a critério do CEP:**

FLORIANOPOLIS, 09 de Dezembro de 2013

---

**Assinador por:**  
**Ymar Correa Neto**  
**(Coordenador)**

**Endereço:** Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima  
**Bairro:** Trindade **CEP:** 88.040-900  
**UF:** SC **Município:** FLORIANOPOLIS  
**Telefone:** (48)3721-9206 **Fax:** (48)3721-9696 **E-mail:** cep@reitoria.ufsc.br

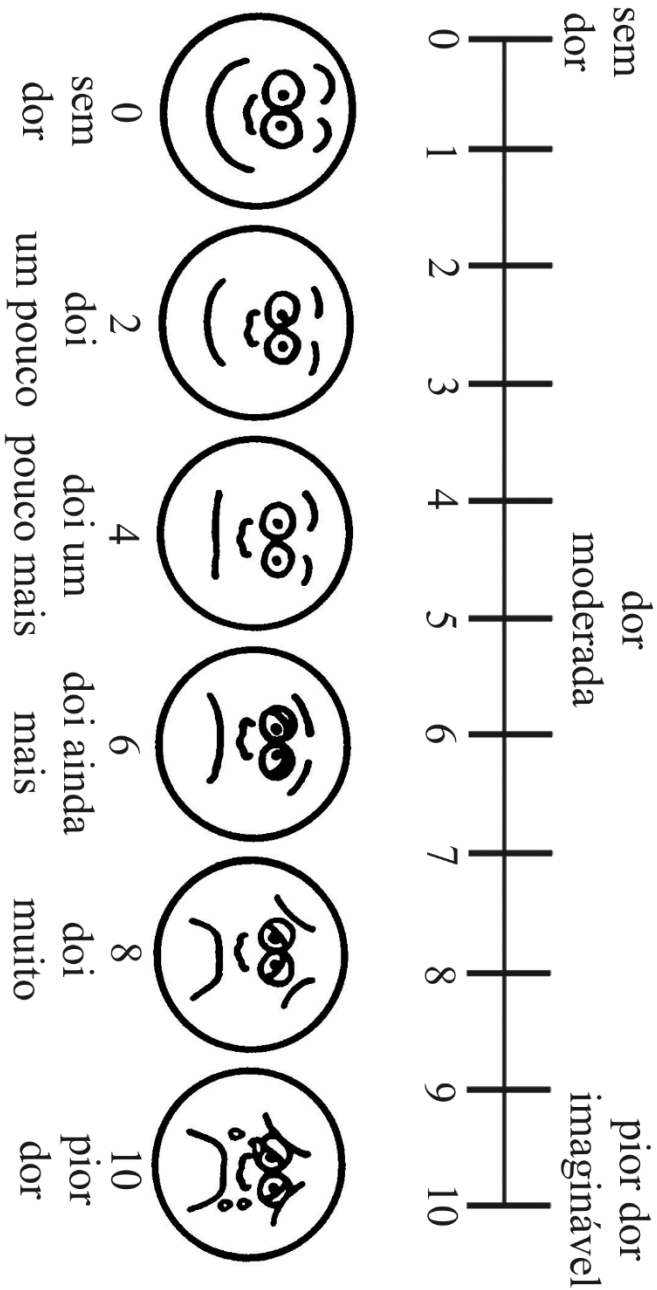


**ANEXO B – Escala de Borg (PSE)**

0	Nenhuma
0,5	Muito, muito leve
1	Muito leve
2	Leve
3	Moderada
4	Pouco intensa
5	Intensa
6	
7	Muito intensa
8	
9	Muito, muito intensa
10	Máxima



**ANEXO C – Escala analógica visual de dor (PSD)**



**APÊNDICE A – Termo de consentimento livre e esclarecido**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC  
CENTRO DE DESPORTOS - CDS

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA –  
PPGEF

### **TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Você está sendo convidado a participar da pesquisa **EFEITO DO TREINAMENTO INTERVALADO DE SALTOS VERTICAIS CONTÍNUOS DE ALTA INTENSIDADE SOBRE A ECONOMIA DE CORRIDA: UM ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO** como voluntário. Não haverá qualquer forma de compensação financeira, bem como não haverá nenhum custo para você. Além disso, a qualquer momento você pode desistir de participar e se retirar do estudo.

Caso você aceite participar será necessário, além da disponibilidade para realizar o treinamento de três a cinco vezes (depende de um sorteio) por semana durante quatro semanas, estar disponível para avaliações de sua aptidão física em duas oportunidades (duas pré e duas pós-treinamento) com pelo menos 24 horas de diferença entre cada uma das visitas ao laboratório, que duraram em média uma hora e trinta minutos. Além disso, será necessário que você não realize treinamento de força (musculação) durante o período de treinamento. Todas as coletas de dados serão realizadas nos Laboratórios de Esforço Físico (LAEF) e Biomecânica (BIOMEC) do Centro de Educação Física e Desportos (CDS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Previamente a primeira visita aos laboratórios os procedimentos gerais de cada teste serão explicados e será agendado o primeiro dia de avaliação, dependendo de sua disponibilidade.

Em relação ao treinamento, você realizará corridas contínuas de 40 minutos na esteira com velocidade moderada, três vezes por semana durante as quatro semanas. Durante este período de treinamento você

poderá ser selecionado (via sorteio) para realizar, em dois dias separados (adicionais), um treinamento complementar (duração de aproximadamente 30 minutos) com séries de saltos verticais contínuos máximos durante as quatro semanas.

Na sua primeira visita aos laboratórios da UFSC, serão realizadas as seguintes avaliações: 1) avaliação antropométrica, onde serão medidas as dimensões corporais, como massa corporal, estatura, dobras cutâneas e perímetros corporais; 2) avaliação da capacidade de gerar potência muscular nos membros inferiores e sustentá-la por meio do teste de saltos contínuos, que será constituído de saltos verticais realizados com máximo esforço durante 30 segundos; 3) após pequeno intervalo a avaliação da aptidão aeróbia será realizada por meio do teste de esforço incremental, onde a esteira será iniciada com uma velocidade baixa e será incrementada em 1 km/h a cada 3 minutos (estágios) até a sua exaustão voluntária. Entre cada estágio do teste haverá um intervalo de 30 segundos para coleta de uma pequena amostra (25µl) de sangue do lóbulo da sua orelha a fim de quantificar o lactato sanguíneo. Você estará conectado a um sistema de análise de gases respirados por meio de máscara de face. A partir desse teste será possível identificar índices de sua capacidade aeróbia, incluindo entre eles o seu consumo máximo de O<sub>2</sub> (VO<sub>2max</sub>), frequência cardíaca máxima (FC<sub>max</sub>) e limiar anaeróbio (LAn). 3) Após pequeno intervalo será feita a familiarização ao teste de força no dinamômetro isocinético, que será realizado definitivamente no segundo dia de avaliação.

Na sua segunda visita aos laboratórios da UFSC, serão realizadas as seguintes avaliações: 1) capacidade de realizar força com os movimentos de flexão e extensão de joelhos por meio um aparelho chamado dinamômetro isocinético, parecido com o aparelho de musculação cadeira extensora; 2) a economia de corrida em três velocidades submáximas diferentes, onde seu consumo de O<sub>2</sub> será medido durante corridas de 6 minutos em cada velocidade e após um breve intervalo será avaliado o 3) tempo de exaustão, onde será medido o consumo de oxigênio e o tempo que você vai conseguir sustentar uma corrida em sua máxima velocidade detectada no teste incremental.

Os riscos de participar do estudo são inerentes a prática de exercícios físicos vigorosos, visto o possível desconforto gerado pelos esforços máximos dos testes e do treinamento. Pode haver desconforto em relação as coletas de sangue realizadas lóbulo da orelha por meio de materiais descartáveis. O desconforto se resume à picada da agulha, não requerendo cuidado especial posterior. As amostras de sangue serão utilizadas apenas para análise de lactato sanguíneo.

Para participar deste estudo você deve estar apto à realizar exercícios físicos de alta intensidade. Da mesma forma, deve estar ciente que existe uma pequena possibilidade de apresentar náuseas e vômito em decorrência do esforço. Contudo, a probabilidade de isso acontecer é bem baixa.

Quanto aos benefícios e vantagens em participar deste estudo, você estará contribuindo para o desenvolvimento da ciência, em especial para o desenvolvimento de novos modelos de treinamento. Além disso, você ficará informado em relação a sua capacidade de realizar força máxima, gerar potência de membros inferiores, capacidade aeróbia e saber o quanto eficiente você é durante a corrida.

As pessoas que o acompanharão durante as avaliações serão o Prof. Ms. Jonathan Ache Dias e Prof. Dr. Antônio Renato Pereira Moro, além de alguns colaboradores do BIOMEC e do LAEF. Durante o treinamento o Prof. Jonathan os acompanhará com sua equipe de estagiários do curso de Educação Física da UDESC. Solicitamos autorização para o uso dos dados para a produção de artigos técnicos e científicos. A sua privacidade será mantida, pois em nenhuma hipótese divulgaremos o seu nome. Lembramos que você poderá retirar-se do estudo a qualquer momento.

Você receberá uma cópia deste termo onde consta o telefone e o e-mail dos pesquisadores envolvido para que você possa entrar em contato caso haja dúvidas. Os pesquisadores se comprometem a cumprir as exigência da resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde.

Agradecemos a sua colaboração e participação.

**TERMO DE CONSENTIMENTO**

Declaro que concordei em participar, na qualidade de participante do projeto de pesquisa intitulado “**EFEITO DO TREINAMENTO INTERVALADO DE SALTOS VERTICAIS CONTÍNUOS DE ALTA INTENSIDADE SOBRE A ECONOMIA DE CORRIDA: UM ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO**”, após estar devidamente informados sobre os objetivos, as finalidades do estudo e os termos de minha participação. Autorizo a utilização dos dados dos testes para fins de pesquisa, bem como a divulgação de seus resultados por meio de qualquer meio de divulgação, desde que seja assegurado o anonimato. Estou ciente de que não receberei nenhuma remuneração e não terei qualquer ônus financeiro (despesas) em função do meu consentimento espontâneo em participar do presente projeto de pesquisa. Independentemente deste consentimento, fica assegurado meu direito a retirar-me da pesquisa em qualquer momento e por qualquer motivo, sendo que para isso comunicarei minha decisão a um dos proponentes do projeto abaixo citados.

Nome por extenso \_\_\_\_\_ RG: \_\_\_\_\_

Assinatura \_\_\_\_\_ Florianópolis, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ .

---

Prof. Dr. Antônio Renato Pereira Moro (Pesquisador  
Responsável/Orientador)

---

Prof. Ms. Jonathan Ache Dias (Pesquisador responsável/Orientando)

**CONTATOS:**

Prof. Dr. Antônio Renato Pereira Moro / (48) 91830258 / e-mail:  
[moro@cds.ufsc.br](mailto:moro@cds.ufsc.br)

Prof. Ms. Jonathan Ache Dias / (48) 8433-5031 / e-mail:  
[jonathanache@gmail.com](mailto:jonathanache@gmail.com)

CEPSH (Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos) -UFSC  
Pró-Reitoria de Pesquisa - Biblioteca Universitária Central - Setor de  
Periódicos (térreo), atrás dos arquivos deslizantes

Contatos: (48) 3721-9206 - [cep.propesq@contato.ufsc.br](mailto:cep.propesq@contato.ufsc.br)





**APÊNDICE B - Tabela com dados referentes a verificação do erro das esteira da UDESC e da UFSC.**

## 162 Apêndice

EST	VEL(km/h)	TI (ms)	TF (ms)	$\Delta$ (ms)	$\Delta$ (s)	VEL_R(km/h)	E (%)	E_MED
1	7	39739	55021	15282	1.91	6.34	9.41	
	9	30263	42108	11845	1.48	8.18	9.09	
	11	33666	43410	9744	1.22	9.95	9.58	
	13	25291	33466	8175	1.02	11.85	8.81	9.22
2	7	27160	42409	15249	1.91	6.36	9.21	
	9	25692	37504	11812	1.48	8.20	8.84	
	11	26693	36403	9710	1.21	9.98	9.27	
	13	29529	37704	8175	1.02	11.85	8.81	9.03
3	7	40540	55822	15282	1.91	6.34	9.41	
	9	29396	41207	11811	1.48	8.21	8.83	
	11	31264	40974	9710	1.21	9.98	9.27	
	13	38238	46413	8175	1.02	11.85	8.81	9.08
4	7	48214	63496	15282	1.91	6.34	9.41	
	9	34501	46312	11811	1.48	8.21	8.83	
	11	24090	33800	9710	1.21	9.98	9.27	
	13	34000	42208	8208	1.03	11.81	9.18	9.17
5	7	18752	34000	15248	1.91	6.36	9.20	
	9	25525	37337	11812	1.48	8.20	8.84	
	11	24157	33833	9676	1.21	10.02	8.95	
	13	31164	39305	8141	1.02	11.90	8.43	8.85
6	7	41608	56823	15215	1.90	6.37	9.01	
	9	38872	50717	11845	1.48	8.18	9.09	
	11	25125	34801	9676	1.21	10.02	8.95	
	13	30697	38872	8175	1.02	11.85	8.81	8.96
ufsc	10	19552	31531	11979	1.49	10.18	-1.89	
ufsc	10	31531	43510	11979	1.49	10.18	-1.89	

EST = esteira; VEL = velocidade ajustada no painel da esteira; TI = tempo inicial, tempo do vídeo onde foi verificado o início da volta da lona; TF = tempo final, tempo do vídeo onde foi verificado que a lona deu uma volta;  $\Delta$  = diferença entre TF e TI, representa o tempo que a lona demorou para dar uma volta completa;  $\Delta C = \Delta$  corrigido para segundo; VEL\_R = velocidade real da lona segundo a análise cinemática; E = erro em relação a VEL considerando VEL\_R; E\_MED = erro médio da esteira para as velocidades 7,9,11 e 13 km.h<sup>-1</sup>.