

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO**

**EFEITOS DE DOIS PROGRAMAS DE TREINAMENTO DE FORÇA NA
EFICIÊNCIA E BIOMECÂNICA DA CORRIDA HUMANA**

Jorge Luiz Lopes Storniolo Junior

Porto Alegre, setembro de 2014.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO**

**EFEITOS DE DOIS PROGRAMAS DE TREINAMENTO DE FORÇA NA
EFICIÊNCIA E BIOMECÂNICA DA CORRIDA HUMANA**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós Graduação em Ciências do Movimento Humano, da Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof.º Dr. Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga.

Jorge Luiz Lopes Storniolo Junior

Porto Alegre, setembro de 2014.

CIP - Catalogação na Publicação

Lopes Storniolo Junior, Jorge Luiz
Efeitos de dois programas de treinamento de força
na eficiência e biomecânica da corrida humana / Jorge
Luiz Lopes Storniolo Junior. -- 2014.
102 f.

Orientador: Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Escola de Educação Física, Programa
de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano,
Porto Alegre, BR-RS, 2014.

1. Treinamento. 2. Locomoção. 3. Biomecânica. I.
Peyré-Tartaruga, Leonardo Alexandre, orient. II.
Título.

Jorge Luiz Lopes Storniolo Junior

**EFEITOS DE DOIS PROGRAMAS DE TREINAMENTO DE FORÇA NA
EFICIÊNCIA E BIOMECÂNICA DA CORRIDA HUMANA**

Comissão de avaliação:

Prof. Dr. Luiz Fernando Martins Krueel - UFRGS

Prof. Dr. Eduardo Lusa Cadore - UFRGS

Prof. Dr. Marcus Peikriszwili Tartaruga - UNICENTRO/PR

AGRADECIMENTOS

Aos professores Luiz Fernando Martins Kruehl, Eduardo Lusa Cadore e Marcus Peikriszwili Tartaruga pela colaboração no desenvolvimento do projeto e correções no trabalho final.

Aos meus colegas do grupo GPAT-Loconotion, em especial aos irmãos que levarei para vida toda, Rodrigo e Henrique, pela parceria, lealdade e apoio em todo o período de trabalho. O trio-de-ferro só evolui.

A minha chefe-amiga-orientadora-colega-irmã-“professora” (difícil descrever em uma palavra) Gabi Fischer, por “acreditar” na minha capacidade de pesquisador desde as aulas de Biomecânica e hoje servir como referência pra mim como pessoa e profissional.

Aos meus bolsistas e parceiros Jonas, Araton e Priscilla, que me ajudaram tanto com a pesquisa, quanto como orientador. Além dos amigos Pedro Schons e Léo, pela ajuda durante as coletas e treinamentos.

Ao pessoal da secretaria do LAPEX, Dani, Daiane, Gi, Marli e Luiz, que sempre com muita paciência me aturaram diversas vezes antes, durante e depois dos períodos de coletas.

Aos professores Ronei Pinto e Álvaro Oliveira pela confiança e disponibilidade nos acessos à sala de musculação da ESEF e laboratório de fisiologia, respectivamente.

À melhor amostra de corredores que eu poderia ter, pois todo o esforço que eles realizaram foram fator determinante pra conclusão desse trabalho. Meu muito obrigado.

Ao meu orientador Leonardo Tartaruga, pela referência, parceria, e toda confiança depositada no meu trabalho. Espero poder corresponder todas tuas expectativas.

Ao melhor ataque do mundo, Peralta, Chulapa, Louis e Tcheco. Sem a amizade de vocês o Romário com certeza nunca poderia se tornar artilheiro.

Aos Traíras da UFRGS, em especial: Emo, Guga (C), Chris, Broca, Rona, Ique, Josu, Gil, Xande, Pedrinho, Vô e Peri. Uma seleção dessas nem precisa de camisa 10.

À equipe do Mônaco F. C. por me proporcionar títulos e momentos de alegria durante esse curto período de tempo.

A minha avó Maria, pelo exemplo de integridade e força. Obrigado por todo o suporte, amor e compreensão.

Ao meu irmão Leonardo por sempre me ensinar quando ele pensa que está aprendendo.

Aos meus pais Jorge e Cida, por todo o amor e fonte de inspiração na profissão e na vida. São meus exemplos e por quem procuro sempre melhorar como pessoa.

“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente,
mas o que melhor se adapta às mudanças.”

Charles Darwin

RESUMO

A eficiência mecânica da corrida (Eff) é considerada um preditor de desempenho para essa atividade, pois explica características referentes à biomecânica e ao metabolismo energético do corredor. A resposta dessa variável a partir da intervenção de um treinamento ainda tem sido pouco explorada pela literatura específica. Sabe-se que o treinamento combinado de força com resistência pode influenciar positivamente no desempenho da corrida. Com isso, o objetivo do presente estudo foi comparar as respostas da Eff, economia e desempenho de corrida antes e após a inclusão de um treinamento de força máxima e força rápida de 8 semanas em corredores recreacionais. Foram selecionados 24 corredores recreacionais (19 homens, 5 mulheres), os quais foram divididos em 3 grupos submetidos a um treinamento de 8 semanas. O grupo FM, que adicionou o treinamento de força máxima ao treinamento de resistência (n = 8); grupo FR, que incluiu o treinamento de força rápida além do resistência (n = 9); e o grupo controle (C) que manteve somente o treinamento de resistência (n = 7). Os testes para variáveis biomecânicas e metabólicas foram realizados em uma esteira rolante. Para análise do desempenho, avaliou-se o tempo de prova em um circuito aberto de 5 km (t_{5km}). A Eff foi avaliada em duas intensidades (60 - Eff_{60%} - e 110% - Eff_{110%} da velocidade do $VO_{2máx}$). A Eff na maior intensidade foi definida de duas formas: assumindo componente anaeróbio (Eff_{110TOT}), e desconsiderando a participação anaeróbia como fonte de energia (Eff_{110AER}). Aplicou-se o teste de *Shapiro-Wilk* para verificar a normalidade dos dados. Utilizou-se um teste de ANOVA com medidas repetidas 3x2. Para os dados não paramétricos utilizou-se o teste de *Friedman*. Ocorrendo interação, aplicou-se o teste *Post-Hoc* de *Tukey* uma ANOVA *One-Way*. Em dados não paramétricos utilizou-se o teste *Kruskal-Wallis*. Além disso, o teste-T pareado foi utilizado para comparação intra grupos antes e após o programa de treinamento, em caso de dados não paramétricos, utilizou-se o teste de *Wilcoxon*. O tamanho do efeito foi calculado para as principais variáveis de desempenho. O alfa adotado foi de 5%. A Eff não apresentou diferenças significativas em nenhuma das intensidades e métodos calculados entre os grupos após 8 semanas de treinamento ($p > 0,05$). No entanto, apresentou um tamanho de efeito forte para FR (0,78) e moderado para FM (0,29) na Eff_{60%}. Enquanto isso, tanto para Eff_{110AER}, como para Eff_{110TOT}, ambos os grupos FM e FR apresentaram tamanho de efeito moderado: FM = 0,44 e 0,34, respectivamente; FR = 0,26 e 0,30, respectivamente. O t_{5km} apresentou diminuição significativa pré e pós-treinamento para os grupos FM e FR ($p = 0,03$ e $p = 0,02$, respectivamente). Para ECO, FR foi menor do que C ($p < 0,01$), e o grupo FM diminuiu a ECO após as 8 semanas de treinamento ($p = 0,045$). Eff não apresentou diferenças significativas nas diferentes intensidades nos grupos submetidos ao treinamento de força, o grupo FR e FM obtiveram um tamanho de efeito moderado-forte nessas respostas, que podem ser explicadas pela otimização de alguns parâmetros biomecânicos e metabólicos. O grupo FM incrementou a intensidade da $vVO_{2máx}$ e mesmo assim manteve o dispêndio metabólico, demonstrando um comportamento positivo na Eff. O grupo FR manteve a intensidade da $vVO_{2máx}$, porém, otimizou suas variáveis biomecânicas, causando um aumento na potência mecânica, sem a necessidade do acréscimo no dispêndio metabólico. Os resultados provavelmente auxiliaram na melhora significativa apresentada em uma prova de 5 km para os grupos FM e FR após 8 semanas de treinamento.

Palavras-chave: locomoção, treinamento de força, desempenho.

ABSTRACT

The mechanical efficiency of running (Eff) is considered a predictor of performance this activity because explain biomechanics and energetics characteristics of runners. This variable has been little attention of the researches influenced by training program. It is known that combined strength and endurance training may be to influence positively in the running performance, through of metabolic and biomechanical responses. The objective of the present study was to compare two strength training programs in the Eff, running economy (ECO) and performance after 8 weeks of program training. 24 recreational runners were selected (males = 19; females = 5), and subdivided into three groups submitted to 8 weeks of training. The FM group, which added the maximal strength training to the endurance training (n = 8); FR group, which was submitted to the explosive strength training to the endurance training (n = 9); and C group, which performed endurance training only (n = 7). The tests for biomechanical and metabolic variables and to posterior Eff calculation were performed on treadmill. In addition, the performance was analyzed by the 5 km time in open field (t_{5km}). The Eff was evaluated in two intensities (60% - Eff_{60%} - and 110% of VO_{2max} velocity). At the higher intensity Eff was defined of two ways: with the presence (Eff_{110TOT}) and the absence of anaerobic component (Eff_{110AER}) as energy source. The Shapiro-Wilk test was performed to verify the data normality. The repeated measures ANOVA test (3x2) was used to detect interaction between group vs time factors. In non-parametric data, was used a Friedman test. If an interaction existed, Tukey's Post-hoc test and one-way ANOVA were used. The Kruskal-Wallis test was utilized in non parametric cases. Furthermore, the paired T-test was used to compare each group before and after the strength training program. Into nonparametric data was used the Wilcoxon test. The effect size was calculated to the main performance variables. The alpha adopted was 0.05. No significant changes were observed in Eff by intensities and methods calculated between the groups after 8 weeks of training ($p > 0.05$). However, FR group showed a stronger effect size (0.78) and FM group a moderated effect size (0.29) for Eff_{60%}. Meanwhile, so much Eff_{110AER} as Eff_{110TOT}, both of groups FM and FR presented moderated effect size: FM = 0.44 and 0.34, respectively; FR = 0.26 and 0.30, respectively. The t_{5km} showed significative decrease after training for the FM e FR groups ($p = 0.03$ and $p = 0.02$, respectively). The ECO showed lower for FR than C group ($p < 0,01$), and the FM group decreased ECO after 8 weeks training ($p = 0.045$). Eff did not show significative differences in different intensities on the groups submitted to strength training, the FM and FR groups obtained a moderated-stronger effect size in this responses, which could be justified by the optimization of biomechanical and metabolic parameters in such intensity. Thus, the FM group increased the vVO_{2max} intensity and still remained the energy expenditure, showing a improve behavior in Eff. Moreover, the FR group have maintained the vVO_{2max} intensity, however the biomechanical variables were adjusted, causing a mechanical power increased without metabolic expenditure added. These results probably assisted in the significative improvement showed a 5 km race for the FM and FR groups after 8 weeks of training.

Key-words: locomotion, strength training, performance.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** O trabalho mecânico (W_{tot}) realizado por unidade de distância para caminhada e corrida (esquerda e direita, quadros inferiores) em função da velocidade, resultado da soma entre W_{ext} e W_{int} . A Eff é definida pela razão entre P_{mec} e P_{met} , tanto para caminhada, quanto corrida (esquerda e direita, quadros superiores). Fonte: adaptado de Cavagna & Kaneko (1977).....26
- Figura 2.** Quadro esquerdo: Comportamento das energias na corrida: energia mecânica do centro de massa (E_T : energia total; E_p : energia potencial; E_k : energia cinética; t (s): tempo em segundos) e tensão da mola. Quadro direito: o sistema massa-mola simulado por um *pogo-stick* ilustrando a estrutura do rebote elástico. Fonte: adaptado de Blickhan (1989).....31
- Figura 3.** Fluxograma do processo de seleção da amostra.....44
- Figura 4.** Imagem aérea referente ao trajeto (linha amarela) da prova de 5 km. Local: Campus da Escola de Educação Física/UFRGS.....50
- Figura 5.** Plano sagital direito e seus respectivos pontos referentes aos marcadores reflexivos.....52
- Figura 6.** Exemplo de consumo de oxigênio extrapolado representado pelo gráfico de VO_2 em função da intensidade de exercício ($\% VO_{2m\acute{a}x}$).....55
- Figura 7.** Comportamento da FC (linha superior) e do consumo de oxigênio (linha inferior) e seus respectivos pontos de deflexão (LV1 e LV2) durante o tempo. Nota-se que ambas as curvas apresentam pontos de quebra similares entre si. Fonte: adaptado de Hoffmann & Pokan (2010).....60
- Figura 8.** Relação volume (linha azul) e intensidade (linha vermelha) do treinamento de resistência nos 8 microciclos e as características de cada microciclo (M1-M8)...60
- Figura 9.** Economia de corrida à 60% do $VO_{2m\acute{a}x}$ (ECO) antes e após 8 semanas de treinamento e tamanho do efeito (TE) para cada grupo por indivíduo. Note que os indivíduos dos grupos FM e FR diminuem seus valores (mais econômicos), enquanto o grupo C têm os valores de ECO aumentados após o treinamento (menos econômicos). Onde C (linhas vermelhas), grupo controle; FM (linhas pretas), grupo força máxima; FR (linhas azuis), grupo força rápida.....66
- Figura 10.** Desempenho de corrida (t_{5km} , eixo y) após 8 semanas de treinamento (eixo x) para os grupos C (linha cinza), FM (linha preta) e FR (linha azul). Os asteriscos representam diferenças intra grupos ($p < 0,05$). O quadro ao lado indica o tamanho do efeito para essa variável após o treinamento em cada grupo. Dados são apresentados em médias e desvio-padrão.....67
- Figura 11.** Valores médios da Eficiência Mecânica e seus respectivos desvios padrão em três diferentes intensidades nas situações Pré e Pós-treinamento e o tamanho de efeito (TE) para cada grupo: A) 60% do $vVO_{2m\acute{a}x}$ ($Eff_{60\%}$); B) 110% do

vVO₂máx (Eff_{110AER}); C) 110% do vVO₂máx (Eff_{110TOT}). As barras brancas representam o grupo C, barras escuras o grupo FM e barras cinzas o grupo FR.....71

Figura 12. Desempenho de corrida (t_{5km} , eixo y) após 8 semanas de treinamento (eixo x) para os grupos C (linha cinza), FM (linha preta) e FR (linha azul). Asteriscos (*) representam diferenças intra grupos ($p < 0,05$). O quadro ao lado indica o tamanho do efeito para essa variável após o treinamento em cada grupo. Dados são apresentados em médias e desvio-padrão.....72

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Caracterização da amostra dos grupos Controle (C), Força Máxima (FM) e Força Rápida (FR) (média \pm desvio padrão).....44
- Tabela 2.** Programa de treinamento de força para os grupos FM e FR durante 8 semanas e o comportamento da carga (volume e intensidade) durante esse período. O asterisco (*) representa o aumento em 5% da intensidade de RM após 4 semanas.....59
- Tabela 3.** Variáveis massa corporal e % de gordura dos grupos Controle (C), Força Máxima (FM) e Força Rápida (FR) antes e após o programa de treinamento (média \pm desvio padrão).....64
- Tabela 4.** Parâmetros referentes ao $VO_{2m\acute{a}x}$ e as velocidades de $VO_{2m\acute{a}x}$ (60 e 110%) entre os grupos C, FM e FR nos momentos pré e pós-treinamento (média \pm desvio padrão).....64
- Tabela 5.** Variáveis dos treinamentos de força máxima e rápida nos momentos pré e pós-treinamento (média \pm desvio padrão).....62
- Tabela 6.** Variáveis dos treinamentos de força máxima e rápida nos momentos pré e pós-treinamento (média \pm desvio padrão).....62
- Tabela 7.** Variáveis espaço-temporais nos momentos pré e pós-treinamento em diferentes intensidades referentes à velocidade do $VO_{2m\acute{a}x}$ (média \pm desvio padrão).
.....68
- Tabela 8.** Potência mecânica (P_{mec}) e as componentes do trabalho mecânico total (W_{tot}) nos momentos pré e pós-treinamento em diferentes intensidades referentes à velocidade do $VO_{2m\acute{a}x}$ (média \pm desvio padrão).....69
- Tabela 9.** Eficiência mecânica (Eff) nas intensidades 60 e 110% da $vVO_{2m\acute{a}x}$ com duas formas de cálculo (com e sem a presença do componente anaeróbio) e o tempo de prova de 5 km (t_{5km}) nos momentos pré e pós-treinamento em diferentes intensidades referentes à velocidade do $VO_{2m\acute{a}x}$ (média \pm desvio padrão) e o tamanho do efeito (TE).....70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Sessões do treinamento de resistência (C1 - C24).....	61
--	----

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 (h).....	50
Equação 2 (FP).....	52
Equação 3 (CP).....	53
Equação 4 (tc).....	53
Equação 5 (ta).....	53
Equação 6 (E_{kv}).....	53
Equação 7 (E_{kh}).....	53
Equação 8 (E_p).....	54
Equação 9 (E_{TOT}).....	54
Equação 10 (W_{ext}).....	54
Equação 11 (W_{int}).....	54
Equação 12 (W_{ext}).....	54
Equação 13 (P_{mec}).....	54
Equação 14 ($VO_{2acumulado}$).....	57
Equação 15 (MAOD).....	57
Equação 16 (P_{met}).....	57
Equação 17 (ECO).....	57
Equação 18 (Eff_{60}).....	57
Equação 19 (Eff_{110AER}).....	57
Equação 20 (Eff_{110TOT}).....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Δt : Variação do tempo

ADP: Adenosina difosfato

ATP: Adenosina trifosfato

bpm: Batimentos por minuto

C: Grupo controle (resistência)

CAE: Ciclo alongamento-encurtamento

cm: Centímetros

CM: Centro de massa

CMJ: *Counter movement jump*

CP: Comprimento de passo

DJ: *Drop jump*

ECO: Economia de corrida

Eff: Eficiência mecânica

E_k : Energia cinética

E_{kh} : Energia cinética horizontal

E_{kv} : Energia cinética vertical

E_p : Energia potencial

FC: Frequência cardíaca

$FC_{m\acute{a}x}$: Frequência cardíaca máxima

$f_{contato}$: Frame de contato

$f_{despregue}$: Frame de despregue

FM: Grupo experimental (força máxima + resistência)

FP: Frequência de passo

FR: Grupo experimental (força rápida + resistência)

g: Aceleração da gravidade

h: Altura

J: Joule

kg: Quilograma

LV: Limiar ventilatório

LV2: Segundo limiar ventilatório

m: Metro

MAOD: Déficit máximo de oxigênio acumulado

nf: Número de *frames*

P_{mec} : Potência mecânica

P_{met} : Potência metabólica

QR: Quociente respiratório

RM: Repetição máxima

RM_{agacha} : Repetição máxima no exercício agachamento

s: Segundos

SJ: *Squat jump*

t_{5km} : Tempo total na prova de 5 km

t_a : Tempo aéreo

t_c : Tempo de contato

$t_{(exaustão)}$: Tempo de exaustão

T_v : Tempo de voo total

v: Velocidade

V_h : Velocidade horizontal

VO_2 : Consumo de oxigênio

$VO_{2\text{acumulado}}$: Consumo de oxigênio acumulado

$VO_{2\text{extrapolado}}$: Consumo de oxigênio extrapolado

$VO_{2\text{máx}}$: Consumo máximo de oxigênio

$vVO_{2\text{máx}}$: Velocidade associada ao $VO_{2\text{máx}}$

W : Watts

W_{ext} : Trabalho mecânico externo

W_{int} : Trabalho mecânico interno

W_{tot} : Trabalho mecânico total

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1. Problema de pesquisa	21
1.2. Hipótese	22
1.3. Objetivos	22
1.3.1. Objetivo geral	22
1.3.2. Objetivos específicos	22
1.4. Definição Operacional das Variáveis	23
1.4.1. Eficiência mecânica da corrida	23
1.4.2. Economia de corrida	23
1.4.3. Déficit máximo acumulado de oxigênio	23
1.4.4. Trabalho mecânico total	23
1.4.5. Frequência de passo	23
1.4.6. Comprimento de passo	23
1.4.7. Tempo de contato	23
1.4.8. Tempo aéreo	24
2. REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1. Eficiência mecânica da corrida humana	25
2.2. Avaliação biomecânica da corrida	28
2.3. Energética da corrida	32
2.3.1. Componente aeróbio	32
2.3.2. Componente anaeróbio (MAOD)	35
2.4. Treinamento combinado e o desempenho aeróbio	38
2.5. Síntese da revisão	40
3. MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1. Caracterização da pesquisa	43
3.2. População e amostra	43
3.3. Procedimentos para seleção da amostra	43
3.4. Considerações Éticas	45
3.6. Variáveis do estudo	45
3.6.1. Variáveis dependentes	45
3.6.2. Variáveis independentes	46
3.7. Procedimentos da coleta de dados	46
3.7.1. Delineamento Experimental	46
3.7.2. Familiarização	47
3.7.3. Avaliação Antropométrica	47
3.7.4. Teste máximo de esforço (VO ₂ máx)	47
3.7.5. Teste de capacidade anaeróbia	48
3.7.6. Teste de ECO	48
3.7.7. Teste de saltos verticais	48
3.7.8. Prova de corrida de 5 km	49
3.8. Tratamento dos dados	50
3.8.1. Densidade corporal	50
3.8.2. Velocidades de VO ₂ máx (60-70-80-110% vVO ₂ máx)	50
3.8.3. Altura dos saltos	50
3.8.4. 1 RM	51
3.8.5. Parâmetros Cinemáticos	51
3.8.6. Parâmetros Metabólicos	54
3.8.7. Eficiência mecânica	57

3.9. Tratamento da variável independente (programas de treinamento)	58
3.9.1. Treinamento de Força	59
3.9.2. Treinamento de Resistência	59
3.10. Tratamento estatístico	62
4. RESULTADOS	63
5. DISCUSSÃO	72
5.1. Variáveis antropométricas e neuromusculares	72
5.2. Variáveis metabólicas	73
5.3. Variáveis biomecânicas	76
5.4. Eficiência Mecânica	78
5.5. Desempenho em 5 km	81
6. CONCLUSÃO	83
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84
8. ANEXOS	101
8.1. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)	101

1. INTRODUÇÃO

A corrida humana, como atividade física, tem adquirido cada vez mais participantes com distintos objetivos, tanto para o desempenho esportivo, quanto para a aptidão física (NOVACHECK, 1998; WILKIN et al., 2012). Os benefícios desta modalidade têm sido documentados no campo da saúde através da melhora na capacidade cardiorrespiratória, na diminuição da pressão arterial crônica, assim como melhora do perfil lipídico (JAKICIC et al., 2001; STAFFILENO et al., 2001; POLITO et al., 2003). Quanto ao rendimento esportivo, o treinamento de corrida implica em maior tolerância à fadiga, maior consumo máximo de oxigênio e melhora na economia de movimento (Mc COLE et al., 2000; BILLAT et al., 2004).

Dentre eles, a economia de corrida (ECO) tem sido a principal variável de estudo para o componente metabólico. Ela representa o consumo de oxigênio despendido para percorrer determinada distância em uma intensidade submáxima de corrida, e torna-se importante ferramenta de avaliação devido à sensibilidade verificada em grupos homogêneos de treinamento (MILLET et al., 2002; TARTARUGA et al., 2004; STOREN et al., 2008; TARTARUGA et al., 2012).

Além disso, sabe-se que o treinamento de força, um tipo de exercício físico especializado no uso de máquinas, pesos livres e resistência corporal induzindo contração muscular (RATAMESS et al., 2009) tem influenciado positivamente no desempenho metabólico de corredores. Essa melhora pode estar associada a adaptações neurais e morfológicas decorrentes desse tipo de treinamento (PAAVOLAINEN et al., 1999; CAMPOS et al., 2002; SAUNDERS et al., 2006; MIKKOLA et al., 2011).

Paavolainen et al. (1999) justificaram a melhora na ECO de atletas de resistência com a intervenção do treinamento de força através de adaptações neurais decorrentes do treinamento (referente ao número de unidades motoras recrutadas durante o movimento) e à potencialização da elasticidade muscular durante a ação do ciclo alongamento-encurtamento (CAE) presente na corrida. Essas respostas estariam relacionadas com a mecânica da corrida devido à diminuição encontrada no tempo de contato (tc).

Contudo, a pesquisa de Paavolainen et al. (1999) utilizou-se apenas de um tipo de treinamento de força. Esse treinamento, reconhecido como treinamento de força rápida, possui exercícios com intensidade intermediária executados em altas

velocidades (LINNAMO et al., 2000; RATAMESS et al., 2009). Outro método de treinamento de força que apresenta evidências de influência positiva na ECO, conhecido como treinamento de força máxima, baseia-se em exercícios de alta intensidade (acima de 85% de RM) com menores volumes (4 a 6 repetições) (STOREN et al., 2008; GUGLIELMO et al., 2009). No entanto, além da influência das adaptações neurais, acredita-se que esse treinamento proporcionaria um aumento na capacidade oxidativa através da mudança no percentual de fibras rápidas não-glicolíticas para rápidas glicolíticas (STARON et al., 1991; MC CARTHY et al., 2002).

Além disso, a comparação de adaptações metabólicas após a intervenção de dois tipos de treinamento de força (máxima *versus* rápida) tem apresentado contradição de acordo com a metodologia utilizada (GUGLIELMO et al., 2009; MIKKOLA et al., 2011; TAIPALE et al., 2013; 2014; BEATTIE et al., 2014). Além dessa contradição, outra questão em aberto em relação ao treinamento de força em corredores é sobre a provável otimização do CAE e a influência deste na ECO (ARAMPATZIS et al., 2006; ALBRACHT & ARAMPATZIS, 2013). Um modo de estimar essa otimização é através da determinação da Eff (MARGARIA, 1963, CAVAGNA et al., 1977; DI PRAMPERO et al., 1986; ARAMPATZIS et al., 2006). Assim, o conceito “eficiência do movimento” tem representado essa interação, capaz de quantificar a energia despendida para realizar determinado movimento (CAVANAGH & KRAM, 1985a).

Com isso, a eficiência mecânica da corrida (Eff), definida conceitualmente como o trabalho mecânico realizado por unidade de energia despendida, serve como instrumento de avaliação para treinadores, fisiologistas e biomecânicos que trabalham com corrida e procuram o melhor desempenho para quem a pratica (CAVANAGH & KRAM, 1985a; KANEKO, 1990). Matematicamente, ela pode ser expressa como a razão entre potência mecânica (P_{mec}) e potência metabólica (P_{met}) (CAVAGNA & KANEKO, 1977). Durante a corrida, Cavagna & Kaneko (1977) encontraram altos valores de Eff, quando comparados com caminhada. Os autores justificam seus achados em relação à corrida devido ao modelo biomecânico minimizador de energia presente preponderantemente durante essa atividade. Esse modelo denomina-se massa-mola, pois representa o comportamento do centro de massa corporal durante a corrida, caracterizado por um sistema composto por uma

mola capaz de armazenar energia elástica durante o contato do pé com solo e liberá-la durante o despegue (BLICKHAN, 1989).

No entanto, não se tem conhecimento da resposta dessa variável a partir de um programa específico de treinamento apesar da importância da Eff como marcador de desempenho e economia de movimento durante a corrida (KANEKO, 1990).

Em relação ao aspecto biomecânico da Eff, alguns parâmetros espaço-temporais da corrida, como comprimento e frequência de passo (CP e FP, respectivamente) e tempos de contato e aéreo (t_c e t_a , respectivamente) têm sido analisados após a intervenção do treinamento de força (PAAVOLAINEN et al., 1999; MILLET et al., 2002). Apesar disso, ainda não se tem relatado o comportamento das energias mecânicas atuantes, e, por conseguinte, das componentes do trabalho mecânico (trabalhos interno e externo) realizado durante a corrida após a realização de um treinamento físico.

Portanto, o comportamento da Eff da corrida e, por conseguinte, de suas variáveis biomecânicas não tem sido estudada a partir da influência de um programa de treinamento físico. Sabe-se que atletas de rendimento esportivo e corredores recreacionais necessitam de análises mais específicas, com destaque às diferentes intensidades de corrida para essas variáveis. Assim, torna-se importante conhecer as respostas que metodologias de treinamento de força, rápida e máxima, produziram na eficiência do movimento durante a corrida, visto que, uma melhora parcial do componente metabólico já está documentada, sem uma análise mais aprofundada sobre o componente anaeróbio. Dessa forma, torna-se necessário compreender como os treinamentos de força rápida e máxima influenciam a Eff da corrida, e conseqüentemente o desempenho, e como seria esse comportamento em duas diferentes intensidades e formas de análise.

1.1. Problema de pesquisa

Qual será o comportamento da Eff da corrida, e de suas variáveis biomecânicas e metabólicas, antes e após, a realização de um treinamento de força rápida, comparado com o treinamento de força máxima e sem intervenção de treinamento de força, em diferentes intensidades de corrida?

1.2. Hipótese

Acredita-se que a Eff melhore em ambos os grupos submetidos aos programas de treinamento de força (máxima e rápida), influenciada pela melhora da ECO e pelo aumento da P_{mec} .

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

- Comparar os efeitos entre programas de treinamento de força máxima, força rápida, e sem programa de treinamento de força, nos parâmetros mecânicos e energéticos da corrida em duas diferentes intensidades em corredores recreacionais após 8 semanas de treinamento.

1.3.2. Objetivos específicos

- *Parâmetros metabólicos*: Determinar e comparar a ECO e o déficit máximo acumulado de oxigênio (MAOD) antes e após um programa de treinamento de força máxima, treinamento de força rápida e sem programa de treinamento de força em corredores recreacionais.

- *Parâmetros biomecânicos*: Determinar e comparar o trabalho mecânico total (W_{tot}), trabalho mecânico externo (W_{ext}), trabalho mecânico interno (W_{int}), FP, CP, t_a e t_c antes e após um programa de treinamento de força máxima, treinamento de força rápida e sem programa de treinamento de força em corredores recreacionais.

- Determinar e comparar a Eff da corrida antes e após um programa de treinamento de força máxima, treinamento de força rápida e sem programa de treinamento de força em corredores recreacionais.

- *Parâmetro de força muscular dinâmica*: Determinar e comparar o teste de 1 RM antes e após um programa de treinamento de força máxima, treinamento de força rápida e sem programa de treinamento de força em corredores recreacionais.

- *Parâmetros de força reativa*: Determinar e comparar as alturas dos saltos *squat jump* (SJ), *countermovement jump* (CMJ) e *drop jump* (DJ).

- *Parâmetros de desempenho*: Determinar e comparar o tempo em uma prova de 5 km (t_{5km}) antes e após um programa de treinamento de força máxima, treinamento de força rápida e sem programa de treinamento de força em corredores recreacionais.

1.4. Definição Operacional das Variáveis

1.4.1. Eficiência mecânica da corrida

A Eff da corrida foi considerada a razão entre potência mecânica gerada dividida pela potência metabólica despendida durante uma passada (CAVAGNA & KANEKO, 1977).

1.4.2. Economia de corrida

A ECO foi considerada o estado-estável do VO_2 mensurado em uma velocidade padronizada, subtraída pelo consumo de oxigênio em repouso e relativizada pela distância percorrida, determinada pela unidade $J.kg^{-1}.m^{-1}$ (NUMMELA et al., 2007; STOREN et al., 2008).

1.4.3. Déficit máximo acumulado de oxigênio

O déficit máximo acumulado de oxigênio (MAOD) foi considerado como o consumo de oxigênio acumulado durante intensidade associada a valores acima do consumo máximo de oxigênio (MEDBO et al., 1988).

1.4.4. Trabalho mecânico total

Foi definido como o somatório dos trabalhos externo (W_{ext}) e interno (W_{int}), os quais representam a variação de energia para elevar e acelerar o centro de massa corporal em relação ao ambiente, e acelerar os segmentos do corpo em relação ao centro de massa (W_{ext} , e W_{int} , respectivamente) (MARGARIA et al., 1963).

1.4.5. Frequência de passo

Considerado o número de passos realizado por segundo (CAVAGNA et al., 1988).

1.4.6. Comprimento de passo

Definido como a distância entre o primeiro contato do pé com o solo e o primeiro contato realizado no passo subsequente (NUMMELA et al., 2007).

1.4.7. Tempo de contato

Tempo em que o pé mantém contato com o solo durante um passo (PAAVOLAINEN et al., 1999).

1.4.8. Tempo aéreo

Tempo referente ao momento em que nenhum dos pés está em contato com o solo durante um ciclo de passo (NOVACHECK, 1998; MILLET et al., 2002).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Eficiência mecânica da corrida humana

A eficiência mecânica do movimento é determinada pela quantidade de energia metabólica despendida durante a realização de determinado movimento (CAVANAGH & KRAM, 1985a; KANEKO, 1990). Fisiologicamente ela é considerada como a conversão de energia química em energia metabólica para a realização de trabalho mecânico. No músculo, essa energia metabólica é gerada através da hidrólise da enzima ATPase, a qual catalisa adenosina trifosfato (ATP) para adenosina difosfato (ADP). A utilização dessa energia a partir da reação da ATPase permite a contração muscular (LUHTANEN et al., 1990).

Quando o movimento realizado pode ser controlado pela distância, ou pela intensidade com a qual é executado, podem-se realizar comparações entre sujeitos em relação à eficiência do movimento (KYROLÄINEN et al., 2004; BUSKO, 2005; GOROSTIAGA et al., 2010; VENTURELLI & RICHARDSON., 2013). Nesse exemplo inclui-se a corrida, a qual sua eficiência pode ser expressa como a razão da P_{mec} pela P_{met} (CAVAGNA & KANEKO, 1977). Diante disso, a P_{met} pode ser calculada através do consumo de oxigênio (calorimetria indireta), enquanto a P_{mec} através da análise de movimento (cinemetria). O cálculo dessas duas variáveis analisadas simultaneamente, e com o controle da intensidade executada, permite avaliar a Eff da corrida (CAVAGNA & KANEKO, 1977; ITO et al., 1983).

Com isso, a definição de um movimento mais eficiente durante a corrida associa-se com um menor dispêndio de energia metabólica durante a produção de movimento, ou, que esse dispêndio de energia não ocorra de forma acentuada com o aumento da intensidade de trabalho (GREGOR & KIRKENDALL, 1978). Dessa forma, componentes biomecânicos (t_c , t_a , FP e CP) e metabólicos (ECO e P_{met}) tornam-se fatores cada vez mais importantes, pois influenciam no comportamento da Eff da corrida, assim, podendo auxiliar o trabalho de treinadores, atletas e praticantes de corrida (CAVANAGH & KRAM, 1985b).

Entre as primeiras pesquisas relacionadas à Eff da corrida, destaca-se o estudo de Cavagna & Kaneko (1977). Nesse estudo os autores relatam o comportamento da Eff e de suas componentes (P_{mec} e P_{met}) em diferentes velocidades de caminhada e corrida. Os resultados apresentados demonstraram valores de Eff maiores para a corrida, e, além disso, uma tendência de aumento

dessa variável com o incremento da velocidade. Segundo os autores, tal resultado tem relação com o componente elástico presente nessa atividade (MARGARIA et al., 1963; CAVAGNA & KANEKO, 1977). Diferentemente da caminhada, a corrida possui uma característica balística, a qual permite que músculos e tendões armazenem energia elástica durante o contato e liberem parte dessa energia na segunda metade do contato do pé com o solo (BLICKHAN, 1989; CAVAGNA, 2010).

Esse mecanismo de conservação-liberação de energia elástica predomina na corrida e possui relação direta com o CAE (BLICKHAN, 1989; KOMI, 2000; FINNI et al., 2001; HENCHOZ et al., 2006). Tal ciclo auxilia esse comportamento e é potencializado nessa atividade devido à intensidade do exercício. Contrário a isso, a caminhada exerce menor intensidade nas articulações e no sistema músculo-tendão, sofrendo pouca influência da energia elástica, e com isso, apresentando

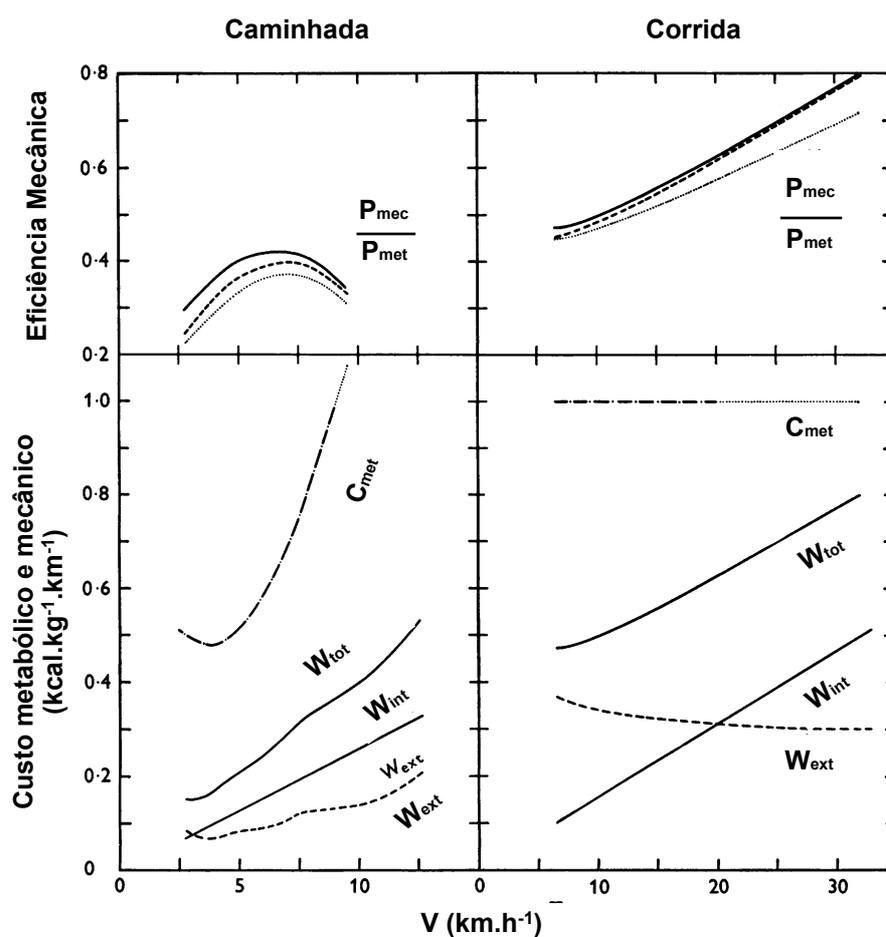


Figura 1. O trabalho mecânico (W_{tot}) realizado por unidade de distância para caminhada e corrida (esquerda e direita, quadros inferiores) em função da velocidade, resultado da soma entre W_{ext} e W_{int} . A Eff é definida pela razão entre P_{mec} e P_{met} , tanto para caminhada, quanto corrida (esquerda e direita, quadros superiores). Fonte: adaptado de Cavagna & Kaneko (1977).

menores valores de Eff em relação à corrida (figura 1) (CAVAGNA & KANEKO, 1977; ISHIKAWA et al., 2005). Essa contribuição da energia elástica na resposta da Eff pôde ser observada *in vivo* no estudo de Heglund & Cavagna (1985), os quais analisaram a contração de músculos isolados de rãs e ratos em diferentes situações: em uma mesma velocidade, com e sem a ação anterior de um pré-alongamento. Dentre elas, a contração precedida de um alongamento obteve maiores valores de eficiência muscular, confirmando a premissa da importância da energia elástica para otimização desse retorno.

Além disso, a eficiência do trabalho muscular positivo (baseado na contração muscular concêntrica) possui valores máximos correspondentes a 25% (0,25). Enquanto isso, a eficiência do trabalho negativo é próxima dos 100%, ou seja, quatro vezes mais eficiente que a contração concêntrica (HEGLUND & CAVAGNA, 1987; KYRÖLÄINEN et al., 1990). Sabe-se que o CAE presente na corrida é caracterizado por ações concêntricas precedidas por excêntricas. Diante disso, a Eff apresentada na corrida tem apresentado valores correspondentes entre 60 e 70% de conversão de energia química em energia mecânica (CAVAGNA & KANEKO, 1977). Dessa forma, o comportamento da Eff na corrida tem sido semelhante com os trabalhos realizados pelo músculo *in vivo* (HEGLUND & CAVAGNA, 1985; 1987).

No entanto, não há um consenso entre a literatura sobre o real valor da Eff diante do incremento da velocidade (CAVAGNA & KANEKO, 1977; ITO et al., 1983; KANEKO, 1990; VENTURELLI & RICHARDSON, 2013). Essa discrepância tem relação com a real contribuição dos componentes aeróbio e anaeróbio como fonte de energia para a realização do exercício (KANEKO, 1990). Tal discussão surgiu a partir de estudos realizados na década de 80, os quais acrescentaram a quantidade de energia consumida pela via anaeróbia (ITO et al., 1983; KANEKO et al., 1984). Essas pesquisas relataram que a Eff possuía um comportamento de diminuição com o incremento da velocidade, principalmente em velocidades associadas a partir do segundo limiar ventilatório (LUHTANEN, 1990). Anteriormente subestimava-se essa contribuição, não sendo inserida no cálculo da Eff, o qual apresentava aumento em seus valores associada com o acréscimo de velocidade (CAVAGNA & KANEKO, 1977).

Em estudo recente, Keir et al. (2012) quantificaram a contribuição do componente anaeróbio em corridas realizadas em diferentes intensidades (50, 70, 90 e 110% da vVO_{2pico}). Os resultados apresentaram uma maior contribuição anaeróbica na intensidade de 110% da vVO_{2pico} em relação à P_{met} (18% em relação ao total de energia consumida). Consequentemente, o valor de Eff foi significativamente menor com o aumento da velocidade, especialmente em intensidades acima da $vVO_{2máx}$ (KEIR et al., 2012). A Eff comporta-se dessa forma devido à inclusão da energia anaeróbia associada com a energia aeróbia representando o componente metabólico. Com isso, o denominador da razão do cálculo de Eff, correspondente pela P_{met} , incrementa seu valor, o que resulta na diminuição da Eff da corrida.

Dessa forma, apesar da importância da Eff como preditor de desempenho, seus resultados ainda apresentam certa discussão devido à metodologia utilizada. Sabe-se que em intensidades baixas de corrida, a representação do componente metabólico apenas pela energia advinda da rota aeróbia é aceita como representativa de Eff. Contudo, seus valores tornam-se contraditórios com o aumento da intensidade, ocasionando ainda a falta de um “padrão ouro” para o cálculo dessa variável nessa circunstância (CAVANAGH & KRAM, 1985b; LUHTANEN et al., 1990).

2.2. Avaliação biomecânica da corrida

Na prática esportiva, a biomecânica tem por objetivo estudar o padrão de determinado exercício através de análises do movimento e da resultante de forças externas atuantes na prática em questão (SAIBENE & MINETTI, 2003; GAUDINO et al., 2013). Na corrida essas avaliações podem ocorrer em ambientes externos, como pista de atletismo, ou circuitos fechados, sendo realizada em esteira rolante, ou somente utilizando uma plataforma de força. Em ambos os casos, tanto a cinemetria, como a dinamometria podem estar presentes e auxiliar na obtenção de variáveis espaço-temporais e consequentemente na avaliação de energia mecânica (FENN, 1930; CAVAGNA, 1975).

Em relação ao desempenho, a biomecânica da corrida tem ganhado destaque por fornecer informações relativas às técnicas empregadas pelos corredores em diferentes intensidades e por auxiliar no entendimento da energia metabólica

despendida durante esse movimento (NOVACHEK, 1998; KYRÖLÄINEN et al., 2001; ALEXANDER, 2003; TARTARUGA et al., 2004; 2012). A partir da análise de imagens tem sido possível estimar o comportamento da energia mecânica produzida em cada passo, o qual é obtido através da determinação de posição de marcadores reflexivos que representam os segmentos corporais (CAVAGNA, 2010).

A avaliação cinemática da corrida humana, como método de cálculo de potência mecânica, tornou-se reconhecida a partir do estudo de Fenn (1930), o qual tinha por objetivo estimar a energia mecânica produzida em um *sprint*. Nesse estudo, variáveis como aceleração e velocidade serviram como base para cálculo da potência mecânica produzida nessa atividade. Além disso, estimou-se a quantidade de energia metabólica que seria despendida em relação às características mecânicas desse movimento (ex.: aceleração dos membros, mudança de velocidade, etc.).

Com isso, a energia mecânica produzida começou a ser investigada simultaneamente com o componente metabólico da corrida em diferentes velocidades, inclinações, restrições e espécies (CAVAGNA & KANEKO, 1977; TAYLOR et al., 1980; SCHEPENS et al., 2001; ARDIGÒ et al., 2003; ABE et al., 2011). Nessa perspectiva, o trabalho mecânico total (W_{tot}) é representativo dessa energia, pois é definido como a soma entre os trabalhos externo e interno (W_{ext} e W_{int} , respectivamente). O W_{ext} representa a variação de energia mecânica do CM em relação ao ambiente e o W_{int} representa a variação de energia mecânica dos segmentos corporais em relação ao CM (CAVAGNA et al., 1976, 1977). O comportamento dessas variáveis varia conforme o aumento da velocidade e, por conseguinte, reflete na produção mecânica do movimento (CAVAGNA et al., 1976; SAIBENE & MINETTI, 2003).

O W_{ext} possui relação com a elevação e aceleração do CM em relação ao ambiente (CAVAGNA et al., 1976). Essa elevação está associada à variação de E_p , enquanto a aceleração corresponde à E_k (FENN, 1930). Ambas as equações possuem variáveis como altura (E_p) e velocidade (E_k) que correspondem à elevação e aceleração do CM, respectivamente (CAVAGNA, 2010). Similarmente, a E_k também está presente no cálculo do W_{int} , visto que ele representa a aceleração dos segmentos corporais em relação ao CM. Para o W_{int} somente os incrementos de E_k

são contabilizados, não computando a E_p (MINETTI et al., 1998; NARDELLO et al., 2011).

Essas duas energias possuem forte relação com os parâmetros espaço-temporais da corrida. Dentre elas, a FP está intimamente ligada ao W_{int} , enquanto a CP está relacionada com o W_{ext} (CAVAGNA et al., 1977). A resposta dessas variáveis pode ser influenciada pela intensidade da corrida, inclinação do terreno, por efeitos da idade e da fadiga e fatores externos, como o transporte de cargas adicionais (SCHEPENS et al., 2001; SLAWINSKI et al., 2008; ABE et al., 2011). Entretanto, não se tem conhecimento do comportamento dessa energia mecânica após a intervenção de algum tipo de treinamento físico.

Assim, a compreensão do W_{tot} e suas componentes (W_{ext} e W_{int}) auxilia o entendimento do componente metabólico dessa atividade (CAVAGNA & KANEKO, 1977; CAVAGNA et al., 1977). Além da FP e CP, o t_c e o t_a também são investigados com esse mesmo objetivo e suas análises são mais frequentes em estudos que investigam os efeitos de algum tipo de treinamento físico (PAAVOLAINEN et al., 1999; MILLET et al., 2002; CHAPMAN et al., 2012). Nessa perspectiva, NUMMELA et al., (2007) avaliaram o comportamento desses parâmetros em diferentes velocidades de corrida e sua relação com os parâmetros metabólicos. Inicialmente, somente o t_c apresentou uma relação significativa com a ECO ($r = 0,49$; $p < 0,05$) e com a velocidade de corrida máxima ($r = -0,52$; $p < 0,01$). Segundo os autores, menores t_c indicam uma maior economia de movimento devido à otimização da energia elástica associada a esse parâmetro. Contudo, as relações entre variáveis biomecânicas e metabólicas ainda são contraditórias e não possuem um consenso na literatura em relação a um comportamento otimizado do aspecto biomecânico associado com uma melhora no desempenho metabólico da corrida (WILLIAMS & CAVANAGH, 1987; KYRÖLÄINEN et al., 2001; TARTARUGA et al., 2012).

Diante disso, propõe-se um modelo físico matemático procurando compreender essa relação entre a biomecânica e o consumo de energia metabólica na corrida humana. Esse modelo é denominado massa-mola e baseia-se no comportamento do CM durante a corrida, o qual simula um sistema rígido apoiado sobre uma mola durante essa atividade (figura 2) (BLICKHAN, 1989). Além do deslocamento do CM assemelhar-se a um rebote elástico, ele indica a presença da energia elástica, além

da E_k e E_p , adicionada ao sistema e que contribui para a minimização de dispêndio de energia metabólica (SAIBENE & MINETTI, 2003).

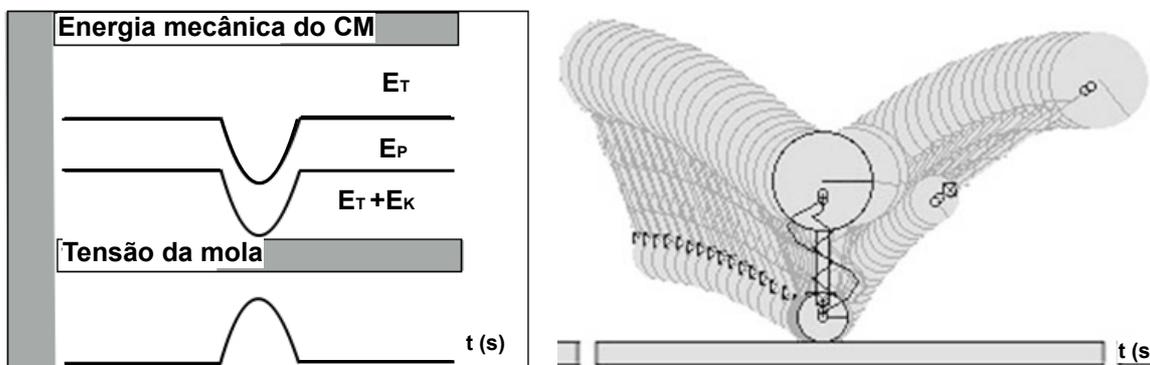


Figura 2. Quadro esquerdo: Comportamento das energias na corrida: energia mecânica do centro de massa (E_T : energia total; E_p : energia potencial; E_k : energia cinética; t (s): tempo em segundos) e tensão da mola. Quadro direito: o sistema massa-mola simulado por um *pogo-stick* ilustrando a estrutura do rebote elástico. Fonte: adaptado de Blickhan (1989).

Essa energia mecânica é armazenada no início do contato do pé com o solo e liberada durante a segunda metade desse contato até o passo seguinte (CAVAGNA, 2010). Diversos autores acreditam que o acréscimo dessa energia é responsável pela manutenção da economia de movimento, mantendo o custo de energia metabólica constante, apesar do aumento da velocidade de corrida (CAVAGNA & KANEKO, 1977; CAVAGNA et al., 1977; FARLEY & FERRIS, 1998). Eles justificam tal afirmação, pois esse tipo de energia não é encontrado de forma tão acentuada na caminhada, devido à intensidade de aplicação de força com a qual essa atividade difere, potencializando a ação do sistema musculotendíneo através do CAE, e com isso, a característica de conservação e liberação de energia elástica (KOMI, 2000; HENCHOZ et al., 2006).

Dessa forma, podem-se estabelecer associações entre o sistema massa-mola e alguns de seus componentes biomecânicos. Em um deles, sabe-se que o aumento da intensidade da corrida indica um incremento nos valores de W_{tot} (ARDIGÒ et al., 2003). Relacionado a isso ocorre uma diminuição do t_c e um aumento na FP e no CP, além do acréscimo nos valores de W_{int} . Apesar do incremento do W_{tot} , principalmente através do W_{int} , a ECO mantém-se semelhante a velocidades mais baixas (CAVAGNA & KANEKO, 1977). Essas características evidenciam a importância de procurar entender o comportamento dessas variáveis e otimizá-las. Nesse sentido, pode-se exemplificar a manutenção de um elevado CP

simultaneamente a um menor incremento na FP com o aumento da velocidade. Esse desempenho permite manter uma maior fase aérea do CM, relacionada com uma maior conservação de energia elástica, e conseqüentemente em uma maior contribuição para a questão da economia de movimento (CAVAGNA et al., 2008). Assim, há possibilidade de manter essa característica em maiores velocidades de corrida diante da influência do treinamento físico, ou até mesmo que esse comportamento ocorra em intensidades mais avançadas, contribuindo para a melhora da eficiência do movimento.

2.3. Energética da corrida

2.3.1. Componente aeróbio

A quantidade de energia metabólica despendida durante a corrida pode ser quantificada de forma máxima, através da medida do $VO_{2máx}$, ou submáxima, representada pela ECO (MAYHEW, 1977; DI PRAMPERO et al., 1986; FLETCHER et al., 2009). Ambas variáveis podem ser utilizadas e representam o desempenho da corrida do ponto de vista metabólico. No entanto, quando realizada uma comparação entre sujeitos devem-se considerar os grupos que estão sendo avaliados para utilizarem tanto o $VO_{2máx}$, quanto a ECO de forma adequada (HELGERUD, 1994; BULA et al., 2008; FLETCHER et al., 2009).

Dessa forma, quando há a comparação entre dois grupos heterogêneos para o treinamento aeróbio, com níveis diferentes, o $VO_{2máx}$ pode ser utilizado e considerado um preditor de desempenho. Contudo, essa variável não poderia indicar tal comportamento se fosse realizado uma comparação entre indivíduos homogêneos em relação ao desempenho aeróbio (FLETCHER et al., 2009). Para tanto, sabe-se que a capacidade máxima de utilização e transporte de oxigênio pelo organismo pode não predizer o melhor tempo de um atleta em uma prova. Porém, ao utilizar esse oxigênio como fonte de substrato energético para a contração muscular de uma forma mais eficiente, relativizando pela distância percorrida, ou velocidade empregada, pode-se definir um atleta mais “econômico” (SAUNDERS et al., 2004; BONACCI et al., 2009). Essa economia estaria associada com o desempenho aeróbio, pois o sujeito que consome menos oxigênio para percorrer uma mesma distância possuiria uma vantagem oxidativa em relação aos sujeitos com maior consumo em intensidades submáximas (DANIELS & DANIELS, 1992).

Diante disso, pesquisadores da área tentam compreender o comportamento de variáveis como ECO, ou custo energético da corrida em diferentes velocidades, ou intensidades determinadas a partir de limiares ventilatórios (SLAWINSKI et al., 2001; STOREN et al., 2008; HELGERUD et al., 2010). Até então, sabe-se que a ECO é definida como a quantidade de energia metabólica despendida para percorrer uma determinada distância, ou o dispêndio de energia metabólica nas mesmas velocidades submáximas (SAUNDERS et al., 2004). Essa característica permite quantificar o consumo de oxigênio líquido de cada indivíduo, devido à subtração entre o VO_2 consumido durante o exercício pelo VO_2 coletado durante o repouso (BONACCI et al., 2009). Além disso, o cálculo dessa variável pode indicar uma unidade de medida baseada em valores de energia pela distância percorrida ($J.m^{-1}$). A unidade Joule (J) indica energia e é obtida por uma equivalência estimada a partir da quantidade de ml de O_2 consumido durante a aquisição do dado (BLAXTER et al., 1989).

Durante a análise da ECO, procura-se obter o estado-estável de consumo de O_2 durante a atividade. Essa condição é verificada pela manutenção da concentração de lactato em níveis de base e por uma taxa de troca respiratória menor que 1 ($RER < 1$) (DI PRAMPERO et al., 1999). Esses valores de ECO podem variar entre corredores com similar $VO_{2máx}$. Assim, determinando uma forte relação dessa variável e o desempenho em corridas de longas distâncias (DI PRAMPERO et al., 1993; ASSUMPÇÃO et al., 2013).

Apesar de distinguir o desempenho em um grupo homogêneo de treinamento, o comportamento da ECO em diferentes velocidades de corrida mantêm-se quase constante. Ou seja, mesmo com o incremento da intensidade os valores não aumentam significativamente, demonstrando independência da velocidade realizada (HELGERUD et al., 2010). Esses achados iniciaram-se com estudos de Margaria (1938) e Margaria et al. (1963), os quais compararam o padrão de custo energético para a caminhada e a corrida em diferentes velocidades para ambas as locomoções. Desde então, pesquisadores tem procurado justificar esse comportamento constante para a corrida (CAVAGNA & KANEKO, 1977; CAVAGNA et al., 2008).

Para tanto, avaliações cinemáticas têm sido realizadas para investigar o padrão biomecânico da corrida simultaneamente com o custo metabólico gerado nas mesmas velocidades (MARGARIA et al., 1968; TAYLOR et al., 1980; KYRÖLÄINEN

et al., 2001; CHAPMAN et al., 2012). Diante disso, notou-se que a caminhada apresentava um dispêndio metabólico que diminuía, e depois aumentava com o incremento da velocidade. Ao mesmo tempo, o W_{tot} aumentava linearmente com a velocidade, e com isso, a Eff apresentava um comportamento similar a um “U” invertido (figura 1) (CAVAGNA et al., 1977). Isso ilustra a influência do modelo do pêndulo invertido, que representa o modelo mecânico minimizador de energia atuante na caminhada (SAIBENE & MINETTI, 2003). Nesse sistema, diferentemente do modelo massa-mola, presente na corrida, ocorre uma troca de predominância entre E_k e E_p durante o passo da caminhada. Essa troca, conhecida como reconversão de energia, é considerada máxima em velocidades intermediárias de caminhada, por isso o menor custo metabólico ocorre nas mesmas condições (MINETTI et al., 2002). A reconversão de uma energia para outra favorece o dispêndio metabólico, tornando o sistema mais eficiente em velocidades intermediárias ($\approx 4-5 \text{ km.h}^{-1}$). Porém, com o aumento da velocidade durante a caminhada, esse sistema não consegue manter essa reconversão na mesma magnitude, tornando a caminhada ineficiente em altas velocidades (MARGARIA, 1938; CAVAGNA & KANEKO, 1977).

Dessa forma, quando a velocidade da caminhada torna-se muito dispendiosa do ponto de vista metabólico, naturalmente a corrida é adotada devido à intensidade imposta, apresentando-se mais econômica (figura 1) (CAVAGNA & KANEKO, 1977; MAYHEW, 1977). Enquanto o modelo mecânico minimizador de energia da caminhada baseia-se entre as trocas de energia cinética e potencial (pêndulo invertido), a corrida é representada pelo sistema massa-mola, o qual as mesmas energias apresentam-se em mesma fase (BLICKHAN, 1989; FARLEY & FERRIS, 1998). Além disso, a participação da energia elástica é maior nesse sistema, auxiliando no comportamento quase constante do dispêndio metabólico durante o aumento da velocidade de corrida (ALEXANDER, 2003; CAVAGNA et al., 2008; CAVAGNA, 2010). Apesar desse comportamento, assim como na caminhada, o W_{tot} também eleva-se com o aumento da velocidade. No entanto, essa elevação não está associada com a ECO durante a corrida, e tal resultado estaria justificado pela contribuição da energia elástica para a produção de trabalho mecânico (CAVAGNA & KANEKO, 1977; HEGLUND et al., 1985).

Com isso, a corrida torna-se mais econômica do ponto de vista metabólico (ver figura 1), ao invés da caminhada com o aumento da velocidade em virtude dessa maior participação do componente elástico através do CAE (SAIBENE & MINETTI, 2003; CAVAGNA, 2010). Ao mesmo tempo, a Eff demonstra um crescimento com o incremento da velocidade, visto que o aumento no W_{tot} associado com a manutenção do componente metabólico resulta em uma resposta mais eficiente (figura 1) (CAVAGNA & KANEKO, 1977). Entretanto, essa melhora na Eff não apresenta consenso na literatura específica diante das diferenças metodológicas utilizadas entre os estudos (CAVAGNA & KANEKO, 1977; KANEKO, 1990; KEIR et al., 2012).

Inicialmente não computava-se a contribuição da energia anaeróbia para o consumo de energia metabólica. Com isso, apesar de realizarem testes em altas velocidades de corrida, correspondente a intensidades acima do segundo limiar ventilatório, subestimava-se o componente anaeróbio e sua participação no dispêndio total de energia (CAVAGNA & KANEKO, 1977; CAVANAGH & KRAM, 1985a). Assim, sabe-se que intensidades acima do segundo limiar estariam com uma maior contribuição do componente anaeróbio, pois o exercício estaria sendo realizado próximo à intensidade máxima (KEIR et al., 2012; VENTURELLI & RICHARDSON, 2013).

Diante disso, torna-se impreciso quantificar o dispêndio da energia metabólica representado somente pela ECO se a velocidade empregada durante o teste relaciona-se com uma intensidade acima do segundo limiar ventilatório (LUHTANEN et al., 1990; VENTURELLI & RICHARDSON, 2013). Consequentemente o comportamento da Eff apresenta valores lineares e positivos com o aumento da velocidade de corrida, porém, também não estariam representando o metabolismo energético anaeróbio, o qual predomina em intensidades mais altas (MARGARIA et al., 1963; KEIR et al., 2012). Com isso, subestima-se o consumo metabólico a partir de velocidades mais altas de corrida, refletindo em uma Eff superestimada, pois o W_{tot} aumenta com o incremento da velocidade e contribui para esse comportamento (CAVAGNA, 1975; CAVAGNA et al., 1977).

2.3.2. Componente anaeróbio (MAOD)

Na corrida humana a energia metabólica despendida para manter a atividade durante determinado período em baixa intensidade utiliza principalmente o oxigênio

como fonte de substrato energético (MAYHEW, 1977). Esse oxigênio auxilia no processo de fosforilação do ATP, e conseqüentemente na contração muscular para geração do movimento (DI PRAMPERO et al., 1986, 1999). Ao mesmo tempo, a contração muscular também pode ser obtida através da ressíntese de ATP pela glicólise e hidrólise da fosfocreatina sem a presença do oxigênio (BROOKS, 1985; DI PRAMPERO et al., 1999).

Sabe-se que em atividades de alta intensidade (acima do segundo limiar ventilatório) a geração de energia tem predominância do substrato anaeróbio devido à maior produção de lactato, comparado à remoção, utilizando-o como fonte para esse substrato energético (HILL et al., 1924; BROOKS & GAESSER, 1980). Essa relação entre produção e remoção de lactato sanguíneo ocorre constantemente na fibra muscular e seu resultado pode indicar a principal fonte de energia durante a atividade (DENADAI, 1995).

Di Prampero et al. (1999) relataram que em condições aeróbias constantes (baixa intensidade) a fibra utiliza o piruvato formado a partir da glicólise aeróbia para geração de energia. Dessa forma, não há necessidade de mudanças em relação à concentração de lactato, mantendo a razão entre produção/remoção similar. Contudo, com o aumento da intensidade, ocorre uma condição aeróbia desigual para a fibra, ou seja, o lactato é produzido em excesso devido à demanda do exercício e o oxigênio consumido não é o suficiente para oxidá-lo. Diante disso, a concentração de lactato no sistema sanguíneo e no meio extracelular aumenta, tornando-se a principal fonte de energia, pois ele é utilizado no ciclo de Krebs sem derivar diretamente da quebra do glicogênio por via aeróbia (DAVIS, 1985).

Com isso, eleva-se a concentração de hidrogênio livre, diminuindo o pH sanguíneo e conseqüentemente elevando a acidose. Essa acidose é considerada um indicador de fadiga para o exercício e um limitante para a sequência da atividade física (DI PRAMPERO et al., 1999). Dessa forma, a corrida realizada em velocidades acima do $VO_{2máx}$ é suportada por apenas pequenos períodos de tempo (NOORDHOF et al., 2010). Assim, a quantidade de energia liberada pela via anaeróbia, somada ao dispêndio de energia por via aeróbia, é considerada maior que o valor do consumo máximo de oxigênio ($VO_{2máx}$) (KEIR et al., 2012). Ela pode ser calculada através do equivalente energético do acúmulo de lactato, sendo validada para atividades como ciclismo, natação e corrida (LUHTANEN et al., 1990).

A energia metabólica total despendida durante a corrida em intensidades acima do $VO_{2m\acute{a}x}$ pode ser calculada obtendo algumas variáveis como: potência metabólica mensurada durante a atividade, o acúmulo de lactato após o exercício exaustivo, o valor calculado do equivalente energético de lactato, o $VO_{2m\acute{a}x}$ e o tempo constante da cinética de consumo de oxigênio (déficit de O_2) (DI PRAMPERO et al., 1999). Apesar disso, o consumo energético da corrida em altas intensidades não possui uma medida direta. O dado dessa variável é calculado e estimado, podendo diferir de acordo com a metodologia empregada para análise e processamento (HOLLMAN, 1966; BROOKS, 1985; DAVIES, 1985).

Diante disso, Medbo et al. (1988) propuseram um método para quantificar a contribuição anaeróbia no exercício intenso. Sua proposta baseava-se no cálculo do déficit máximo acumulado de oxigênio (MAOD). Essa variável é obtida a partir de uma relação linear entre a velocidade utilizada na esteira durante o teste e o consumo de oxigênio. Essa relação é extrapolada para intensidades de exercício acima da intensidade de $VO_{2m\acute{a}x}$ e a demanda de VO_2 correspondente a essas cargas de trabalho é estimada. Quando essa demanda de VO_2 é multiplicada pela duração do tempo de exercício, a demanda de VO_2 acumulado é estimada. Assim, o MAOD é calculado pela diferença entre o VO_2 acumulado durante o exercício pela demanda de VO_2 acumulado.

Dessa forma, a medida do MAOD tem sido considerada padrão ouro para representação da capacidade anaeróbia durante o exercício intenso (MEDBO et al., 1988; NOORDHOF et al., 2010), sendo utilizada em diversos exercícios, com protocolos semelhantes (BANGSBO et al., 1993; BOSQUET et al., 2008) Além disso, diversos estudos têm demonstrado a importância desse dado para o cálculo final da Eff da corrida (KANEKO, 1990; LUHTANEN et al., 1990; KEIR et al., 2012).

Portanto, com o acréscimo do componente anaeróbio, através do MAOD, o dispêndio de energia metabólica total durante o exercício elevaria. Esse aumento proporcionaria uma diferença nos dados finais de Eff, apresentando uma resposta menos eficiente para o corredor em altas intensidades, diferentemente do que é demonstrado quando somente o componente aeróbio é computado para essa análise (CAVAGNA & KANEKO, 1977; CAVANAGH & KRAM, 1985b).

2.4. Treinamento combinado e o desempenho aeróbio

O treinamento de corrida, também conhecido como treinamento de resistência, tem aumentado o número de adeptos nas últimas décadas, com o objetivo de melhorar questões ligadas à saúde através do desempenho físico (MELANSON & FREEDSON, 2001; WILKIN et al., 2012). Diante desse aumento, o perfil de corredores com maior crescimento de participantes tem sido os corredores recreacionais (NOVACHEK, 1998). Esse grupo não é composto por finalistas de maratonas, ou atletas de elite, porém, eles possuem uma rotina de treinamento aeróbio divididos aproximadamente em 30 km semanais em 3 dias distintos (ZAMPARO et al., 2001). Apesar de não utilizarem o esporte como prioridade, ou fonte de renda, os corredores recreacionais são reconhecidos pelas participações constantes em circuitos de rua entre 5 e 10 km.

Em virtude disso, treinadores e profissionais da área têm procurado alternativas para o treinamento dessa população visando a melhora no desempenho aeróbio. Atualmente, esse desempenho é representado principalmente pela ECO, a qual informa um valor referente ao custo metabólico do corredor em função da distância percorrida (MORGAN et al., 2003; SAUNDERS et al., 2004). O comportamento dessa variável tem apresentado respostas positivas com o treinamento de resistência aeróbia, contudo, sabe-se que essa melhora torna-se mais significativa com o acréscimo do treinamento de força aliado ao treinamento de resistência (HOFF et al., 2002; GUGLIELMO et al., 2009; TAIPALE et al., 2010; MIKKOLA et al., 2011).

Diante disso, o treinamento combinado, caracterizado como a combinação entre o treinamento de força com o treinamento de resistência aeróbia é reconhecido pela melhora simultânea em ambas as capacidades condicionantes (PAAVOLAINEN et al., 199; STOREN et al., 2008). Acredita-se que essa melhora simultânea estaria associada com adaptações neuromusculares decorrentes do treinamento de força (BONACCI et al., 2009). Essas adaptações ocorreriam principalmente nas primeiras semanas de treinamento, e referem-se, por exemplo, a aumentos na ativação muscular voluntária, na frequência e recrutamento de disparo das unidades motoras, os quais resultariam em incrementos em força e potência associados com aumentos na velocidade máxima e diminuição do consumo de oxigênio em velocidades submáximas (melhora de ECO) (OSTERAS et al., 2002; HEGGELUND et al., 2013).

Em relação ao tipo de treinamento de força realizado, apesar das diferenças metodológicas entre os treinamentos de força máxima e rápida, ambos os tipos estão associados com melhoras na ECO (PAAVOLAINEN et al., 1999; TAIPALE et al., 2013). Cada tipo de treinamento apresenta características distintas no volume e intensidade empregados durante o exercício e essas situações podem gerar melhoras na ECO através de diferentes adaptações neuromusculares (BONACCI et al., 2009; TAIPALE et al., 2013).

Nesse sentido, o treinamento de força máxima, através da utilização de altas intensidades e baixo volume (2-6 repetições a partir de 85% da RM) durante a sessão de treino torna-se responsável pelos maiores incrementos na produção de força dinâmica em jovens ativos (CAMPOS et al., 2002; MILLET et al., 2002; STOREN et al., 2008). Essa maior produção de força caracteriza-se principalmente pela melhora na atividade neural (ex.: aumento do recrutamento e sincronização das unidades motoras) (HICKSON et al., 1988; BONACCI et al., 2009). De fato, essas adaptações podem ser percebidas através da análise de cada passo durante a corrida. A economia estaria representada pela diminuição da taxa de aplicação de força em cada ciclo de passo realizada na mesma velocidade de corrida após a intervenção (ex.: diminuição de 50%, para 35% da força corporal aplicada) (HICKSON et al., 1988).

Enquanto isso, o treinamento de força rápida possui intensidades e volume intermediários (10-12 repetições e 60-85% de 1 RM), porém destaca-se em relação aos outros tipos de treinamento devido a alta velocidade empregada durante a realização do exercício (TURNER et al., 2003; SAUNDERS et al., 2006). Além disso, ele também pode ser executado através do treinamento pliométrico, o qual consiste em um programa de exercícios que realiza a contração excêntrica precedida da concêntrica de forma rápida. Dessa forma, o CAE também está presente predominantemente nesse tipo de treinamento de força, podendo-se relacionar com a prática da corrida (KYRÖLÄINEN et al., 2004).

Além do incremento no desempenho aeróbio com a inclusão tanto do treinamento de força máxima, quanto de força rápida, o tipo de treinamento de realizado pode apresentar diferença na magnitude dessa resposta (GUGLIELMO et al., 2009; TAIPALE et al., 2010; MIKKOLA et al., 2011). Guglielmo et al. (2009) compararam a influência de dois treinamentos de força (força máxima vs força

rápida) e demonstraram que o grupo de corredores que incluiu o treinamento de força máxima em sua rotina de treinamento apresentou uma maior influência na ECO após 4 semanas de treinamento (7% vs 2%). Segundo os autores, esse resultado é um reflexo da característica do treinamento de força máxima, o qual potencializa adaptações neurais e nas fibras do tipo IIa. Essas fibras caracterizam-se pela contração rápida, com fonte primária de energia oxidativa-glicolítica (anaeróbia) (Mc CARTHY et al., 2002). Porém, elas são consideradas intermediárias entre as fibras do tipo I (lenta, oxidativa) e IIx (rápida, glicolítica).

Com isso, apesar do treinamento de força apresentar principalmente o dispêndio energético por via anaeróbia, acredita-se que o treinamento de força máxima é capaz de ampliar o percentual de fibras do tipo IIa (AAGAARD et al., 2011; FURRER et al., 2013). Esse fator facilitaria as características oxidativas do músculo através da densidade mitocondrial e transporte de oxigênio (FURRER et al., 2013).

Por outro lado, a inclusão do treinamento de força rápida aliado ao treinamento de resistência promoveria adaptações específicas ao componente neuromuscular da corrida, como melhor sincronização de unidades motoras, diminuição de co-contrações na musculatura de membros inferiores e maior ativação no componente elástico (sistema massa-mola). Essas características têm sido associadas com a melhora no desempenho de tempo de prova (PAAVOLAINEN et al., 1999; SPURRS et al., 2003; BERRYMAN et al., 2010).

Essas mudanças em relação ao desempenho metabólico podem estar relacionadas à biomecânica do movimento e conseqüentemente ao padrão da corrida (MILLET et al., 2002; CHAPMAN et al., 2012). No entanto, ainda não há um consenso na literatura acerca de um comportamento para esse tipo de mudança e sua influência na resposta para a Eff em corredores recreacionais.

2.5. Síntese da revisão

A Eff da corrida é considerada uma variável para o desempenho devido à sua capacidade em quantificar o total de energia metabólica despendida para a produção de movimento (CAVAGNA & KANEKO, 1977; CAVANAGH & KRAM, 1985a; KEIR et al., 2012). No entanto, essa variável ainda tem sido pouco utilizada na predição de desempenho devido à inconsistência em seus valores com o aumento da velocidade da corrida (CAVAGNA & KANEKO, 1977; ITO et al., 1983;

LUHTANEN et al., 1990; KANEKO, 1990; KEIR et al., 2012). A diferença nesses resultados ocorreram devido ao método de cálculo empregado para Eff, o qual pode assumir ambos os metabolismos aeróbio e anaeróbio, ou somente o aeróbio para o consumo de energia metabólica (LUHTANEN et al., 1990; KANEKO, 1990; KEIR et al., 2012).

Além da Eff, a ECO também é capaz de determinar rendimento esportivo através da quantificação do dispêndio metabólico pela distância percorrida (SAUNDERS et al., 2004; FOSTER & LUCIA, 2007). E, devido a sua praticidade, por abranger somente a análise metabólica, ela tem sido alvo de diversos estudos que analisam a influência do treinamento físico para a economia de movimento (BILLAT et al., 2001; BENEKE & HUTLER, 2005; BEATTIE et al., 2014).

Com o objetivo de incrementar a ECO, o treinamento de força tem sido utilizado e correspondido de forma positiva, tanto para o treinamento de força máxima, quanto para o treinamento de força rápida (PAAVOLAINEN et al., 1999; MILLET et al., 2002; STOREN et al., 2008; GUGLIELMO et al., 2009; TAIPALE et al., 2010; MIKKOLA et al., 2011; SEDANO et al., 2013; BEATTIE et al., 2014). Além do aumento do componente da força, a melhora da ECO torna-se evidente após as primeiras semanas de treinamento e está associada a adaptações neuromusculares: i) maior sincronização, ii) taxa de ativação, iii) frequência de disparo de unidades motoras, iv) aumento no componente oxidativo de fibras de contração predominantemente rápida (conversão de IIx para IIa), além de v) aumento na taxa de produção de força dinâmica máxima e adaptações na rigidez do sistema músculo-tendão (LINNAMO et al., 2000; McCARTY et al., 2002; HEGGELUND et al., 2013; ARAMPATZIS et al., 2013; BEATTIE et al., 2014).

Além disso, ainda existem lacunas na literatura específica acerca das respostas do MAOD após a inclusão do treinamento de força. Apesar de apresentar melhoras nos resultados referentes a testes práticos (testes de velocidade máxima, sprints e habilidade para manter altas velocidades), a medida do consumo de energia anaeróbia não tem sido avaliada e comparada após adição do treinamento de força (PAAVOLAINEN et al., 1999; MIKKOLA et al., 2007; TAIPALE et al., 2013).

Contudo, apesar de influências positivas no componente metabólico (melhor ECO e velocidade associada $VO_{2\text{máx}} - vVO_{2\text{máx}}$), ainda é pouco explorado o resultado de variáveis biomecânicas (variáveis espaço-temporais: tc, ta, FP e CP) e

componentes da potência mecânica (P_{mec}) após a inclusão de um treinamento de força. Dos resultados existentes, esses parâmetros explicam pouco sobre a variação na ECO com a influência do treinamento (PAAVOLAINEN et al., 1999; MILLET et al., 2002).

Ao analisar o rendimento de um corredor, sabe-se que a melhora do desempenho em provas de curtas distâncias (5-10 km) pode estar associada com a adição de um dos treinamentos de força, máxima, ou rápida (PAAVOLAINEN et al., 1999; SPURRS et al., 2003; STOREN et al., 2008; SEDANO et al., 2013; RAMÍREZ-CAMPILLO et al., 2014). Apesar dessas adaptações positivas para o desempenho, em conjunto com a ECO, ainda são escassos estudos que respondam a influência desses treinamentos nas respostas da Eff e conseqüentemente sua relação com o tempo de prova. Dessa forma, torna-se importante quantificar simultaneamente os componentes biomecânicos e metabólicos da corrida e verificar especificamente a influência de cada treinamento de força.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Caracterização da pesquisa

Esta pesquisa caracteriza-se como um *ensaio clínico randomizado* e quantitativa (CAMPBELL & STANLEY, 1979).

3.2. População e amostra

Para o estudo, calculou-se o número amostral com base nos estudos de Mikkola et al. (2011) e Taipale et al. (2010). Optou-se por estes estudos para o cálculo amostral por apresentarem variável semelhante ao do presente estudo (ECO), contendo a mesma divisão de grupos e metodologia de treinamento empregada. O cálculo foi realizado para amostras emparelhadas através do programa *G-Power* sendo adotado um nível de significância de 0,05, um poder estatístico de 90% e um coeficiente de correlação de 0,9 para todas as variáveis. Com base nos desvios-padrão e nas diferenças entre as médias obtidas dos estudos anteriormente citados, os cálculos realizados demonstraram a necessidade de um número de no mínimo 8 indivíduos para cada grupo estudado ($n = 24$).

3.3. Procedimentos para seleção da amostra

Os indivíduos foram selecionados por voluntariedade e através de anúncio veiculado em um jornal de grande circulação da cidade de Porto Alegre. Os critérios para inclusão da amostra foram indivíduos saudáveis, fisicamente ativos, sem lesões musculoesqueléticas, sem patologias cardiovasculares ou respiratórias e contendo um volume de treinamento de corrida (resistência) abrangendo 15-20 km.semana⁻¹ e sem histórico com treinamento de resistência por no mínimo 6 meses. Além disso, deveriam estar entre uma faixa de idade abrangendo 18-40 anos.

Os selecionados compareceram ao Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX) da Escola de Educação Física da UFRGS, para preenchimento da ficha de dados pessoais e para leitura e assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) (anexo 1).

O número correspondente ao tamanho da amostra final em cada grupo é apresentado através do fluxograma (figura 3).

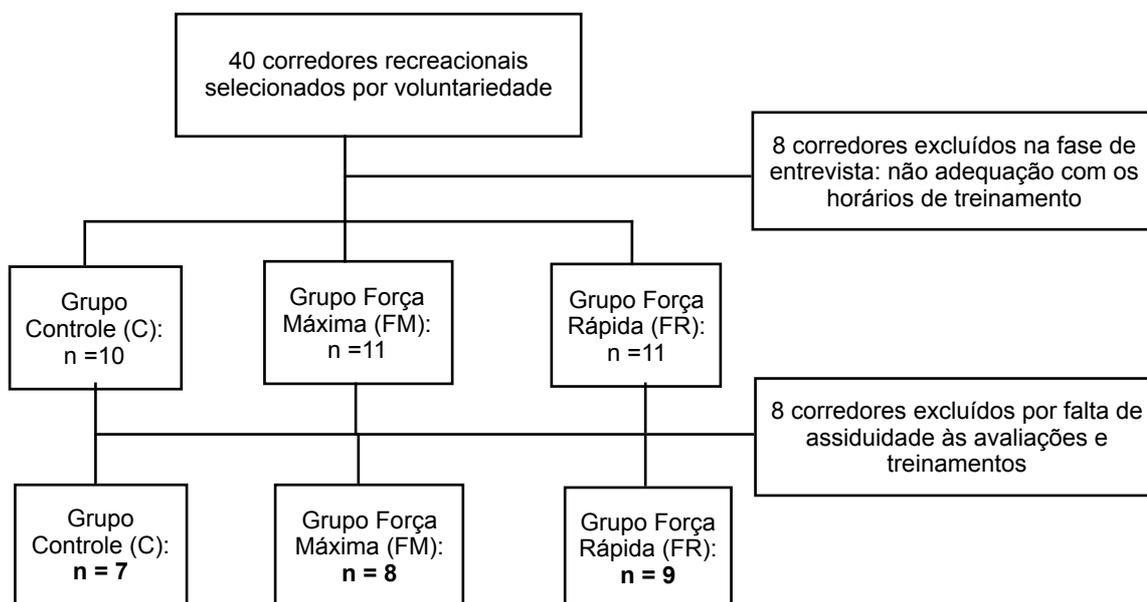


Figura 3. Fluxograma do processo de seleção da amostra.

Os indivíduos foram divididos randomicamente de forma eletrônica e cega (com a participação de pesquisador convidado) entre cada grupo, os quais participaram de programas de treinamento distintos. Finalizaram o treinamento um total de 24 indivíduos (19 do sexo masculino, 5 do sexo feminino) (figura 3). A tabela 1 indica a caracterização da amostra.

Tabela 1. Caracterização da amostrados grupos Controle (C), Força Máxima (FM) e Força Rápida (FR) (média \pm desvio padrão).

	Idade (anos)	Massa corporal (kg)	Estatura (cm)
C (n = 7)	29,9 \pm 7,4	72,7 \pm 18,4	171,0 \pm 6,5
FM (n = 8)	24,9 \pm 3,8	77,0 \pm 5,0	178,5 \pm 4,5
FR (n = 9)	24,8 \pm 2,8	76,2 \pm 20,0	175,1 \pm 13,2

3.4 Considerações Éticas

Todos os participantes da pesquisa assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido contendo informações pertinentes ao experimento e assegurando também sua privacidade. O estudo atendeu a resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde, a qual aprova as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos e pelo qual é apoiada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS.

O projeto de pesquisa foi aprovado no Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS nº 24677313.9.0000.5347.

3.6. Variáveis do estudo

3.6.1. Variáveis dependentes

- Eficiência mecânica durante intensidade submáxima, Eff_{60} ;
- Eficiência mecânica durante intensidade referente à 110% da $vVO_{2máx}$ assumindo somente fonte de energia aeróbia, Eff_{110AER} ;
- Eficiência mecânica durante intensidade referente à 110% da $vVO_{2máx}$ assumindo metabolismo aeróbio e anaeróbio, Eff_{110TOT} ;
- Economia de corrida durante teste referente à 60% do $VO_{2máx}$, ECO ($J.kg^{-1}.m^{-1}$);
- Potência metabólica durante teste referente à 60% do $VO_{2máx}$, P_{met60} ($W.kg^{-1}$);
- Potência metabólica durante teste referente à 110% do $VO_{2máx}$, assumindo somente componente aeróbio, P_{metAER} ($W.kg^{-1}$);
- Potência metabólica durante teste referente à 110% do $VO_{2máx}$, assumindo componente anaeróbio, $P_{metANAER}$ ($W.kg^{-1}$);
- Trabalho mecânico total à 60% e 110% do $VO_{2máx}$, $W_{tot60\%}$ e $W_{tot110\%}$ ($J.kg^{-1}$);
- Trabalho interno à 60% e 110% do $VO_{2máx}$, $W_{int60\%}$ e $W_{int110\%}$ ($J.kg^{-1}$);
- Trabalho externo à 60% e 110% do $VO_{2máx}$, $W_{ext60\%}$ e $W_{ext110\%}$ ($J.kg^{-1}$);
- Potência mecânica à 60% e 110% do $VO_{2máx}$, $P_{mec60\%}$ e $P_{mec110\%}$ ($W.kg^{-1}$);
- Frequência de passo à 60% e 110% do $VO_{2máx}$, $FP_{60\%}$ e $FP_{110\%}$ (Hz);
- Comprimento de passo à 60% e 110% do $VO_{2máx}$, $CP_{60\%}$ e $CP_{110\%}$ (m);
- Tempo de contato à 60% e 110% do $VO_{2máx}$, $tc_{60\%}$ e $tc_{110\%}$ (ms);
- Tempo aéreo à 60% e 110% do $VO_{2máx}$, $ta_{60\%}$ e $ta_{110\%}$ (ms);
- Altura do salto com contra-movimento, $hCMJ$ (m);
- Altura do salto sem contra-movimento, hSJ (m);

- Altura do salto a partir de uma queda, hDJ (m);
- Massa corporal (kg);
- Percentual de gordura (%);
- 1RM agachamento, RM_{agacha} (kg);
- Consumo máximo de oxigênio ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$);
- Velocidade associada à 60% do $VO_{2m\acute{a}x}$ ($km \cdot h^{-1}$);
- Velocidade associada à 100% do $VO_{2m\acute{a}x}$ ($km \cdot h^{-1}$);
- Velocidade associada à 110% do $VO_{2m\acute{a}x}$ ($km \cdot h^{-1}$);
- Tempo de prova de 5 km, t_{5km} (s).

3.6.2. Variáveis independentes

3.6.2. a) Grupo – três grupos:

- Treinamento de resistência e força rápida (FR),
- Treinamento de resistência e força máxima (FM) e
- Treinamento de resistência (C).

3.6.2. b) Tempo – dois períodos:

- Antes do programa de treinamento (Pré),
- Após 8 semanas de treinamento (Pós).

3.7. Procedimentos da coleta de dados

3.7.1. Delineamento Experimental

As coletas de dados ocorreram no LAPEX da UFRGS, onde os indivíduos compareceram em quatro sessões diferentes durante dois momentos distintos (pré e pós-treinamento de 8 semanas). Elas possuíam a seguinte ordem:

- **Sessão 1:** Caracterização, familiarização da amostra, avaliação antropométrica e teste máximo de esforço;
- **Sessão 2:** Teste de economia de corrida e capacidade anaeróbia (ECO e MAOD);
- **Sessão 3:** Teste de saltos verticais com contramovimento (CMJ), sem contramovimento (SJ) e a partir de uma altura (DJ).
- **Sessão 4:** Prova de 5 km.

3.7.2. Familiarização

Os indivíduos iniciaram um processo de familiarização correndo na esteira rolante (QUINTON, ST55, New York-EUA). A intensidade aumentou similarmente ao teste máximo, porém foi finalizado em intensidade submáxima. Além disso, familiarizou-se a utilização da máscara de neoprene utilizado para esse teste.

3.7.3. Avaliação Antropométrica

A avaliação antropométrica consistiu nas medidas de massa corporal, estatura, dobras cutâneas e circunferências dos segmentos corporais.

Inicialmente realizou-se a medida da estatura, realizada com o indivíduo sobre o estadiômetro (FILIZOLA, São Paulo-BRA) em posição ortostática e com os pés descalços, os indivíduos deveriam manter o tubérculo auricular perpendicular à linha dos olhos.

A medida da massa corporal foi realizada sobre uma balança eletrônica (FILIZOLA, São Paulo-BRA) em posição ortostática, com os pés descalços, utilizando somente calção (homens) e top e short (mulheres).

Por fim, coletava-se a medida de 8 dobras cutâneas (tríceps, subescapular, peitoral, axilar média, supra-ílfaca, abdominal, coxa e perna) com a utilização de um adipômetro (FILIZOLA, São Paulo-BRA) e de 7 circunferências (braço relaxado, braço contraído, peitoral, umbilical, quadril, coxa e perna) com o uso de uma fita métrica. Todas as medidas foram realizadas com mesma ordem e repetidas três vezes. Utilizou-se o menor valor, entre dois valores próximos, como resultado de cada medida.

3.7.4. Teste máximo de esforço ($VO_{2máx}$)

O teste de $VO_{2máx}$ teve por objetivo determinar o consumo máximo de oxigênio, os limiares ventilatórios (LV) e a frequência cardíaca máxima ($FC_{máx}$) (monitor cardíaco (POLAR FT4, Kempele-FIN)) para caracterização amostral e determinação das velocidades de corrida sub e supra máximas, resultando em valores de ECO e capacidade anaeróbia, respectivamente.

Antes do início da sessão o ergoespirômetro (MEDGRAPHICS – *Cardiorespiratory Diagnostic System* (MGC/CPX, Saint Paul-EUA) com *software* Breeze 3.06) foi ligado para aquecimento das células de análise de gases e calibração por aproximadamente 30 minutos. Enquanto isso, os indivíduos

colocaram um sensor de frequência cardíaca e máscara de coleta de gases. Após a calibração, foi realizada a medida do consumo de oxigênio em repouso com duração de 5 minutos na posição ortostática. Para confirmação do início do teste, a taxa de troca respiratória deveria estar abaixo de 0,65.

Finalizado o protocolo de repouso, iniciou-se o teste de $VO_{2\text{máx}}$ realizado com cargas progressivas na esteira rolante. A intensidade inicial foi de 8 km.h⁻¹, com incremento de 1 km.h⁻¹ a cada 1 minuto, com inclinação fixa em 1% (JONES & DOUST, 1996). A frequência de amostragem do ergoespirômetro foi obtida a cada respiração (*breath by breath*).

Determinantes foram utilizados para validação do teste, como a presença de um platô de consumo de oxigênio em dois estágios consecutivos e a taxa de troca respiratória maior que 1,1 (HOWLEY et al., 1995; HSI et al., 1998). Todos os indivíduos foram incentivados verbalmente a realizarem o melhor desempenho possível.

3.7.5. Teste de capacidade anaeróbia

A capacidade anaeróbia foi estimada através do teste de MAOD realizado em esteira rolante (Scott et al., 1991; Dal Pupo et al., 2013). A velocidade inicial correspondeu a 10 km.h⁻¹ e os indivíduos permaneciam correndo durante 5 minutos nessa velocidade. Logo após isso, cada um dos indivíduos realizou três esforços submáximos durante 6 minutos em velocidades correspondentes a 60, 70 e 80% da velocidade relacionada ao $VO_{2\text{máx}}$. A execução dessas intensidades ocorreu em ordem aleatória, e, quando finalizadas, um último esforço foi realizado em velocidade supramáxima a 110% da velocidade do $VO_{2\text{máx}}$ até a exaustão do indivíduo ($t_{\text{(exaustão)}}$). Entre cada teste houve um intervalo com o tempo de 10 minutos.

3.7.6. Teste de ECO

A variável ECO foi mensurada na intensidade referente à 60% da $vVO_{2\text{máx}}$.

3.7.7. Teste de saltos verticais

Os indivíduos realizaram um aquecimento de 5 repetições de forma submáxima reproduzindo cada salto (SJ, CMJ e DJ) anteriormente aos testes.

Os testes ocorreram em um piso rígido e foram filmados através de câmera de alta definição (CASIO (EX-FH25), Tóquio-JAP, frequência de amostragem de 120 Hz). A câmera esteve posicionada 3 m perpendicularmente ao indivíduo para captura do plano sagital esquerdo. Cada indivíduo realizou 3 tentativas para cada salto de forma máxima e a melhor altura para cada uma delas foi computada para análise. A ordem dos testes foi randomizada eletronicamente.

O teste SJ partiu de uma posição de flexão de joelhos e de quadril em 90°. Após o comando sonoro o indivíduo saltou sem que ocorresse contra movimento dos membros inferiores anteriormente ao salto.

O teste CMJ partiu da posição neutra, e após o comando sonoro o indivíduo deveria realizar uma flexão de joelhos e quadril de forma rápida (até aproximadamente 90°) seguida da extensão dessas articulações para realização do salto. Dois avaliadores supervisionaram o teste e o ângulo de flexão das articulações (máximo 90°) para validação do teste.

O teste DJ ocorreu a partir de um banco de altura conhecida (40 cm). Os indivíduos deveriam cair do banco, atingir o solo com os dois pés ao mesmo tempo e saltar com maior altura possível.

Foram determinados 5 min de intervalos entre os testes.

Em todos os testes os indivíduos deveriam estar com as mãos na cintura para validação dos saltos.

3.7.8. Prova de corrida de 5 km

Todos os indivíduos realizaram uma prova de corrida de 5 km no mesmo dia. A prova foi realizada no circuito fechado do campus da Escola de Educação Física da UFRGS (figura 4). Eles percorreram um total de 4 voltas no circuito que possui 1,25 km e foram incentivados a realizarem no menor tempo possível. Analisou-se o tempo de cada indivíduo na realização da prova mensurado através de cronômetro.



Figura 4. Imagem aérea referente ao trajeto (linha amarela) da prova de 5 km. Local: Campus da Escola de Educação Física/UFRGS.

3.8. Tratamento dos dados

3.8.1. Densidade corporal

O percentual de gordura foi calculado a partir da estimativa da densidade corporal avaliada através das 8 dobras cutâneas coletadas (Jackson & Pollock, 1980).

3.8.2. Velocidades de $VO_{2m\acute{a}x}$ (60-70-80-110% $vVO_{2m\acute{a}x}$)

Determinadas a partir das intensidades 60, 70, 80 e 110% do $VO_{2m\acute{a}x}$. Para cada intensidade foi calculada a velocidade percentual, tendo como base a $vVO_{2m\acute{a}x}$ associada à intensidade máxima (100%).

3.8.3. Altura dos saltos

As alturas de cada salto foram calculadas a partir do tempo de voo (T_v). Primeiramente calculou-se a diferença entre o primeiro *frame* de contato do pé esquerdo após o salto e o último *frame* de despegue do pé esquerdo antes do salto. O produto entre essa diferença com a variação do tempo correspondente à frequência de amostragem da câmera (0,01) foi considerado o T_v (s). Essa variável foi utilizada na equação para altura de cada salto (h), baseada em Bosco et al. (1983):

Equação 1

$$h = \frac{g \cdot T_v^2}{8}$$

Onde g representa a aceleração gravitacional ($= 9,81 \text{ m.s}^{-2}$).

3.8.4. 1 RM

O teste de 1 RM foi executado para os exercícios que controlaram a intensidade de suas cargas a partir do valor máximo fornecido pelo teste (agachamento e *leg press* 45° e flexão de joelhos).

Para aplicação do teste os indivíduos realizaram um aquecimento (10 repetições) com cargas submáximas. Finalizado esse procedimento, os indivíduos executaram o maior número de repetições possível para cada exercício. Um total de 5 tentativas foi disponível para alcançar somente uma repetição de forma máxima, sem o alcance de uma segunda repetição de forma completa. Enquanto isso, todas as tentativas foram executadas com períodos semelhantes de 2 segundos durante as ações concêntrica e excêntrica controladas por metrônomo digital (KORG, Tóquio-JAP) (SMITH et al., 1998). O intervalo de recuperação entre as tentativas foi de 5 minutos.

3.8.5. Parâmetros Cinemáticos

A digitalização das imagens consistiu na localização de determinados pontos, quadro a quadro, para identificar sua trajetória no decorrer da imagem e assim determinar suas coordenadas espaciais. Realizou-se a reconstrução tridimensional das imagens já digitalizadas e com este procedimento as coordenadas adimensionais foram reconvertidas em coordenadas métricas.

Foram digitalizados 9 marcadores reflexivos de cada lado do corpo (totalizando 18 marcadores), colocados em pontos anatômicos de interesse (Figura 4). Cada marcador reflexivo foi filmado pelo menos por duas câmeras (sistema de análise de movimento tridimensional (*Vicon System*, Los Angeles-EUA) composto por 6 câmeras infravermelho com frequência de amostragem (3 Bonita, Los Angeles-EUA e 3 Bonita10, Los Angeles-EUA) de 100 Hz e computador Dell (XPS 8700, Round Rock-EUA)) a cada lado do corpo para possibilitar a posterior reconstrução das coordenadas (software NEXUS 1.8).

Os arquivos reconstruídos forneceram uma matriz de 31 colunas, a primeira referente ao número do quadro da imagem, a segunda ao eixo x, a terceira ao eixo y e a quarta ao eixo z de cada ponto.

O W_{tot} foi determinado a partir de rotinas matemáticas desenvolvidas no software *LABVIEW 2013*. As análises cinemáticas foram correspondentes às análises metabólicas. Portanto, as medidas ocorreram nas velocidades referentes à 110% e 60% do $VO_{2máx}$. Ao total, foram analisadas 10 passadas para cada intensidade.

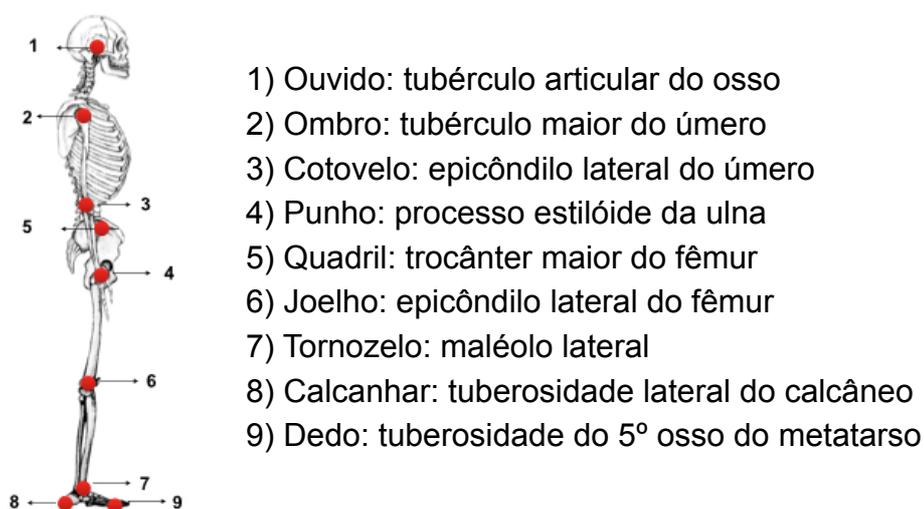


Figura 5. Plano sagital direito e seus respectivos pontos referentes aos marcadores reflexivos.

- **Frequência de passo (FP):** Digitalizou-se o primeiro contato do pé (calcânhar) com o solo até o despregue da décima primeira passada. O valor 1 foi dividido pelo produto do número de *frames* (*nf*) digitalizados a cada dois passos foi dividido pela variação do tempo (Δt) de cada frame (0,01 s) do mesmo período, resultando na frequência de passo do indivíduo. O valor médio da FP foi calculado a partir dos 20 valores encontrados.

Equação 2

$$FP = \frac{1}{nf \cdot \Delta t}$$

- **Comprimento de passo (CP):** Obteve-se através da equação contendo V_h , representando a velocidade horizontal e FP.

Equação 3

$$CP = V_h / FP$$

- **Tempo de contato (tc):** Foi determinado a partir da média dos contatos de ambos os pés com a esteira rolante. Foram contabilizados um total de 20 passos em sequência.

Equação 4

$$tc = (f_{despregue} - f_{contato}) \cdot \Delta t$$

Onde, $f_{despregue}$ representa o *frame* indicando o momento do último contato do pé, enquanto $f_{contato}$ é representativo ao *frame* durante o primeiro contato do pé com a esteira.

- **Tempo aéreo (ta):** Foi representado pela diferença entre os *frames* correspondentes ao primeiro contato de um pé ($f_{contato}$) e do despregue do pé subsequente ($f_{despregue}$). Assim como o tc, o ta também foi analisado a partir da média composta por 20 passos.

Equação 5

$$ta = (f_{contato} - f_{despregue}) \cdot \Delta t$$

3.8.5.1 Trabalho mecânico e Potência mecânica

Dos valores de velocidade horizontal do CM (V_h) (definido pela variação de deslocamento horizontal de posição do CM pela variação do tempo das passadas analisadas) da velocidade vertical (V_v) (obtida pela divisão entre o deslocamento vertical do CM pela variação de tempo), a energia cinética horizontal (E_{kh}) e vertical (E_{kv}) foram calculadas respectivamente. A soma dos incrementos positivos da energia cinética total foi o trabalho positivo necessário para acelerar o centro de massa corporal.

Energia cinética vertical:

Equação 6

$$E_{kv} = 0.5(m.V_v^2)$$

Energia cinética horizontal:

Equação 7

$$E_{kh} = 0.5(m.V_h^2)$$

Onde, m representa a massa corporal (kg).

Dos valores de deslocamento vertical do CM, obtidos pela cinemetria, a E_p pôde ser calculada. O trabalho positivo contra a gravidade foi determinado pela soma dos incrementos de energia potencial, onde h representou a altura do CM em relação ao solo.

Energia potencial gravitacional:

Equação 8
$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Onde, g , representa a aceleração gravitacional ($= 9,81 \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$).

A energia mecânica total foi obtida pela adição das energias cinética, vertical e horizontal, e potencial.

Equação 9
$$E_{tot} = E_p + E_{kv} + E_{kh}$$

Logo, o trabalho mecânico para elevar e acelerar o centro de massa em relação ao ambiente externo foi obtido através da soma dos incrementos positivos de energia total.

Equação 10
$$W_{ext} = \Delta E_{tot}$$

O trabalho mecânico interno foi estimado através da fórmula (NARDELLO et al., 2010):

Equação 11
$$W_{int} = 0,08 \cdot FP \cdot V_{mean} \left(1 + \left(\frac{t_c \%}{1 - t_c \%} \right)^2 \right)$$

Onde, V_{mean} é a velocidade média da corrida e o $t_c\%$ é o t_c expresso como uma fração da passada.

O trabalho mecânico total foi calculado como:

Equação 12
$$W_{tot} = |W_{ext}| + |W_{int}|$$

Por fim, a potência mecânica total foi definida como:

Equação 13
$$P_{mec} = W_{tot} \cdot V_h$$

3.8.6. Parâmetros Metabólicos

Cada parâmetro metabólico foi analisado para as intensidades 60% e 110%

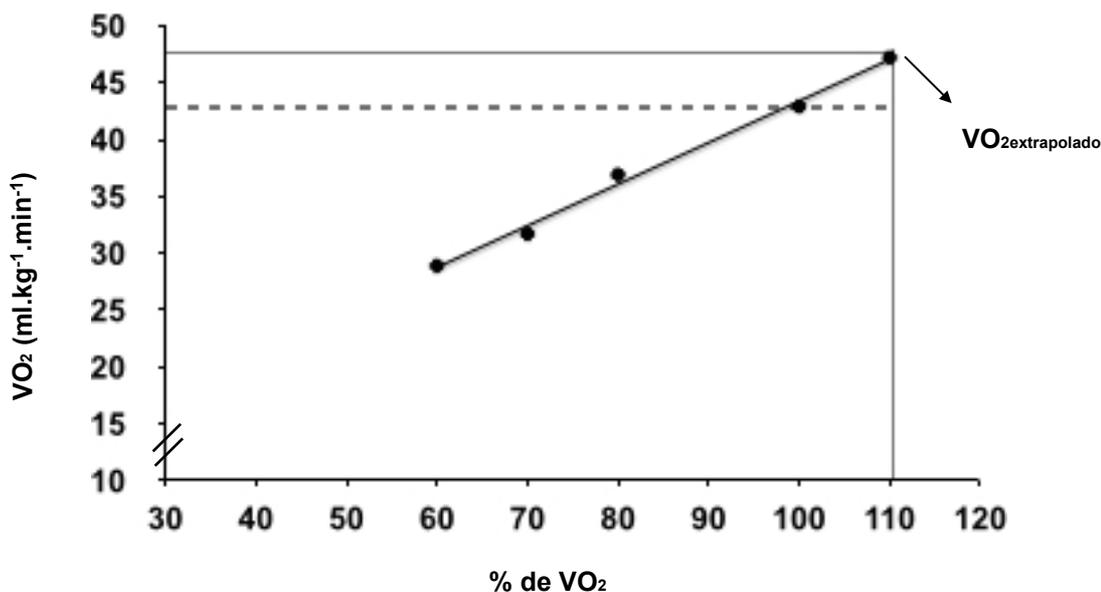


Figura 6. Exemplo de consumo de oxigênio extrapolado representado pelo gráfico de VO₂ em função da intensidade de exercício (% VO₂máx).

em relação ao VO₂máx. Na intensidade 110% a P_{met} foi analisada de duas formas: assumindo somente a contribuição aeróbia (P_{met}AER) e assumindo a contribuição de ambos os componentes aeróbio e anaeróbio (P_{met}TOT).

- **Consumo máximo de oxigênio (VO₂máx):** O VO₂máx foi considerado o valor médio da curva de consumo de oxigênio durante a situação de platô.

- **Segundo limiar ventilatório (LV2):** O LV2 foi identificado por três fisiologistas experientes, através da segunda quebra da curva de ventilação e pelo equivalente ventilatório (VE/VCO₂). Quando dois, dos três fisiologistas encontraram o mesmo valor de LV2, o mesmo foi considerado como o valor de LV2. Considerou-se o valor intermediário quando todos os fisiologistas encontraram valores divergentes.

- **Déficit máximo acumulado de oxigênio (MAOD):** Calculado a partir de cada velocidade submáxima e analisada como a média dos três últimos minutos em cada. Inicialmente foi determinada uma relação linear entre a demanda de oxigênio e a intensidade do exercício sob condições submáximas. Em um segundo momento, por extrapolação linear, foi estimado o consumo de oxigênio para a velocidade supramáxima (Figura 5).

Assim, o consumo de oxigênio acumulado durante o teste supramáximo foi determinado como:

Equação 14
$$\dot{V}O_{2acumulado} = \dot{V}O_{2extrapolado} \cdot t_{(exaustão)}$$

Onde, $\dot{V}O_{2extrapolado}$ refere-se ao consumo de oxigênio extrapolado durante o teste supramáximo e $t_{(exaustão)}$ é o tempo de duração do teste até a exaustão do indivíduo.

Para determinação do MAOD, utilizou-se na equação as variáveis de $\dot{V}O_{2extrapolado}$ e $\dot{V}O_{2acumulado}$ subtraídas:

Equação 15
$$MAOD = \dot{V}O_{2extrapolado} - \dot{V}O_{2acumulado}$$

No passo seguinte, o valor do MAOD (l) foi reconvertido para ml e multiplicado pela constante metabólica 20,9 J (KEIR et al., 2012). Assim, foi possível estimar a $P_{metMAOD}$, referente ao consumo anaeróbico na intensidade de 110% do $v\dot{V}O_{2máx}$.

- **Potência metabólica (P_{met}):** A P_{met} foi considerada a diferença entre $\dot{V}O_2$ coletado durante o exercício pelo repouso em relação ao tempo. Como a unidade de medida considerada foi $J \cdot s^{-1}$, essa diferença foi multiplicada pelo coeficiente de energia ($20,9 J \cdot ml^{-1}$) e dividida pelo tempo em segundos (60 s).

Equação 16
$$P_{met} = \frac{(\dot{V}O_{2exercício} - \dot{V}O_{2repouso}) \cdot 20,9 J \cdot ml^{-1}}{60s}$$

- **Economia de corrida (ECO):** Para ECO foi considerada a análise do platô do consumo de oxigênio realizado durante o período do teste (6 minutos). Os valores de ECO foram definidos pelo platô do oxigênio consumido durante o exercício, o qual foi subtraído pelo platô de oxigênio referente à medida do repouso realizada em posição ortostática. Além disso, assim como a P_{met} , a ECO foi relativizada pela unidade de tempo em segundos (s) e mensurada em Joules (J) (Equação 16). Com isso, esse valor de P_{met} foi dividido pela velocidade

realizada em cada intensidade analisada para informação de valores de energia em relação à distância percorrida ($J.m^{-1}$). Apesar de ser caracterizado como uma intensidade com predominância de energia anaeróbia, o teste realizado com velocidade referente a 110% do $VO_{2máx}$ assumiu uma rota de energia aeróbia, assim como os estudos de Margaria et al. (1963) e Cavagna & Kaneko (1977) para fins de comparação. Diante disso, pode-se determinar essa variável como ECO devido à igualdade no processamento do cálculo em relação a intensidades submáximas (CAVAGNA & KANEKO, 1977).

Equação 17

$$ECO = \frac{P_{met}}{V_h}$$

3.8.7. Eficiência mecânica

Os valores de Eff foram divididos em relação às duas intensidades, e especificamente à intensidade de 110% do $VO_{2máx}$, ela sofreu uma subdivisão. Para calcular a Eff determinada durante a velocidade de 60% do $VO_{2MÁX}$, foi assumido somente o componente aeróbio, predominante durante a atividade.

Equação 18

$$Eff_{60} = \frac{P_{mec60}}{P_{met60}}$$

Onde, P_{mec60} refere-se à potência mecânica realizada durante essa intensidade.

Entretanto, a Eff relacionada à velocidade amostral de 110% do $VO_{2máx}$ foi dividida em relação às formas de cálculo empregadas: Eff_{110TOT} , representando a contribuição do sistema anaeróbio e aeróbio, e Eff_{110AER} , assumindo somente o componente aeróbio como fonte de energia. A Eff_{110TOT} teve o acréscimo da $P_{metTOT110}$ em seu cálculo para distinção da utilização das rotas de energia anaeróbia e aeróbia utilizadas durante essa intensidade. Ambas as eficiências foram determinadas como:

Equação 19

$$Eff_{110AER} = \frac{P_{mec110}}{P_{met110AER}}$$

Equação 20

$$Eff_{110TOT} = \frac{P_{mec110}}{(P_{met110AER} + P_{met110ANAER})}$$

3.9. Tratamento da variável independente (programas de treinamento)

Os protocolos de treinamento para os indivíduos que acrescentaram treinamento de força máxima (FM) e treinamento de força rápida (FR) à sua rotina de trabalho aeróbico teve duração de 8 semanas. Enquanto isso, o grupo que não recebeu intervenção de nenhum tipo de treinamento de força (C) manteve seu volume de treinamento aeróbico ($\approx 15-25 \text{ km.semana}^{-1}$), idêntico aos outros grupos (FM e FR).

Em relação ao treinamento de resistência, ele consistiu principalmente da corrida. O grupo C realizou 3 sessões de treinamento por semana, contendo intervalo entre cada um de 48 horas. Os grupos FM, FR e C apresentaram o mesmo treinamento de resistência. Entretanto, FM e FR incluíram os programas de treinamento de força máxima, ou força rápida em sua rotina. Ambos os grupos (FM e FR) realizaram 2 sessões de treinamento de força (máxima, ou rápida), além do treinamento de resistência. Os treinamentos de força possuíam 48 horas de intervalo entre eles.

Grupos FM e FR realizaram seus treinos de força na sala de musculação da Escola de Educação Física da UFRGS (Porto Alegre, RS-BR). Em todas as sessões eles possuíam orientação do pesquisador responsável.

3.9.1. Treinamento de Força

O grupo FM possuiu um intervalo de 3 minutos entre cada série realizada, enquanto o grupo FR continha 2 minutos. Além disso, os exercícios realizados pelo grupo FR foram executados com a maior velocidade possível durante a ação concêntrica do movimento.

A tabela 2 ilustra os exercícios realizados para cada grupo durante o período de 8 semanas, respeitando a relação entre volume e intensidade existente em um programa de treinamento físico (RATAMESS et al., 2009).

Tabela 2. Programa de treinamento de força para os grupos FM e FR durante 8 semanas e o comportamento da carga (volume e intensidade) durante esse período.

Exercício/semana	FM			
	1 e 2	3 e 4	5 e 6	7 e 8
Agachamento	2 x 8 75% RM	3 x 6 85% RM	4 x 4 90% RM	4 x 4 90% RM
Leg Press 45°	2 x 10 75% RM	3 x 8 85% RM	3 x 6 90% RM	4 x 6 90% RM
Flexão de joelhos	2 x 8 75% RM	3 x 8 75% RM	3 x 6 80% RM	3 x 6 80% RM
Flexão plantar	2 x 15	2 x 15	3 x 15	3 x 15
Saltos CMJ	2 x 6	3 x 6	4 x 5	4 x 5
Saltos DJ (40 cm)	2 x 6	3 x 6	4 x 5	4 x 5
Flexão de joelhos	2 x 8 30% RM	3 x 8 40% RM	3 x 6 50% RM	3 x 6 50% RM
Flexão plantar	2 x 5 30% RM	3 x 6 30% RM	3 x 6 40% RM	4 x 5 40% RM

3.9.2. Treinamento de Resistência

A intensidade do treinamento de resistência foi periodizada a partir da resposta da frequência cardíaca (FC) frente ao teste de $VO_{2máx}$. No teste há a ocorrência de uma deflexão na curva de FC correspondente ao LV2 (figura 7) (CONCONI et al., 1982; SENTIJA et al., 2007). Diante disso, pode-se monitorar a intensidade de treinamentos aeróbios a partir da FC encontrada no ponto de deflexão da curva de FC (FC_{PD}) (HOFMANN & POKAN, 2010).

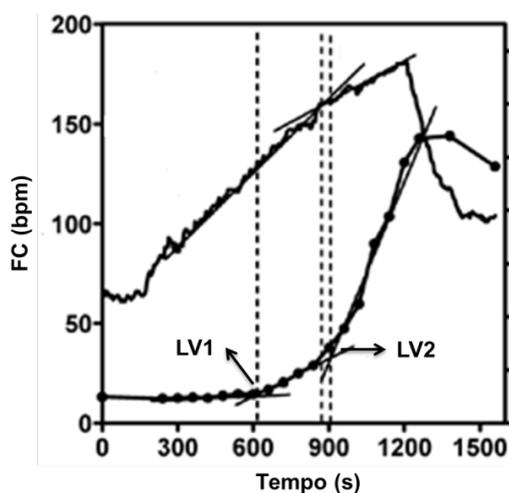


Figura 7. Comportamento da FC (linha superior) e do consumo de oxigênio (linha inferior) e seus respectivos pontos de deflexão (LV1 e LV2) durante o tempo. Nota-se que ambas as curvas apresentam pontos de quebra similares entre si. Fonte: adaptado de Hoffmann & Pokan (2010).

Dessa forma, as intensidades do treinamento foram divididas e relacionadas à FC_{PD} de acordo com Daniels (2005). Segundo o autor, existem 4 zonas de intensidade que devem ser levadas em consideração durante o treinamento aeróbio (fácil (F): 71-86%, moderada (M): 82-98%, limiar (L): 96-100% e intervalado (I): 107-109% da FC_{PD}). A carga de treinamento respeitou a ondulação do volume e da intensidade e esteve relacionado ao mesociclo preparatório de controle (figura 8 e quadro 1) (ISSURIN, 2010). O volume de cada sessão foi definido de acordo com as distâncias das três pistas em que o treinamento ocorreu (figura 4 e quadro 1).

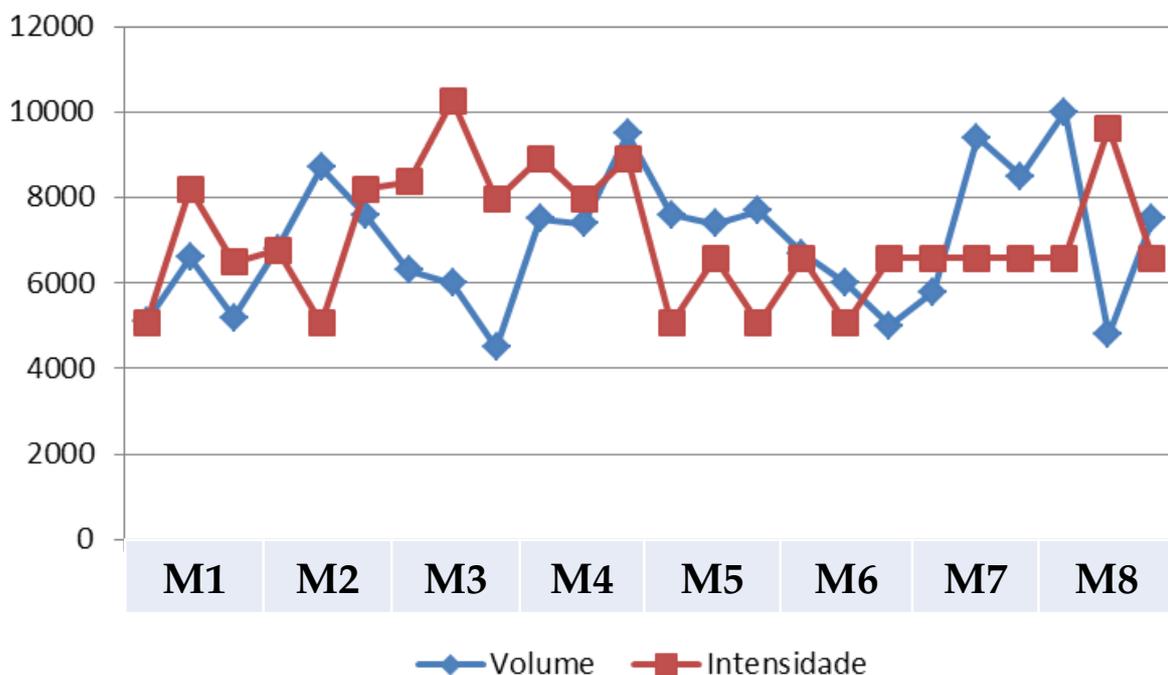


Figura 8. Relação volume (linha azul) e intensidade (linha vermelha) do treinamento de resistência nos 8 microciclos e as características de cada microciclo (M1-M8).

Quadro 1. Sessões do treinamento de resistência (C1 - C24). Onde, as siglas **F**, **M**, **L** e **I** significam as intensidades da corrida em fraca, moderada, limiar e intervalar, respectivamente, baseadas em Daniel's (2005) e adaptadas para FC_{PD}. Enquanto *Cam*, representa exercícios de caminhada. "Int" indica o intervalo entre as repetições em cada série.

C1	C2	C3
1 x 2500 m: F 5 x 5' M + 1' <i>Cam</i> 1 x 1590 m: M	1 x 530 m: <i>Cam</i> 3 x 1590 m: L (Int: 1') 10' corrida M	1 x 400 m: <i>Cam</i> + 400 m: F 1 x 400/800/1200 m: L (Int: 400 m F) 1 x 1200/800/400 m L (Int: 400 m F)
C4	C5	C6
1 x 2000 m: M 1 x 1060 m: M 1 x 3750 m: M (Int: 1')	10' F 30' M (Int: 1') 10' M	1 x 1250 m: M 10' L 1 x 4250 m: M (Int: 1')
C7	C8	C9
1 x 1250 m: M 3 x 800 m: L (Int: FC em F) 4 x 400m: I (Int: FC em M) 1x 1060 m: F	1 x 530 m: <i>Cam</i> 1 x 5000 m: M 1 x 1000 m: I (Int: 1')	1 x 1060: F 2 x 1000: I (Int: FC em F) 1 x 1480 m: M
C10	C11	C12
1 x 530 m: F 4 x 800 m: L (Int: 1') 4 x 400 m: I (Int: 1' F) 1 x 2120 m: F	1 x 800 m: F 1 x 1780 m: M 6 x 300 m: I (Int: 100 m <i>Cam</i>) 1 x 3030 m: F	1 x 1250 m: F 20 x 100 m: I (Int: 100 m <i>Cam</i>) 1 x 6250 m: L
C13	C14	C15
15' F 3 x (8' M + 2' F)	15' M 10' L 4 x (3' M + 2' F)	10' F 20' M 3 x (4' corrida M + 1' <i>Cam</i>)
C16	C17	C18
10': F 4 x (3' M + 2' F) 5 x (2' L + 1' <i>Cam</i>)	5' F 5 x (4' corrida M + 1' <i>Cam</i>) 25': M	1 x 1060 m: F 25' M 5 x (3' L + 1' <i>Cam</i>)
C19	C20	C21
1 x 530 m: F 4000 m: M 6 x (1' L + 1' <i>Cam</i>)	1 x 1780 m: F 35' M 6 x (1' L + 30" <i>Cam</i>)	625 m <i>Cam</i> + 625 m: F 20' M 10 x (2' L + 1' <i>Cam</i>)
C22	C23	C24
5' F 6 x 800 m: L (Int: FC em F) 25' M	1 x 930 m: <i>Cam</i> 1 x 1200 m: L 2 x 800 m: L 3 x 400 m: L 4 x 200 m: L	2 x 200 m: <i>Cam</i> + 200 m: F 5 x 530 m: L (Int: 2') 5 x 5' M + 1' <i>Cam</i>

3.10. Tratamento estatístico

Foi realizado a estatística descritiva, com médias e desvios-padrão. A normalização dos dados foi verificada pelo teste de *Shapiro-Wilk*. Enquanto a homogeneidade das variâncias analisada através do teste de *Levene*. Os dados foram analisados utilizando uma análise de variância (ANOVA) com medidas repetidas 3 x 2 (grupo x tempo) para verificar interação entre os fatores grupo (FM, FR e C) e tempo (pré, pós-8 semanas de treinamento). Ocorrendo interação para o fator grupo, aplicou-se teste *post-hoc* de *Tuckey*. Na presença de dados não paramétricos utilizou-se o teste de *Friedman*.

O teste-T pareado foi utilizado para análise de desdobramento no fator tempo. Se alguma média das variáveis de dados não fosse paramétrica, realizou-se o teste não paramétrico de *Wilcoxon*. Enquanto isso, uma ANOVA *One-Way* foi utilizada para verificar diferenças entre os diferentes grupos em cada período de tempo. Utilizou-se o teste de *Kruskal-Wallis* como alternativa aos dados não paramétricos.

Por fim, utilizou-se o cálculo do tamanho de efeito para as principais variáveis de desempenho (ECO, Eff₆₀, Eff_{110AER}, Eff_{110TOT} e t_{5km}), assumindo valores de 0,2; 0,6; 1,2 e 2,0 para efeitos baixo, moderado, alto e muito alto, respectivamente (COHEN, 1982; HOPKINS et al., 2009).

O nível de significância adotado foi de 5%. Todos os testes foram realizados no pacote estatístico *SPSS*, versão 18.0.

4. RESULTADOS

A amostra apresentou uma diminuição significativa para o % de gordura no grupo FM ($p = 0,03$) após o período de treinamento (tabela 3).

Tabela 3. Variáveis massa corporal e % de gordura dos grupos Controle (C), Força Máxima (FM) e Força Rápida (FR) antes e após o programa de treinamento (média \pm desvio padrão).

	C (n = 7)		FM (n = 8)		FR (n = 9)	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
Massa corporal (kg)	72,7 \pm 18,4	72,4 \pm 18,5	77,0 \pm 5,0	76,3 \pm 4,9	76,2 \pm 20	75,5 \pm 18,5
% de gordura	21,6 \pm 8,9	21,8 \pm 8,7	15,5 \pm 5,6	12,8 \pm 4,3*	20 \pm 7,4	18,4 \pm 6,3

Asteriscos (*) representam diferenças significativas a partir dos valores de pré-treinamento ($p = 0,03$)

O $VO_{2m\acute{a}x}$ não apresentou diferenças significativas entre os grupos e os períodos de treinamento ($p > 0,05$). A $vVO_{2m\acute{a}x}$ apresentou diferenças significativas entre os grupos FM e C ($p = 0,04$) e aumentou significativamente entre os momentos para o grupo FM ($p = 0,02$). Similarmente, a vVO_2 à 60 e 110% do $VO_{2m\acute{a}x}$ também aumentaram significativamente para o grupo FM após o treinamento ($p = 0,02$ e $0,04$, respectivamente) (tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros referentes ao $VO_{2m\acute{a}x}$ e as velocidades de $VO_{2m\acute{a}x}$ (60 e 110%) entre os grupos C, FM e FR nos momentos pré e pós-treinamento (média \pm desvio padrão).

	C (n = 7)		FM (n = 8)		FR (n = 9)	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
$VO_{2m\acute{a}x}$ (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	32,4 \pm 3,9	34,4 \pm 6,1	40 \pm 4,4	41,9 \pm 3,7	37,9 \pm 4,4	38,9 \pm 2,8
$vVO_{2m\acute{a}x}$ (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	13,7 \pm 1,4	13,9 \pm 1,3 ^A	15,3 \pm 2,0	16,6 \pm 1,7 ^{B*}	15,2 \pm 1,3	15,9 \pm 1,6 ^{AB}
vVO - 60% (km ⁻¹ .h ⁻¹)	8,2 \pm 0,8	8,3 \pm 0,8	9,2 \pm 1,2	9,9 \pm 1,0*	9,1 \pm 0,8	8,8 \pm 1,0
vVO - 110% (km ⁻¹ .h ⁻¹)	15,1 \pm 1,5	15,2 \pm 1,4	16,8 \pm 2,2	18,2 \pm 1,8*	16,7 \pm 1,4	17,5 \pm 1,8

Asteriscos (*) representam diferenças significativas a partir dos valores de pré-treinamento ($vVO_{2m\acute{a}x}$, $p = 0,02$; vVO_2 - 60%, $p = 0,02$; vVO_2 - 110%, $p = 0,04$).

Letras diferentes representam diferenças entre grupos ($vVO_{2m\acute{a}x}$, $p = 0,04$).

As variáveis relacionadas aos exercícios dos treinamentos, como RM_{agacha} e altura de saltos SJ, CMJ e DJ, não apresentaram diferenças significativas para o grupo C ($p > 0,05$) após 8 semanas. O grupo FM apresentou maiores valores no RM_{agacha} comparado ao grupo C ($p < 0,001$) após a intervenção. Comparando os momentos pré e pós-treinamento, o grupo FM também apresentou um aumento nos

valores de RM_{agacha} ($p = 0,03$) após o protocolo de treinamento. As variáveis hSJ e hCMJ apresentaram diferenças significativas pós-treinamento entre FM e C ($p = 0,015$ e $p = 0,013$, respectivamente). Além disso, o grupo FM diminuiu significativamente seus valores de hSJ ($p = 0,027$) comparados antes e após 8 semanas. Enquanto isso, hDJ não apresentou diferença significativa entre e intra-grupos após o período de treinamento ($p > 0,05$).

Tabela 5. Variáveis dos treinamentos de força máxima e rápida nos momentos pré e pós-treinamento (média \pm desvio padrão).

	C (n = 7)		FM (n = 8)		FR (n = 9)	
	Pré-treinamento	Pós-treinamento	Pré-treinamento	Pós-treinamento	Pré-treinamento	Pós-treinamento
RM_{agacha} (kg)	104,9 \pm 22,5	105,8 \pm 25,4 ^A	103,2 \pm 22,5	146,7 \pm 25,4 ^{B*}	100,2 \pm 20,6	99,4 \pm 20,5 ^{AB}
hSJ (m)	0,23 \pm 0,07	0,23 \pm 0,07 ^A	0,30 \pm 0,03	0,33 \pm 0,05 ^{B*}	0,26 \pm 0,06	0,27 \pm 0,05 ^{AB}
hCMJ (m)	0,24 \pm 0,07	0,24 \pm 0,07 ^A	0,35 \pm 0,03	0,36 \pm 0,05 ^B	0,28 \pm 0,06	0,28 \pm 0,05 ^{AB}
hDJ (m)	0,24 \pm 0,08	0,24 \pm 0,07	0,33 \pm 0,04	0,33 \pm 0,06	0,29 \pm 0,06	0,28 \pm 0,05

Asteriscos (*) representam diferenças significativas a partir dos valores de pré-treinamento (RM_{agacha} , $p = 0,03$; hSJ, $p = 0,02$; hCMJ, $p = 0,02$).

Letras diferentes representam diferenças entre grupos (RM_{agacha} , (C vs FM) $p < 0,001$; hSJ, $p = 0,01$; hCMJ, $p = 0,01$).

RM_{agacha} (1 repetição máxima do exercício agachamento).

hSJ, hCMJ e hDJ (altura dos saltos SJ, CMJ e DJ, respectivamente).

A ECO demonstrou diferença significativa entre os grupos C e FR após o período de treinamento ($p = 0,005$). Contudo, quando analisado a diferença intra grupos, os resultados foram significativos para os grupos C e FM, no qual o primeiro piorou seus valores de ECO ($p = 0,01$), enquanto o segundo apresentou melhora ($p = 0,045$). O tamanho do efeito (TE) foi considerado moderado para FM e FR (0,29 e 0,41, respectivamente) (tabela 6 e figura 9).

Tabela 6. Variáveis metabólicas nos momentos pré e pós-treinamento (média \pm desvio padrão).

	C (n = 7)		FM (n = 8)		FR (n = 9)	
	Pré-treinamento	Pós-treinamento	Pré-treinamento	Pós-treinamento	Pré-treinamento	Pós-treinamento
ECO ($J.kg^{-1}.m^{-1}$)	3,2 \pm 0,3	3,7 \pm 0,5 ^{A*}	3,4 \pm 0,4	3,2 \pm 0,3 ^{AB*}	3,2 \pm 0,4	3,0 \pm 0,3 ^B
P _{met60} ($W.kg^{-1}$)	7,6 \pm 1,2	8,0 \pm 1,1	8,5 \pm 1,3	8,8 \pm 1,3	8,1 \pm 1,1	8,0 \pm 1,0
P _{met110AER} ($W.kg^{-1}$)	9,5 \pm 1,4	10,1 \pm 1,3	11,2 \pm 1,8	12,6 \pm 1,8	10,8 \pm 2,2	11,3 \pm 1,2
P _{met110ANAER} ($W.kg^{-1}$)	2,9 \pm 2,0	2,9 \pm 2,3	5,2 \pm 3,6	5,8 \pm 2,2	5,0 \pm 2,7	5,4 \pm 2,0
P _{met110TOT} ($W.kg^{-1}$)	12,3 \pm 1,7	12,6 \pm 1,8	16,4 \pm 3	18,3 \pm 2,4	15,8 \pm 3	16,6 \pm 1,8

Asteriscos (*) representam diferenças significativas a partir dos valores de pré-treinamento (ECO (C), $p = 0,01$; ECO (FM), $p = 0,04$).

Letras diferentes representam diferenças entre grupos (ECO (C vs FR), $p = 0,005$).

ECO (economia de corrida).

P_{met60} (potência metabólica na intensidade à 60% da $vVO_{2máx}$).

P_{met110AER} (potência metabólica na intensidade à 110% da $vVO_{2máx}$ calculada somente com componente aeróbio).

P_{met110ANAER} (potência metabólica na intensidade à 110% da $vVO_{2máx}$ calculada somente com componente anaeróbio).

P_{met110TOT} (potência metabólica na intensidade à 110% da $vVO_{2máx}$ calculada com ambos os componente aeróbio e anaeróbio).

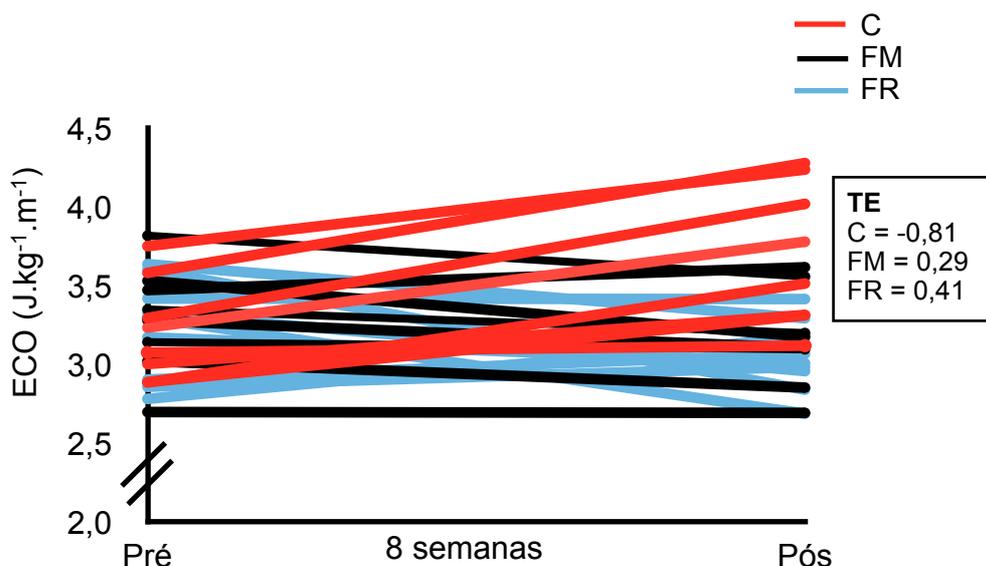


Figura 9. Economia de corrida à 60% do $VO_{2máx}$ (ECO) antes e após 8 semanas de treinamento e tamanho do efeito (TE) para cada grupo por indivíduo. Note que os indivíduos dos grupos FM e FR diminuem seus valores (mais econômicos), enquanto o grupo C têm os valores de ECO aumentados após o treinamento (menos econômicos). Onde C (linhas vermelhas), grupo controle; FM (linhas pretas), grupo força máxima; FR (linhas azuis), grupo força rápida.

O parâmetro metabólico também pôde ser analisado através da P_{met} em duas diferentes intensidades (60 e 110% da $vVO_{2máx}$). Contudo, em ambas não houveram diferenças significativas para nenhum dos grupos ($p > 0,05$). Além disso, a P_{metANAER}

também não obteve alteração significativa em nenhum dos grupos estudados ($p > 0,05$) (tabela 5 e figura 10).

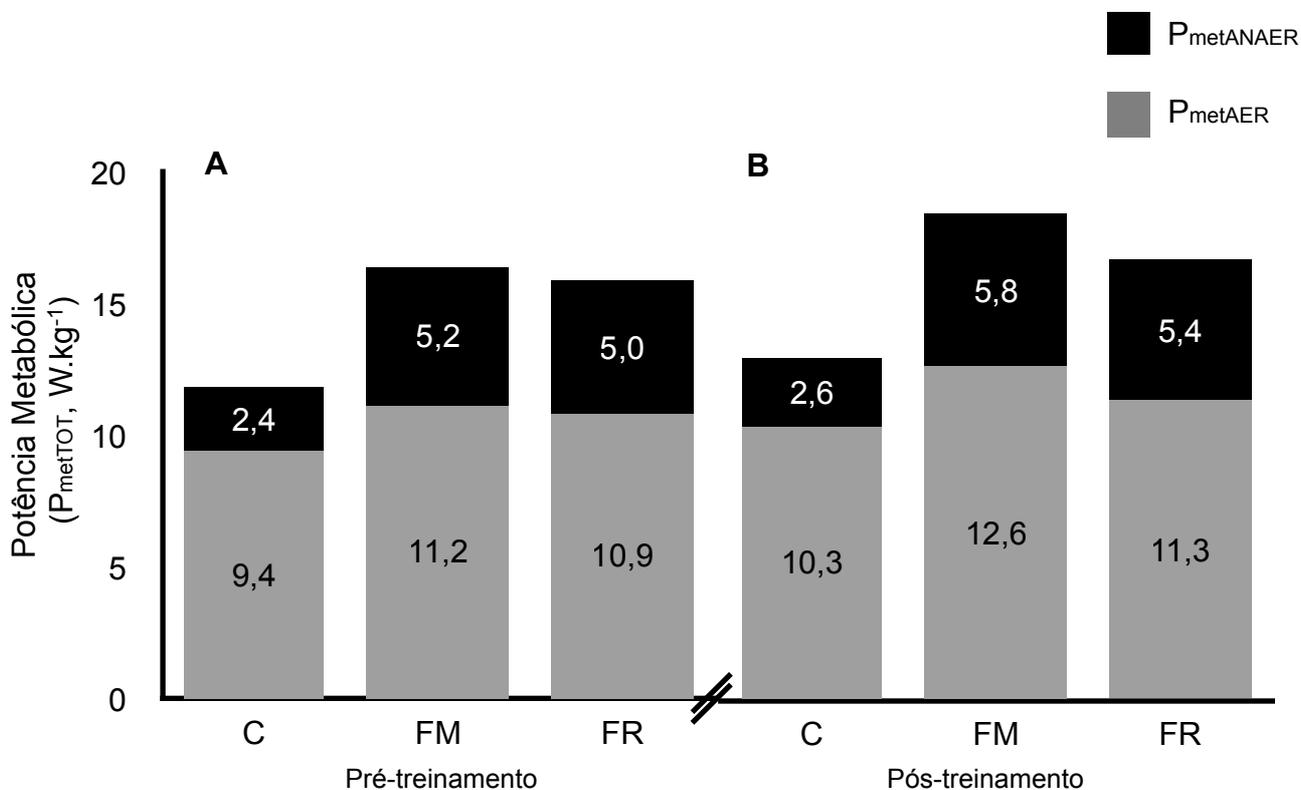


Figura 10. Valores médios da Potência Metabólica total (P_{metTOT}) durante a intensidade 110% da vVO_{2max} nos momentos Pré (A) e Pós-treinamento (B) para os grupos controle (C), Força máxima (FM) e Força rápida (FR). As barras escuras representam a $P_{metANAER}$ e as barras cinzas a P_{metAER} . Não foram encontradas diferenças significativas entre e intra grupos ($p > 0,05$).

Os valores dos parâmetros espaço-temporais nas intensidades 60 e 110% da vVO_{2max} não apresentaram diferenças significativas entre e intra-grupos após as 8 semanas de treinamento, com exceção para o CP em 60% do vVO_{2max} que foi maior para o grupo FM após 8 semanas de treinamento comparado com seus valores de pré-treinamento ($p = 0,03$) (tabela 6).

Tabela 7. Variáveis espaço-temporais nos momentos pré e pós-treinamento em diferentes intensidades referentes à velocidade do $VO_{2máx}$ (média \pm desvio padrão).

		C (n = 7)		FM (n = 8)		FR (n = 9)	
		Pré-treinamento	Pós-treinamento	Pré-treinamento	Pós-treinamento	Pré-treinamento	Pós-treinamento
tc (s)	60% $vVO_{2máx}$	0,269 \pm 0,02	0,264 \pm 0,03	0,269 \pm 0,03	0,266 \pm 0,03	0,265 \pm 0,03	0,258 \pm 0,04
	110% $vVO_{2máx}$	0,191 \pm 0,04	0,188 \pm 0,04	0,177 \pm 0,02	0,162 \pm 0,02	0,180 \pm 0,02	0,178 \pm 0,02
ta (s)	60% $vVO_{2máx}$	0,111 \pm 0,03	0,117 \pm 0,02	0,112 \pm 0,02	0,107 \pm 0,03	0,111 \pm 0,02	0,116 \pm 0,03
	110% $vVO_{2máx}$	0,145 \pm 0,03	0,145 \pm 0,03	0,152 \pm 0,01	0,152 \pm 0,02	0,143 \pm 0,01	0,143 \pm 0,02
FP (Hz)	60% $vVO_{2máx}$	2,64 \pm 0,16	2,63 \pm 0,15	2,63 \pm 0,13	2,68 \pm 0,08	2,67 \pm 0,16	2,68 \pm 0,11
	110% $vVO_{2máx}$	3,00 \pm 0,29	3,03 \pm 0,29	3,05 \pm 0,20	3,20 \pm 0,20	3,11 \pm 0,22	3,13 \pm 0,20
CP (m)	60% $vVO_{2máx}$	0,90 \pm 0,10	0,91 \pm 0,10	0,96 \pm 0,11	1,03 \pm 0,10*	0,95 \pm 0,09	0,99 \pm 0,11
	110% $vVO_{2máx}$	1,45 \pm 0,22	1,46 \pm 0,22	1,52 \pm 0,11	1,58 \pm 0,18	1,50 \pm 0,16	1,55 \pm 0,17

Asteriscos (*) representam diferenças significativas a partir dos valores de pré-treinamento ($p = 0,03$). tc, tempo de contato; ta, tempo aéreo; FP, frequência de passo; CP, comprimento de passo, $vVO_{2máx}$, velocidade do $VO_{2máx}$.

Para P_{mec} e suas componentes, o W_{int} apresentou diferença significativa para o grupo FM após o período de treinamento na intensidade referente à 60% da $vVO_{2máx}$ ($p = 0,03$). Além disso, essas diferenças também ocorreram para o grupo FM nas variáveis W_{ext} e W_{tot} na intensidade 110% da $vVO_{2máx}$ ($p = 0,006$ e $p = 0,04$, respectivamente) e para o grupo FR ($p = 0,04$ e $p = 0,01$, respectivamente).

As variáveis W_{ext} e W_{tot} durante a intensidade 110% da $vVO_{2máx}$ também demonstraram interação entre os fatores grupo vs tempo, com diferenças significativas entre o grupo C com ambos os grupos FM ($p = 0,004$ para ambos) e FR ($p = 0,02$ para ambos) após 8 semanas de treinamento. A P_{mec} não apresentou diferenças significativas entre os grupos FM e FR na mesma intensidade (110% da $vVO_{2máx}$), porém demonstrou diferença significativa entre o grupo C com os grupos FM e FR ($p = 0,002$ e $p = 0,01$, respectivamente). Ao mesmo tempo, a análise intra grupos verificou diferenças para P_{mec} após 8 semanas de treinamento nos grupos FM e FR ($p = 0,009$ e $p = 0,01$, respectivamente) (tabela 7).

Tabela 8. Potência mecânica (P_{mec}) e as componentes do trabalho mecânico total (W_{tot}) nos momentos pré e pós-treinamento em diferentes intensidades referentes à velocidade do $VO_{2máx}$ (média \pm desvio padrão).

		C (n = 7)		FM (n = 8)		FR (n = 9)	
		Pré-treinamento	Pós-treinamento	Pré-treinamento	Pós-treinamento	Pré-treinamento	Pós-treinamento
W_{int} ($J.kg^{-1}.m^{-1}$)	60% $vVO_{2máx}$	0,33 \pm 0,03	0,33 \pm 0,03 ^A	0,35 \pm 0,05	0,39 \pm 0,03 ^{B*}	0,35 \pm 0,03	0,38 \pm 0,03 ^{AB}
	110% $vVO_{2máx}$	0,60 \pm 0,06	0,61 \pm 0,05	0,65 \pm 0,11	0,73 \pm 0,08	0,67 \pm 0,07	0,70 \pm 0,09
W_{ext} ($J.kg^{-1}.m^{-1}$)	60% $vVO_{2máx}$	1,13 \pm 0,19	1,18 \pm 0,16	1,25 \pm 0,32	1,25 \pm 0,25	1,14 \pm 0,12	1,30 \pm 0,25
	110% $vVO_{2máx}$	1,29 \pm 0,13	1,26 \pm 0,17 ^A	1,39 \pm 0,12	1,60 \pm 0,20 ^{B*}	1,39 \pm 0,20	1,50 \pm 0,13 ^{B*}
W_{tot} ($J.kg^{-1}.m^{-1}$)	60% $vVO_{2máx}$	1,46 \pm 0,21	1,51 \pm 0,19	1,60 \pm 0,33	1,64 \pm 0,26	1,49 \pm 0,12	1,68 \pm 0,27
	110% $vVO_{2máx}$	1,89 \pm 0,13	1,87 \pm 0,15 ^A	2,04 \pm 0,17	2,33 \pm 0,24 ^{B*}	2,06 \pm 0,22	2,21 \pm 0,19 ^{B*}
P_{mec} ($W.kg^{-1}$)	60% $vVO_{2máx}$	3,5 \pm 0,9	3,6 \pm 0,8	4,1 \pm 1,1	4,5 \pm 0,9	3,7 \pm 0,5	4,4 \pm 0,8
	110% $vVO_{2máx}$	8,2 \pm 1,2	8,1 \pm 0,9 ^A	9,6 \pm 1,8	11,8 \pm 2,0 ^{B*}	9,4 \pm 1,6	10,7 \pm 1,0 ^{B*}

Asteriscos (*) representam diferenças significativas a partir dos valores de pré-treinamento ($W_{int60\%}$ (FM), $p = 0,03$; $W_{ext110\%}$ (FM), $p = 0,006$; $W_{ext110\%}$ (FR), $p = 0,04$; $W_{tot110\%}$ (FM), $p = 0,006$; $W_{tot110\%}$ (FR), $p = 0,01$; $P_{mec110\%}$, $p = 0,009$ (FM); $P_{mec110\%}$, $p = 0,01$ (FR)).

Letras diferentes representam diferenças entre grupos ($W_{int60\%}$ (C vs FM), $p = 0,01$; $W_{ext110\%}$ (C vs FM), $p = 0,004$; $W_{ext110\%}$ (C vs FR), $p = 0,02$; $W_{tot110\%}$ (C vs FM), $p = 0,004$; $W_{tot110\%}$ (C vs FR), $p = 0,02$; $P_{mec110\%}$ (C vs FM), $p = 0,002$; $P_{mec110\%}$ (C vs FR), $p = 0,01$).

W_{int} , trabalho mecânico interno; W_{ext} , trabalho mecânico externo; W_{tot} , trabalho mecânico total; P_{mec} , potência mecânica.

A Eff não apresentou diferenças significativas em nenhuma das intensidades analisadas, tampouco nos diferentes métodos de cálculo para 110% da $vVO_{2máx}$ (Eff_{110AER} e Eff_{110TOT}) ($p > 0,05$). Apesar disso, o TE demonstrou-se moderado para a intervenção no grupo FM (0,29; 0,44 e 0,34 para $Eff_{60\%}$, Eff_{110AER} e Eff_{110TOT} , respectivamente). Enquanto isso, o grupo FR obteve um TE forte para $Eff_{60\%}$ (0,78) e moderado para Eff_{110AER} e Eff_{110TOT} (0,26 e 0,30, respectivamente). Simultaneamente, o grupo C apresentou um efeito negativo em todas as componentes da Eff analisadas, demonstrando uma piora em seus valores com a realização somente do treinamento de resistência (tabela 9 e figura 11).

Tabela 9. Eficiência mecânica (Eff) nas intensidades 60 e 110% da $vVO_{2m\acute{a}x}$ com duas formas de cálculo (com e sem a presença do componente anaeróbio) e o tempo de prova de 5 km (t_{5km}) nos momentos pré e pós-treinamento em diferentes intensidades referentes à velocidade do $VO_{2m\acute{a}x}$ (média \pm desvio padrão) e o tamanho do efeito (TE).

	C (n = 7)			FM (n = 8)			FR (n = 9)		
	Pré-treinamento	Pós-treinamento	TE	Pré-treinamento	Pós-treinamento	TE	Pré-treinamento	Pós-treinamento	TE
Eff ₆₀	0,46 \pm 0,08	0,45 \pm 0,08	-0,01	0,48 \pm 0,09	0,52 \pm 0,12	0,29	0,47 \pm 0,08	0,56 \pm 0,10	0,78
Eff _{110AER}	0,86 \pm 0,08	0,81 \pm 0,11	-0,37	0,86 \pm 0,11	0,95 \pm 0,21	0,44	0,89 \pm 0,22	0,96 \pm 0,21	0,26
Eff _{110TOT}	0,67 \pm 0,09	0,65 \pm 0,10	-0,18	0,59 \pm 0,13	0,65 \pm 0,12	0,34	0,60 \pm 0,12	0,65 \pm 0,10	0,30
t_{5km} (s)	1662 \pm 259	1637 \pm 262	0,08	1430 \pm 265	1355 \pm 208*	0,27	1464 \pm 143	1377 \pm 156*	0,27

Asteriscos (*) representam diferenças significativas a partir dos valores de pré-treinamento (t_{5km} (FM), $p = 0,03$; t_{5km} (FR), $p = 0,02$).

Eff₆₀, Eficiência mecânica à 60% da $vVO_{2m\acute{a}x}$; Eff_{110AER}, Eficiência mecânica à 110% da $vVO_{2m\acute{a}x}$ assumindo somente componente aeróbio; Eff_{110TOT}, Eficiência mecânica à 110% da $vVO_{2m\acute{a}x}$ assumindo componente aeróbio e anaeróbio; t_{5km} , tempo de prova de 5 km.

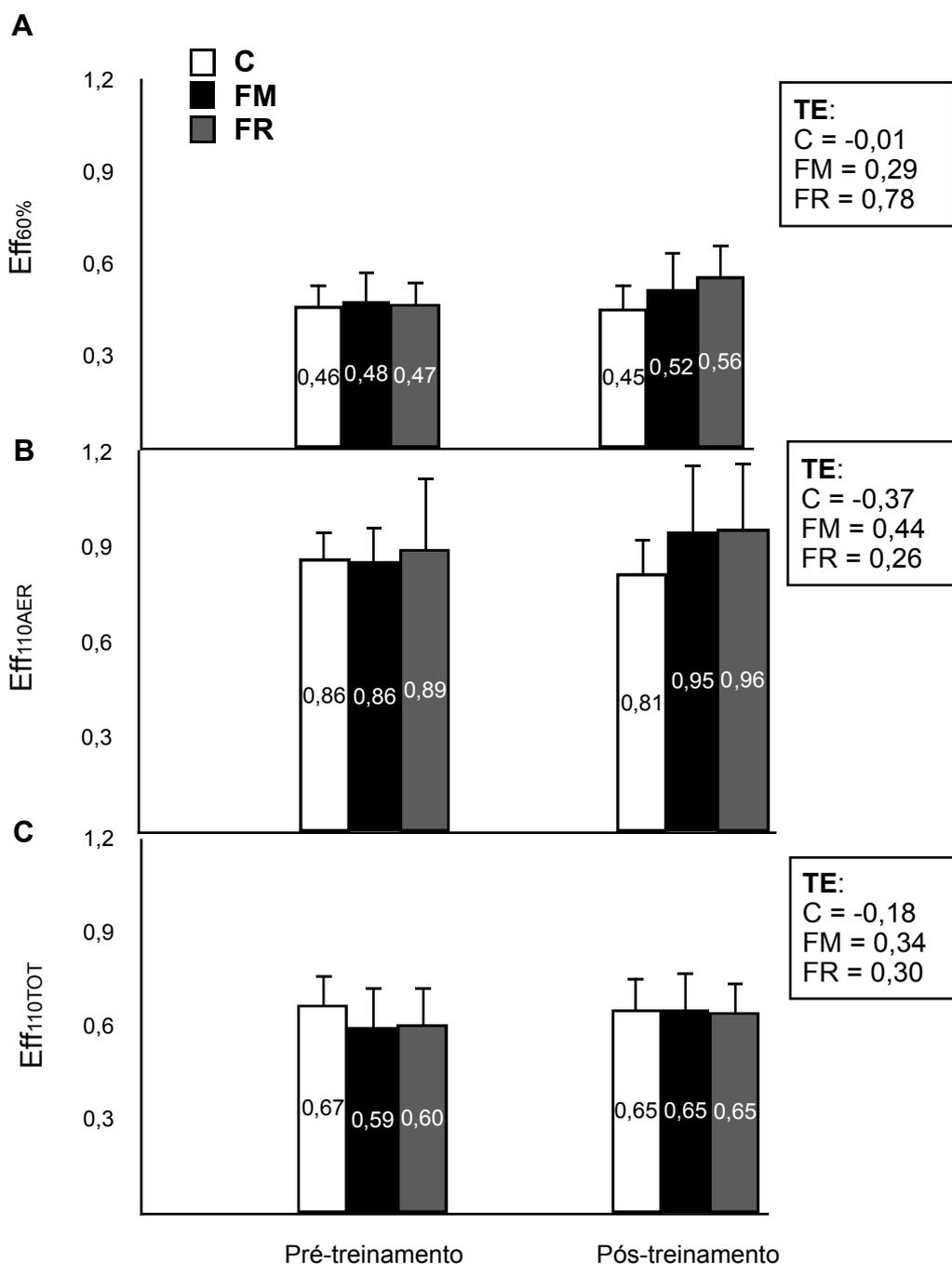


Figura 11. Valores médios da Eficiência Mecânica e seus respectivos desvios padrão em três diferentes intensidades nas situações Pré e Pós-treinamento e o tamanho de efeito (TE) para cada grupo: A) 60% do vVO₂máx (Eff_{60%}); B) 110% do vVO₂máx (Eff_{110AER}); C) 110% do vVO₂máx (Eff_{110TOT}). As barras brancas representam o grupo C, barras escuras o grupo FM e barras cinzas o grupo FR.

O desempenho da prova de 5km (t_{5km}) apresentou diminuições significativas após o treinamento para os grupos FM e FR quando analisado dentro de cada grupo ($p = 0,03$ e $p = 0,02$, respectivamente). Essa melhora foi acompanhada por um TE moderado para ambos os grupos (0,27 para FM e FR) (tabela 9 e figura 12).

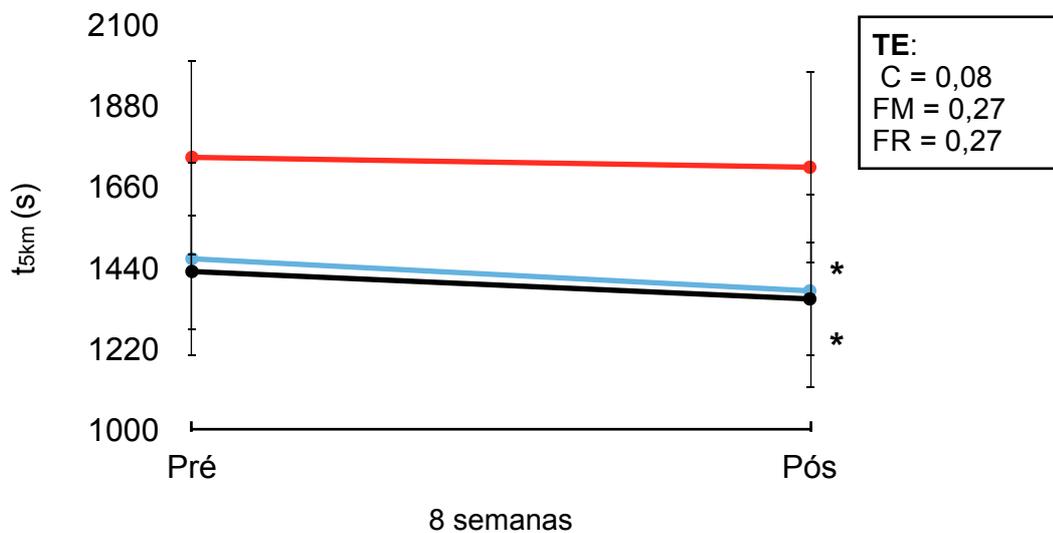


Figura 12. Desempenho de corrida (t_{5km} , eixo y) após 8 semanas de treinamento (eixo x) para os grupos C (linha cinza), FM (linha preta) e FR (linha azul). Asteriscos (*) representam diferenças intra grupos ($p < 0,05$). O quadro ao lado indica o tamanho do efeito para essa variável após o treinamento em cada grupo. Dados são apresentados em médias e desvio-padrão.

5. DISCUSSÃO

5.1. Variáveis antropométricas e neuromusculares

Os valores de percentual de gordura, assim como massa corporal não apresentaram diferenças após as 8 semanas de treinamento em nenhum dos grupos ($p > 0,05$). Enquanto isso, RM_{agacha} apresentou diferenças significativas somente entre os grupos FM e C ($p < 0,001$) após o período de treinamento. Além disso, essa diferença também foi constatada para o grupo FM, antes e após a intervenção do treinamento ($p < 0,01$) (ver tabela 5).

Com isso, constatou-se um aumento esperado no componente da força dinâmica máxima para o grupo FM (incremento de 15%), devido à alta intensidade empregada no treinamento (85-90% de 1RM). Esse resultado corrobora com estudos anteriores que empregaram metodologia de treinamento semelhante (HOFF et al., 2002; STOREN et al., 2008; TAIPALE et al., 2013).

Entretanto, o mesmo comportamento não foi encontrado para as alturas referentes aos testes de saltos máximos para o grupo FR. Em nenhum dos saltos ocorreu uma melhora significativa para SJ, CMJ e DJ ($p > 0,05$). Ao mesmo tempo, o grupo FM apresentou melhora significativa para hSJ após o treinamento quando comparado com seus valores prévios ($p = 0,027$) e para hSJ e CMJ comparado com o grupo C ($p = 0,015$ e $p = 0,013$, respectivamente). Essa resposta mais positiva para o grupo FM aliado com, ou sem incremento no grupo FR também foi encontrado nos estudos de Taipale et al. (2010), Mikkola et al. (2011) e Taipale et al. (2013). Nesses casos, assim como no presente estudo, credita-se esse fato a um maior volume de treinamento realizado pelo grupo FM, além de um padrão de movimento semelhante entre os saltos com os exercícios realizados nesse grupo.

O baixo volume de treinamento do grupo FR pode estar associado a ausência de aumento na força máxima e, principalmente, na altura de saltos. Em estudo de meta análise recente, Villareal et al. (2012) afirmaram que para obter melhora em desempenhos associados à força rápida, como saltos e sprints, deve-se treinar um número maior que 80 saltos por sessão de treinamento. Para o presente estudo, houve em média, 40 saltos nos períodos finais de treinamento para o grupo FR. Além disso, o restante do treinamento foi preenchido por exercícios realizados de

forma rápida em aparelhos de musculação (*leg press* e flexão plantar de tornozelo), não atingindo o volume sugerido pelos autores.

Ainda, o grupo FR pode ter sofrido influência do treinamento de resistência, o qual se sabe é capaz de interferir nas variáveis de potência (grupo FR) (DOCHERTY & SPORER, 2000; TURNER et al., 2003) devido às intensidades empregadas em ambos os treinamentos (tabela 2 e figura 8) (TURNER et al., 2003). Essa interferência ocorre quando exercícios de força são realizados em baixas intensidades associados com exercícios aeróbios executados em média-alta intensidade (DOCHERTY & SPORER, 2000). Dessa forma o treinamento de resistência sofreria adaptações mais predominantes ao nível periférico muscular, a qual poderia influenciar negativamente no desempenho da realização de saltos.

Além disso, sabe-se que a altura dos saltos pode melhorar sem a necessidade de um treinamento específico, principalmente os saltos SJ e CMJ devido à execução semelhante desses movimentos no exercício agachamento, utilizado no grupo FM (NEWTON & KRAEMER, 1994; BALABINIS et al., 2003) e aumento na força dinâmica máxima, visto que ela também é um componente na melhora do desempenho de saltos (MARKOVIC, 2007).

5.2. Variáveis metabólicas

As variáveis metabólicas da corrida apresentaram diferenças entre as variáveis analisadas pré e pós-treinamento e entre os grupos. Essas diferenças foram uma melhora significativa na ECO para o grupo FR em comparação ao grupo C ($p < 0,01$) e uma diferença significativa intra grupo para FM ($p = 0,04$) após a intervenção para a mesma variável. Além disso, um tamanho de efeito moderado foi encontrado para os dois grupos experimentais (0,29 e 0,41 para FM e FR, respectivamente) (ver tabela 6 e, figuras 9 e 10).

Os benefícios da inclusão do treinamento de força para a resposta da ECO em corredores, assim como no presente estudo, também têm sido relatados na literatura corrente (MIKKOLA et al., 2007; SEDANO et al., 2013; PIACENTINI et al., 2014). Além disso, tem-se procurado compreender melhor qual programa de treinamento de força (máxima, ou rápida) influenciaria de forma mais positiva na ECO de corredores (GUGLIELMO et al., 2009; TAIPALE et al., 2010). No entanto, no

presente estudo, em relação à ECO não houve uma melhora mais significativa ao comparar esses dois grupos.

Taipale et al. (2010) encontraram melhoras na ECO em intensidades semelhantes ao presente estudo em ambos os grupos que treinaram força máxima e rápida. Esse resultado esteve associado à diminuição na ativação muscular dos músculos vasto lateral e vasto medial, o qual poderia indicar uma melhora no aspecto neuromuscular durante a transferência desse ganho de força para a atividade da corrida em baixa intensidade. Semelhantemente, Cadore et al. (2011) encontraram uma redução na atividade eletromiográfica da musculatura de membros inferiores durante o exercício aeróbio realizado em cicloergômetro. Esse resultado reforça a idéia que não há diferenças nas adaptações dos treinamentos entre força máxima e rápida até 8-12 semanas de treinamento (HÄKKINEN et al., 1994).

Contrário a isso, Guglielmo et al. (2009) encontraram uma melhora mais significativa na ECO para indivíduos submetidos ao treinamento de força máxima. Contudo, a amostra desse estudo foi composta por corredores bem treinados, os quais poderiam responder de forma distinta à essa adaptação entre os treinamentos de força, diferentemente do presente estudo e de Taipale et al. (2010), os quais foram selecionados corredores recreacionais como amostra para o treinamento.

No presente estudo os ganhos tornaram-se similares entre FM e FR para ECO (melhoras de 4 e 5%, respectivamente). Esses resultados assemelham-se aos estudos de Millet et al. (2002), Storen et al. (2008), Piacentini et al. (2013) e Sedano et al. (2013). Dessa forma, a intervenção em FM e FR confirmam os benefícios que o treinamento de força possui para a ECO em corredores recreacionais, transferindo as adaptações do treinamento para a corrida. Dentre elas, a diminuição do desenvolvimento da tensão da fibra muscular em cada passo e menor dependência de fibras do tipo II para uma mesma carga submáxima (HOFF et al., 2002; CADORE et al., 2011; SEDANO et al., 2013).

As respostas pós-treinamento para P_{met60} e P_{metAER} e P_{metTOT} mantiveram-se semelhantes com os valores pré-treinamento para todos os grupos ($p > 0,05$). Esses valores foram similares ao estudo de Luhtanen et al. (1990), mas foram maiores que Keir et al. (2012). Provavelmente essa diferença possa estar relacionada ao método para obtenção dessa variável. No presente estudo considerou-se um único valor

referente à média da constante da curva do VO_2 , e no estudo de Keir et al. (2012) adicionaram-se os valores médios do dispêndio metabólico a cada 20s de teste.

Interessantemente, a manutenção dos valores da P_{met} evidenciaram uma melhora nesse comportamento metabólico para o grupo FM devido ao aumento na intensidade da corrida em 60 e 110% da $vVO_{2máx}$ após as 8 semanas de treinamento. Por um lado a ECO apresentou ganhos em ambos os grupos, a P_{met} demonstrou uma melhora para o grupo FM, destacando o aumento na velocidade sem a necessidade de um dispêndio metabólico maior para isso.

A resposta da P_{met} após a intervenção do treinamento de força tem recebido pouca atenção da literatura específica. O componente metabólico tem sido representado principalmente pela ECO, a qual indica um dispêndio de energia por unidade de distância percorrida. Mesmo assim, dados de potência, que definem um gasto de energia pela unidade de tempo, também estão relacionados com esse comportamento, pois também explicam a economia de movimento durante a corrida (HEISE et al., 2011). Com isso, a similaridade nos resultados entre P_{met} e ECO no presente estudo suportam essa afirmação.

Outro parâmetro ainda pouco avaliado em estudos com intervenção do treinamento de força tem sido o MAOD e sua contribuição para o dispêndio energético total durante a corrida, representando a energia anaeróbia. Essa contribuição tem sido estimada em estudos que utilizaram testes de velocidade máxima e concentrações de lactato durante alta intensidade (PAAVOLAINEN et al., 1999; MIKKOLA et al., 2007; 2011). Neles, a resposta dos treinamentos de força máxima e rápida tem sido positivas devido à diminuição no tempo de execução desses testes.

No presente estudo, o componente anaeróbio, representado pela $P_{metANAER}$, não sofreu alterações significativas em cada grupo após as 8 semanas de treinamento ($p > 0,05$). Esse resultado, aliado com o incremento da velocidade em 110% do $VO_{2máx}$ no grupo FM demonstrou uma maior economia de movimento com a intervenção do treinamento de força máxima. Essa melhora corrobora com pesquisas anteriores, as quais encontraram melhoras em testes anaeróbios máximos de corrida, como diminuição no tempo de sprints e aumento no tempo na duração de teste em velocidade máxima (MIKKOLA et al., 2007; 2011).

Ao comparar os métodos de treinamento de força máxima e rápida na resposta da velocidade anaeróbia máxima, MIKKOLA et al. (2011) encontraram maiores ganhos para o grupo submetido ao treinamento de força máxima. Isso indicou uma diminuição da contribuição do metabolismo anaeróbio, o que auxiliaria no processo de retardo da fadiga muscular para uma mesma intensidade. Além disso, esse resultado também corrobora com a diferença na magnitude entre os grupos FM e FR na intensidade supramáxima. Nele, notou-se uma melhora menos evidente com o treinamento de força rápida, que pode ser explicada pelo baixo volume no número de saltos realizados durante esse protocolo de treinamento. Assim, não oferecendo estímulo neuromuscular suficiente para melhorar o desempenho da corrida em alta intensidade.

Com isso, a manutenção da P_{metANAER} durante o presente estudo, principalmente para o grupo FM, evidencia a importância da inclusão desse tipo de treinamento para melhoras no desempenho da corrida em alta intensidade.

5.3. Variáveis biomecânicas

Assim como as variáveis metabólicas, as variáveis biomecânicas também apresentaram diferenças significativas em relação ao grupo de treinamento e à intensidade avaliada. Resumidamente, na intensidade referente à 60% da $v\text{VO}_{2\text{máx}}$, somente o grupo FM apresentou diferenças para $CP_{60\%}$ e $W_{\text{int}60\%}$ ($p = 0,03$ para ambas as variáveis). Para essa intensidade tal comportamento poderia ser esperado devido ao aumento da velocidade constatada nesse grupo após o período de treinamento (9,2 para 9,9 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$). Contudo, a manutenção dos parâmetros biomecânicos para as outras variáveis ($tc_{60\%}$, $ta_{60\%}$, $FP_{60\%}$, $W_{\text{ext}60\%}$, $W_{\text{tot}60\%}$ e $P_{\text{mec}60\%}$) sugerem uma manutenção na técnica da corrida com o aumento da velocidade.

Assim como Millet et al. (2002), os quais não encontraram mudanças nas variáveis espaço-temporais em um grupo submetido ao treinamento de força máxima após 12 semanas (tc , ta , FP e CP), o presente estudo distinguiu-se devido às diferenças na velocidade realizada pelo grupo FM antes e após 8 semanas. Ou seja, com o aumento da velocidade, não fez-se necessidade de incremento da demanda biomecânica. Esse comportamento pode estar associado com a economia de movimento devido à relação existente entre parâmetros biomecânicos com

metabólicos (TARTARUGA et al., 2004; HEISE et al., 2011; DORN et al., 2012). Pois, nesse sentido, sabe-se que com o aumento da velocidade de corrida há a necessidade de aumento do trabalho mecânico para elevar e acelerar o CM em relação ao ambiente e acelerar os segmentos em relação ao CM (W_{ext} e W_{int} , respectivamente) (WILLEMS et al., 1995; CAVAGNA et al., 2010). Como essa resposta manteve-se constante às variáveis biomecânicas em baixa intensidade no grupo FM, pode-se sugerir que a demanda metabólica estaria otimizada.

O resultado contrário foi encontrado para o grupo FR nas variáveis $W_{ext110\%}$, $W_{tot110\%}$ e $P_{mec110\%}$, as quais incrementaram seus valores significativamente, porém com a manutenção da velocidade de corrida. Enquanto isso, para as mesmas variáveis o grupo FM também obteve um aumento, mas acompanhado por um acréscimo na velocidade referente aos 110% do $VO_{2máx}$. Este último, seguindo o padrão de relação entre a velocidade com os parâmetros biomecânicos (NUMMELA et al., 2007).

Curiosamente, a elevação dos valores de $W_{ext110\%}$, $W_{tot110\%}$ e $P_{mec110\%}$ não foram acompanhados de um aumento na velocidade após o treinamento no grupo FR. Esse comportamento pode corroborar com a teoria do custo de geração de força proposto por Taylor et al. (1980). Nela, os autores afirmaram que os músculos transformam mais energia metabólica em força sem a necessidade de aumentar a velocidade do movimento (trabalho mecânico). Essa constatação foi suportada pelo aumento no consumo de oxigênio proporcional à massa adicional para realização da corrida. Assim, o custo metabólico da corrida seria explicado por um custo energético para gerar força sobre o tempo (TAYLOR et al., 1980; HEGLUND & TAYLOR, 1988) e o trabalho mecânico poderia ser realizado principalmente pelo componente tendíneo do sistema músculo-tendão. Esse pressuposto torna-se ainda mais forte devido à alta intensidade da corrida executada (acima de $15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), a qual está relacionada com a otimização do componente elástico (CAVAGNA et al., 2008).

Diante disso, com o aumento dos valores biomecânicos para o grupo FR, associados com uma manutenção da velocidade, pode-se inferir que houve uma otimização no componente contrátil durante o passo da corrida nessa intensidade. Essa melhora provavelmente deve-se à potencialização do mecanismo elástico, e em adaptações no mecanismo neural ocorrida nesse grupo, o qual não necessitaria

de um maior dispêndio metabólico ao mesmo tempo que adiciona um maior trabalho mecânico para a realização do movimento para a mesma intensidade (AURA et al., 1986; KOMI, 2000; ARELLANO & KRAM, 2014).

De uma forma geral, o comportamento das variáveis biomecânicas nas duas intensidades analisadas em ambos os grupos de treinamento de força induziu uma melhora no componente metabólico. Essa constatação torna-se mais evidente com a manutenção em algumas variáveis enquanto ocorre um aumento da velocidade (grupo FM, 60% da $vVO_{2máx}$) e um incremento em determinadas variáveis enquanto a velocidade mantém-se similar após o treinamento (FR, 110% da $vVO_{2máx}$).

5.4. Eficiência Mecânica

A Eff avaliada nas intensidades de 60 e 110% da $vVO_{2máx}$ apresentou valores similares com estudos anteriores, que encontraram um aumento nos seus valores com o incremento da intensidade quando analisado somente a contribuição do componente aeróbio ($Eff_{60\%}$ e Eff_{110AER}) (CAVAGNA & KANEKO, 1977; KANEKO; LUHTANEN et al., 1990). Da mesma forma, os resultados também corroboraram com pesquisas prévias que analisaram a Eff adicionando o componente anaeróbio. Nessa perspectiva, a Eff diminuiu com o incremento da intensidade, assim como o presente estudo (KANEKO; LUHTANEN et al., 1990; KEIR et al., 2012).

O principal resultado do presente estudo não apresentou diferenças significativas para $Eff_{60\%}$, Eff_{110AER} e Eff_{110TOT} após a inclusão dos treinamentos de força máxima e rápida em corredores recreacionais ($p > 0,05$). No entanto, para ambos os grupos de treinamento, FM e FR, o tamanho do efeito demonstrou-se moderado para FM em todas as variáveis de Eff (0,29, 0,44 e 0,34) e forte para FR em $Eff_{60\%}$ (0,78), e moderado para Eff_{110AER} e Eff_{110TOT} (0,26 e 0,30). Diferentemente do grupo C, o qual apresentou efeitos negativos para essas variáveis (-0,01, -0,18 e -0,37) (ver figura 11).

Acreditava-se que a inclusão dos treinamentos de força proporcionasse um aumento significativo nos valores de Eff nesses grupos, pois ela está intimamente ligada ao dispêndio metabólico, com o qual possui respostas positivas diante do treinamento de força máxima e rápida (STOREN et al., 2008; GUGLIELMO et al., 2009; TAIPALE et al., 2010; MIKKOLA et al., 2011). Porém, tal comportamento pôde

ser constatado somente através do tamanho do efeito demonstrado para as variáveis da Eff (moderado e forte). Mesmo assim, somente o grupo FR apresentou forte tamanho de efeito para a variável Eff_{60%}. Tal resultado pode estar relacionado a um maior acréscimo nos valores de P_{mec60%} (19%), combinado com a manutenção da P_{met60%}. Diversos estudos suportam esse achado, relatando os benefícios do treinamento de força rápida na economia metabólica através da maior atuação no componente elástico do sistema músculo-tendíneo dos membros inferiores (PAAVOLAINEN et al., 1999; MIKKOLA et al., 2007; SEDANO et al., 2013).

Curiosamente, esse aumento na P_{mec60%} após o treinamento no grupo FR não foi acompanhado por um aumento na velocidade da corrida, o que implicaria em uma maior resposta biomecânica (Willems et al., 1995). Isso pode justificar a presença da energia elástica, a qual auxilia na produção de trabalho mecânico sem que ocorra aumento no consumo energético (melhor eficiência) (CAVAGNA & KANEKO, 1977; KANEKO, 1990; KEIR et al., 2012). Essa resposta também é reflexo na ligeira diminuição do tc_{60%} e no aumento da ta_{60%} após o período de treinamento (não significativas) para o grupo FR, indicando um maior aproveitamento no retorno da energia elástica (PAAVOLAINEN et al., 1999).

Diferentemente do presente estudo, quando comparado ambos os métodos de treinamento, as respostas do treinamento de força máxima têm demonstrado uma influência mais positiva no comportamento do dispêndio metabólico (GUGLIELMO et al., 2009; TAIPALE et al., 2010). Guglielmo et al. (2009) reportaram uma melhora na economia de movimento mais acentuada para o grupo que treinou força máxima combinada com resistência. Os autores justificam esse achado baseados em uma possível otimização na taxa de aplicação de força durante o passo realizado na corrida, devido aos maiores ganhos de força contabilizados para esse grupo. No entanto, Paavolainen et al. (1999) afirmaram que o treinamento de força rápida induz a diferentes adaptações neuromusculares, como o maior aumento na taxa de ativação de unidades motoras, o que também auxiliaria na economia de movimento.

Mesmo com a variação nas respostas do componente metabólico em relação à influência dos treinamentos de força máxima e rápida, sabe-se que ambos são mais significativos para esse tipo de variável quando comparado com o treinamento isolado de resistência (MILLET et al., 2002; GUGLIELMO et al., 2009; TAIPALE et

al., 2010). No entanto, para discussão da Eff, o componente biomecânico possui poucas respostas com a aplicação do treinamento de força (PAAVOLAINEN et al., MILLET et al., 2002). Dessas intervenções não observou-se nenhuma variação em parâmetros espaço-temporais (ex.: t_c , t_a , FP e CP). Entretanto, esses estudos têm utilizado testes em velocidade constante, diferentemente do presente estudo, o qual analisou intensidades baseadas na $vVO_{2máx}$ e não apresentou uma diferença em relação ao comportamento biomecânico espaço-temporal. Assim, um maior efeito no grupo FR para Eff_{60%}, mesmo com a manutenção da velocidade para esse grupo, reforça os benefícios constatados com esse tipo de treinamento em relação aos aspectos neuromusculares na conversão de energia mecânica em energia metabólica de uma forma mais eficiente (KYRÖLÄINEN et al., 2004).

Em relação ao tamanho de efeito da Eff_{110AER} e Eff_{110TOT} os grupos FM e FR apresentaram semelhança (efeito moderado). Em ambos houve um aumento significativo na $P_{mec110\%}$ associado com uma manutenção do $P_{met110\%}$, porém, esse comportamento não foi suficiente para possibilitar incrementos significativos, ou um maior tamanho de efeito na Eff_{110AER} e Eff_{110TOT}. Apesar disso, o moderado tamanho de efeito, comparado ao efeito negativo gerado no grupo C afirma a importância dos modelos de treinamento de força também para a Eff da corrida em alta intensidade.

Além disso, a Eff_{110TOT} apresentou um aumento com o acréscimo do componente anaeróbio em seu cálculo, comparado à Eff_{110AER} em todos os grupos. Esse resultado difere dos estudos de Luhtanen et al. (1990) e Keir et al. (2012), os quais encontraram uma queda nos valores de Eff acrescidos com energia anaeróbia. Em seus estudos o aumento da P_{mec} esteve ligado com um incremento no dispêndio metabólico total (aeróbio e anaeróbio). Contudo, o presente estudo apresentou valores de P_{met} menores em relação aos estudos anteriores em ambas as situações, pré e pós-treinamento. Provavelmente, esta resposta possa estar vinculado ao cálculo utilizado para estimativa dessa variável e nível de treinamento dos indivíduos. Assim, o denominador da equação de Eff tornou-se menor, proporcionando uma maior resposta da Eff_{110TOT} em comparação com a Eff_{60%}.

Os benefícios do treinamento de força máxima e rápida tornaram-se importantes na resposta da Eff_{110AER} e Eff_{110TOT}, pois em ambos os grupos experimentais o dispêndio metabólico (P_{metAER} e $P_{metANAER}$) manteve-se similar, mesmo com o aumento da velocidade para a intensidade referente à 110% da

$vVO_{2m\acute{a}x}$. Simultaneamente, o aumento na resposta da $P_{mec110\%}$ devido ao aumento da velocidade favoreceu para a melhora da Eff_{110AER} e Eff_{110TOT} . Nesse aspecto, os resultados do presente estudo corroboraram com Mikkola et al. (2011) e Taipale et al. (2013), os quais encontraram melhoras na velocidade referente à intensidade máxima e ao tempo de exaustão em um teste máximo para grupos submetidos à 8 semanas de treinamentos de força máxima e rápida. Esse resultado esteve relacionado com uma diminuição na concentração de lactato desses indivíduos em baixas e altas intensidades após o treinamento, diminuindo a contribuição do metabolismo anaeróbio e incrementando o desempenho da corrida (tempo de exaustão).

Diante disso, as adaptações geradas pelos treinamentos de força máxima e rápida beneficiaram a $Eff_{60\%}$, Eff_{110AER} e Eff_{110TOT} através de um tamanho de efeito moderado e forte. Esse resultado teve um maior impacto no grupo FR em relação à $Eff_{60\%}$ devido à otimização na conservação e liberação de energia elástica nessa intensidade (diminuição e aumento no $tc_{60\%}$ e $ta_{60\%}$, respectivamente, combinado com uma manutenção da velocidade). Enquanto isso, a Eff_{110AER} e Eff_{110TOT} obtiveram um efeito moderado em ambos os grupos (FM e FR). Entretanto, o aumento da velocidade nessa intensidade nos dois grupos com um comportamento constante na P_{metAER} e $P_{metANAER}$ podem indicar uma melhora na Eff apesar de diferenças não apresentadas em estatística inferencial, sugerindo precaução na interpretação desses resultados.

5.5. Desempenho em 5 km

Em relação à prova de 5 km, o t_{5km} apresentou melhora significativa para os grupos FM e FR ($p = 0,03$ e $p = 0,02$, respectivamente). Além disso, apresentaram um tamanho de efeito moderado (0,27 para ambos) (ver tabela 9 e figura 12). Esses resultados corroboram com estudos prévios que também utilizaram uma medida de tempo de prova para constatar o efeito dos treinamentos de força (PAAVOLAINEN et al., 1999; SPURRS et al., 2003; STOREN et al., 2008; SEDANO et al., 2013; RAMÍREZ-CAMPILLO et al., 2014). Porém, a única pesquisa que utilizou amostra semelhante ao presente estudo não encontrou melhoras significativas no tempo de

prova de 3 km. Apesar disso, os autores encontraram uma tendência de melhora após a intervenção do treinamento de força máxima (KELLY et al., 2008).

O presente estudo conseguiu relacionar parâmetros metabólicos com parâmetros biomecânicos para tentar explicar os resultados do t_{5km} . Nessa perspectiva, ambos os grupos submetidos aos treinamentos de força apresentaram aspectos que podem ter auxiliado na melhora do t_{5km} . Dentre eles, o aumento na $vVO_{2máx}$ referente à 60 e 110% para o grupo FM, aliado a uma manutenção nos valores de P_{met} .

Diferentemente, o grupo FR não obteve um aumento significativo na $vVO_{2máx}$, no entanto, o aumento apresentado em variáveis biomecânicas associadas ao componente de aplicação de força (P_{mec} , W_{ext}) em 110% da $vVO_{2máx}$ possam ter auxiliado para a diminuição no t_{5km} .

Todos esses aspectos, independente da intensidade analisada, conseguiram de certa forma responder à melhora no desempenho dos corredores recreacionais representados pelo t_{5km} . E, por ser um teste específico, torna o resultado ainda mais evidente para a população de corredores recreacionais. Contrário a isso, diversos estudos haviam analisado a resposta de testes de velocidade, ou provas com duração mais curta para representarem o desempenho em corredores (amadores, ou elite), o que caracterizaria como fonte principal de energia o componente anaeróbio (MILLET et al., 2002; MIKKOLA et al., 2007; 2011; BARNES et al., 2013; TAIPALE et al., 2013).

O aumento de força encontrado no grupo FM e a influência do treinamento de força rápida no grupo FR foram de certa forma transferidos para habilidades específicas à corrida. Mais especificamente, o grupo FR obteve uma melhora no t_{5km} mesmo sem incrementos na altura dos saltos, possivelmente devido a uma interferência do treinamento de resistência para esse grupo, o que não impediu a melhora no desempenho da corrida.

Essas respostas tornaram-se evidentes através da mudança em componentes metabólicos e biomecânicos que compõem a Eff da corrida, e com isso, determinantes para um melhor desempenho em uma prova de 5 km.

6. CONCLUSÃO

Os resultados encontrados na presente dissertação sugerem uma melhora nas respostas metabólicas através do comportamento biomecânico em grupos de corredores recreacionais submetidos a treinamentos de força máxima e rápida de 8 semanas.

Em ambos os grupos de treinamento de força não houve diferença significativa na Eff (assumindo dois tipos de cálculos) em duas intensidades diferentes. Porém o tamanho do efeito foi representativo para ambos (moderado e forte) nas situações analisadas. A partir desse resultado é possível relacionar a melhora da $vVO_{2máx}$ para o grupo FM, a qual refletiu em uma resposta constante para algumas variáveis biomecânicas, aliada com um aumento no W_{int} e CP e manutenção da P_{met} , o que colaborou para uma melhor resultado do grupo FM em ambas as intensidades.

Além disso, a resposta da ECO também foi positiva para ambos os grupos FM e FR e auxilia a Eff com um comportamento semelhante, representando dispêndio de energia por distância percorrida.

Enquanto isso, para o grupo FR, a manutenção nos valores da $vVO_{2máx}$ associada com um incremento na resposta biomecânica e manutenção no dispêndio metabólico, indicou uma melhora não significativa da Eff nas duas intensidades.

Esse fator auxiliou no entendimento da resposta que os grupos FM e FR obtiveram em relação ao desempenho em uma prova de 5 km. Assim, sugerindo a inclusão dos treinamentos de força máxima e rápida para um grupo de corredores recreacionais.

Por fim, acredita-se que esses achados possam contribuir para atletas e praticantes de corrida, assim como treinadores do esporte, uma vez que os benefícios da inclusão do treinamento de força já tem sido documentados para ECO, e agora também representativos para o tempo de prova.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAGAARD P., ANDERSEN JL., BENNEKOU M., LARSSON B., OLESEN JL., CRAMERI R., MAGNUSSON SP., KJAER M. Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. **Scandinavian Journal of Medicine Sports**. 21 (6): 298-307, 2011.

ABE D., FUKUOKA Y., MURAKI S., YASUKOUCHI A., SAKAGUCHI Y., NIIHATA S. Effects of Load and Gradient on Energy Cost of Running. **Journal Physiological Anthropology**. 30: 153-160, 2011.

ALBRACHT K., ARAMPATZIS A. Exercise-induced changes in triceps surae tendon stiffness and muscle strength affect running economy in humans. **European Journal of Applied Physiology**. 113:1605-1615, 2013.

ALEXANDER R. McN. Modelling approaches in biomechanics. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**. 358: 1429-1435, 2003.

ARAMPATZIS A., DE MONTE G., KARAMANIDIS K., MOREY-KLAPSING G., STAFILIDIS S., BRÜGGEMANN G.-P. Influence of the muscle-tendon unit's mechanical and morphological properties on running economy. **The Journal of Experimental Biology**. 209: 3345-3357, 2006.

ARELLANO C., KRAM R. Partitioning the metabolic cost of human running: A task-by-task approach. **Integrative and Comparative Biology**. 1-15, 2014.

ARDIGÒ L. P., SAIBENE F., MINETTI A. E. The optimal locomotion on gradients: walking, running or cycling? **European Journal of Applied Physiology**. 90: 365-371, 2003.

ASSUMPÇÃO C. O., LIMA L. C. R., OLIVEIRA F. B. D., GRECO C. C., DENADAI B. S. Exercise-induced muscle damage and running economy in humans. **The Scientific World Journal**. 4: 1-11, 2013.

BALABINIS C., PSARAKIS C., MOUKAS M., VASSILIOU M., BEHRAKIS P. Early phase changes by concurrent endurance and strength training. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 17: 393-401, 2003.

BANGSBO J., MICHALSIK L., PETERSEN A. Accumulated O₂ deficit during intense exercise and muscle characteristics of elite athletes. **International Journal of Sports Medicine**. 14 (4): 207-213, 1993.

BARNES K., HOPKINS W., MCGUIGAN M., NORTHIUS M., KILDING A. Effects of resistance training on running economy and cross-country performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 45 (12): 2322-2331, 2013.

BEATTIE K., KENNY I., LYONS M., CARSON B. The effect of strength training on performance in endurance athletes. **Sports Medicine**. 44 (6): 845-65, 2014.

BENEKE R., HÜTLER M. The effect of training on running economy and performance in recreational athletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 37 (10): 1794-1799, 2005.

BERRYMAN N., MAUREL D., BOSQUET L. Effect of plyometric vs. dynamic weight training on the energy cost of running. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 24 (7): 1818-25, 2010.

BILLAT V., SIRVENT P., LEPRETRE P.-M., KORALSZTEIN J. P., Training effect on performance, substrate balance and blood lactate concentration at maximal lactate steady state in master endurance-runners. **European of Journal Physiology**. 447: 875-883, 2004.

BLAXTER K. Energy metabolism in animals and man. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

BLICKHAN R. The spring-mass model for running and hopping. **Journal of Biomechanics**. 22: 1217-1227, 1989.

BONACCI J., CHAPMAN A., BLANCH P., VICENZINO B. Neuromuscular adaptations to training, injury and passive interventions: Implications for running economy. **Sports Medicine**. 39 (11): 903-921, 2009.

BOSCO C., KOMI P. V., TIHANYI J., FEKETE G., APOR R. Mechanical power test and fiber composition of human leg extensor muscles. **European Journal of Applied Physiology**. 51:129-135, 1983.

BOSQUET L., DUCHENE A., DELHORS P. R., DUPONT G., CARTER H. A comparison of methods to determine maximal accumulated oxygen deficit in running. **Journal of Sports Sciences**. 26 (6): 663-670, 2008.

BROOKS G. A. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 17 (1): 22-31, 1985.

BROOKS G. A., GAESSER G. A. End points of lactate and glucose metabolism after exhausting exercise. **Journal of Applied Physiology**. 49: 1057-1069, 1980.

BULA J. E., RHODES E. C., LANGILL R. H., SHEEL A. W., TAUNTON J. E. Effects of interindividual variation, state of training, and prolonged work on running economy. **Biology of Sport**. 25 (3): 197-210, 2008.

BUSKÒ K. Power output and mechanical efficiency of human muscle in maximal cycle ergometer efforts at different pedalling rates. **Biology of Sport**. 22 (1): 35-51, 2005.

CADORE E. L., PINTO R. S., PINTO S. S., ALBERTON C. L., CORREA C. S., TARTARUGA M. P., SILVA E. M., ALMEIDA A. P. V., TRINDADE G. T., KRUEL L. F. M. Effects of strength, endurance, and concurrent training on aerobic power and dynamic neuromuscular economy in elderly men. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 25(3): 758-766, 2011.

CAMPBELL D. T., STANLEY J. C. **Delineamentos experimentais e quase-experimentais de pesquisa**. São Paulo: EPU: Ed. Universidade de São Paulo, 1979.

CAMPOS G. E., LUECKE T. J., WENDELN H. K., TOMA K., HAGERMAN F. C., MURRAY T. F., RAG K. E., RATAMESS N. A., KRAEMER W. J., STARON R. S. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. **European Journal of Applied Physiology**. 88: 50–6, 2002.

CAVAGNA, G. A. Force platforms as ergometers. **Journal of Applied Physiology**. 39: 174-179, 1975.

CAVAGNA G. A. Symmetry and asymmetry in bouncing gaits. **Symmetry**. 2: 1270-1321, 2010.

CAVAGNA G. A., FRANZETTI P., HEGLUND N. C, WILLEMS P. The determinants of the step frequency in running, trotting and hopping in man and other vertebrates. **Journal of Physiology**. 399: 81-92, 1988.

CAVAGNA G. A., HEGLUND N. C., TAYLOR R. Mechanical work in terrestrial locomotion: two basic mechanisms for minimizing energy expenditure. **American Journal of Physiology**. 233 (5): 243-261, 1977.

CAVAGNA G. A., KANEKO M. Mechanical work and efficiency in level walking and running. **Journal of Physiology**. 268 (2): 467-481, 1977.

CAVAGNA G. A., LEGRAMANDI M. A., PEYRÉ-TARTARUGA L. A. Old men running: mechanical work and elastic bounce. **Proceedings of the Royal Society B**. 275: 411-418, 2008.

CAVAGNA G. A., SAIBENE F., MARGARIA R. External work in walking. **Journal of Applied Physiology**. 18 (1): 1-9, 1963.

CAVAGNA G. A., THYS H., ZAMBONI A. The sources of external work in level walking and running. **Journal of Physiology**. 262: 639-657, 1976.

CAVANAGH P. R., KRAM R. Mechanical and muscular factors affecting the efficiency of human movement. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 17 (3): 326-331, 1985a.

CAVANAGH P. R., KRAM R. The efficiency of human movement – a statement of the problem. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 17 (3): 304-308, 1985b.

CHAPMAN R. F., LAYMON A. S., WHILITE D. P., MCKENZIE J. M., TANNER D. A., STAGER J. M. Ground contact time as an indicator of metabolic cost in elite distance runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 44 (5): 917-925, 2012.

COHEN J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. New York: New York University, 1988.

CONCONI F., FERRARI M., ZIGLIO P. G., DROGHETTI P., CODECA L. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. **Journal of Applied Physiology**. 52 (4): 869-873, 1982.

DAL PUPO J., ARINS F. B., GUGLIELMO L. G. A., DA SILVA R., MORO A. R., DOS SANTOS S. G., Physiological and neuromuscular indices associated with sprint running performance. **Research in Sports Medicine**, 21:124-135, 2013.

DANIELS J. **Daniel's Running Formula**. Champaign: Ed. Human Kinetic, 2^o Ed. 2005.

DANIELS J., DANIELS N. Running economy of elite male and elite female runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 24 (4):483-489, 1992.

DAVIS J. A. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 17 (1): 6-18, 1985.

DENADAI B. S. Limiar anaeróbio: Considerações fisiológicas e metodológicas. **Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde**. 1 (2): 74-88, 1995.

DI PRAMPERO P. E., ATCHOU G., BRÜKNER J-C., MOIA C. The energetics of endurance running. **European Journal of Applied Physiology**. 55: 259-266, 1986.

DI PRAMPERO P. E., CAPELLI C., PAGLIARO P., ANTONUTTO G., GIRARDIS M., ZAMPARO P., SOULE R. G. Energetics of best performances in middle-distance running. **Journal of Applied Physiology**. 74 (5): 2318-2324, 1993.

DI PRAMPERO P. E., FERRETI G. The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. **Respiration Physiology**. 118: 103-115, 1999.

DOCHERTY D., SPORER B. A Proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent aerobic and strength training. **Sports Medicine**. 2000 (6): 385-394.

DORN T., SCHACHE G., PANDY M. Muscular strategy shift in human running: dependence of running speed on hip and ankle muscle performance. **The Journal of Experimental Biology**. 215: 1944-1956, 2012.

FARLEY C. T., FERRIS D. P. Biomechanics of walking and running: center of mass movements to muscle action. 26 (1): 253-286, 1998.

FENN W. O. Frictional and kinetic factors in the work of sprint running. **American Journal of Physiology**. 92 (3): 583-611, 1930.

FINNI T., IKEGAWA S., KOMI P. V. Concentric force enhancement during human movement. **Acta Physiologica Scandinavica**. 173: 369-377, 2001.

FOSTER C., LUCIA A. Running economy: The forgotten factor in elite performance. **Sports Medicine**. 37 (4-5): 316-319, 2007.

FLETCHER J. R., ESAU S. P., MACINTOSH B. R. Economy of running: beyond the measurement of oxygen uptake. **Journal of Applied Physiology**. 107: 1918-1922, 2009.

FURRER R., de HAAN A., BRAVENBOER N., KOS D., LIPS P., JASPERS RT. Effects of Concurrent Training on Oxidative Capacity in Rat Gastrocnemius Muscle. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 45 (9):1674-83, 2013.

GAUDINO P., GAUDINO C., ALBERTI G., MINETTI A. E. Biomechanics and predicted energetics of sprinting on sand: Hints for soccer training. **Journal of Science and Medicine in Sport**. 16: 271-275, 2013.

GOROSTIAGA E. M., NAVARRO-AMÈZQUETA I., CUSO R., HELLSTEN Y., CALBET J. A. L., GUERRERO M., GRANADOS C., GONZÁLEZ-IZAL M., IBÁÑEZ J., IZQUIERDO M. Anaerobic energy expenditure and mechanical efficiency during exhaustive leg press exercise. **Plos One**. 5 (10): 1-11, 2010.

GUGLIELMO L. G., GRECO C., DENADAI B. Effects of strength training on running economy. **International Journal of Sports Medicine**. 30: 27 – 32, 2009.

GREGOR R. J., KIRKENDALL D. Performance efficiency of world class female marathon runners. In **Biomechanics VI-B**. 40-45, 1978.

HEGGELUND J., FIMLAND M., HELGERUD J., HOFF J. Maximal strength training improves work economy, rate of force development and maximal strength more than conventional strength training. **European Journal of Applied Physiology**. 113: 1565-1573, 2013.

HEGLUND N. C., CAVAGNA G. A. Efficiency of vertebrate locomotory muscles. **The Journal of Experimental Biology**. 115: 283-292, 1985.

HEGLUND N. C., CAVAGNA G. A. Mechanical work, oxygen consumption, and efficiency in isolated frog and rat muscle. **American Journal of Physiology**. 253 (22): 22-29, 1987.

HEISE G., SMITH J., MARTIN P. Muscular strategy shift in human running: dependence of running speed on hip and ankle muscle performance. **European Journal of Applied Physiology**. 98: 665-671, 2011.

HENCHOZ Y., MALATESTA D., GREMION G., BELLI A. Effects of the transition time between muscle-tendon stretch and shortening on mechanical efficiency. **European Journal of Applied Physiology**. 96: 665-671, 2006.

HELGERUD J. Maximal oxygen uptake, anaerobic threshold and running economy in women and men with similar performances level in marathons. **European Journal of Applied Physiology**. 68: 155-161, 1994.

HELGERUD J., STOREN O., HOFF J. Are there differences in running economy at different velocities for well-trained distance runners? **European Journal of Applied Physiology**. 108: 1099-1105, 2010.

HICKSON R. C., DVORAK B. A., GOROSTIAGA E. M., KUROWSKI T. T., FOSTER C. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. **Journal of Applied Physiology**. 65 (5): 2285-2290, 1988.

HILL A. V. Anaerobic survival muscle. **Proceedings of the Royal Society B**. 21, 1929.

HOFF J., GRAN A., HELGERUD J. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**. 12: 288-295, 2002.

HOFMANN P., POKAN R. Value of the application of the heart rate performance curve in sports. **International Journal of Sports Physiology and Performance**. 5: 437-447, 2010.

HOLLMANN W. Historical remarks on the development on the aerobic-anaerobic threshold up to 1966. **International Journal of Sports Medicine**. 6 (3): 109-116, 1966.

HOPKINS W., MARSHALL S., BATTERHAM A., HANIN J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 41 (1): 3-12, 2009.

HUNTER G., NEWCOMER B., LARSON-MEYER D., BAMMAN M., WEIN- SIER R. Muscle Metabolic Economy Is Inversely Related To Exercise Intensity And Type II Myofiber Distribution. **Muscle & Nerve**. 24: 654-661, 2001.

ISHIKAWA M., KOMI P. V., GREY M. J., LEPOLA V., BRUGGEMANN G-P. Muscle-tendon interaction and elastic energy usage in human walking. **Journal of Applied Physiology**. 99: 603-608, 2005.

ISSURIN V. B. New horizons for the methodology and physiology of training periodization. **Sports Medicine**. 40: 189-206, 2010.

ITO A., KOMI P. V., SJODIN B., BOSCO C., KARLSSON J. Mechanical efficiency of positive work in running at different speeds. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 15: 299-308, 1983.

JACKSON S., POLLOCK L., WARD A. Generalized equations for predicting body density of women. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 12: 175-181, 1980.

JAKICIC J. M., CLARK K., COLEMAN E., DONNELLY J. E., FOREYT J., MELANSON E., VOLEK J., VOLPE S. L. Appropriate intervention strategies for weight loss and

prevention of weight regain for adults. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 33 (12): 2145-2156, 2001.

JONES A., DOUST J. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. **Journal of Sports Sciences**. 14: 321-327, 1996.

KANEKO M. Mechanics and energetics in running with special reference to efficiency. **Journal of Biomechanics**. 23 (1): 57-63, 1990.

KANEKO M., KOMI P. V., AURA O. Mechanical efficiency of concentric and eccentric exercises performed with medium to fast contraction rates. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**. 6: 15-20, 1984.

KEIR D. A., ZORY R., BOUDREAU-LARIVIÉRE C., SERRESSE O. Mechanical efficiency of treadmill running exercise: effect of anaerobic-energy contribution at various speeds. **International Journal of Sports Physiology and Performance**. 7: 382-389, 2012.

KELLY C., BURNETT A., NEWTON M. The effect of strength training on three-kilometer performance in recreational women endurance runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 22 (2): 396-403, 2008.

KOMI P. V. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. **Journal of Biomechanics**. 33: 1197-1206, 2000.

KYRÖLÄINEN H., AVELA J., McBRIDE JM., KOSKINEN S., ANDERSEN JL., SIPILÄ S., TAKALA T. E. S., KOMI P. V. Effects of power training on mechanical efficiency in jumping. **European Journal of Applied Physiology**. 91: 155-159, 2004.

KYRÖLÄINEN H., BELLI A., KOMI P. V. Biomechanical factors affecting running economy. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 33 (8): 1330–1337, 2001.

KYRÖLÄINEN H., KOMI P. V., OKSANEN P., HÄKKINEN K., CHENG S., KIM D. H. Mechanical efficiency of locomotion in females during different kinds of muscle action. **European Journal of Applied Physiology**. 61: 446-452, 1990.

LINNAMO V., NEWTON R., HÄKKINEN K., KOMI P., DAVIE A., McGUIGAN M., TRIPPLET-McBRIDE. Neuromuscular responses to explosive and heavy resistance loading. **Journal of Electromyography and Kinesiology**. 10: 417-424, 2000.

LUHTANEN P., RAHKILA P., RUSKO H., VIITASALO J. T. Mechanical work and efficiency in treadmill running at aerobic and anaerobic thresholds. **Acta Physiologica Scandinavica**. 139: 153-159, 1990.

MARGARIA R. Positive and Negative Work Performances and Their Efficiencies in Human Locomotion. **Internationale Zeitschrift für Angewandte Physiologie, Einschliesslich Arbeitsphysiologie**. 25: 339-351, 1968.

MARGARIA R. Sulla fisiologia e specialmente sul consumo energetico della marcia e della corsa a varia velocita ed inclinazione del terreno. **Atti Accademia Nazionale dei Lincei**. 7: 299-368, 1938.

MARGARIA R., CERRETELLI P., AGHEMO P., SASSI G., Energy cost of running. **Journal of Applied Physiology**. 18 (2): 367-370, 1963.

MARKOVIC G. Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. **British Journal of Sports Medicine**. 41: 349-355, 2007.

MAYHEW J. L. Oxygen cost and energy expenditure of running in trained runners. **British Journal of Sports Medicine**. 11 (3): 116-121, 1977.

Mc CARTHY J. P., POZNIAK M. A., AGRE J. C. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 34 (3): 511-519, 2002.

Mc COLE S. D., BROWN M. D., MOORE G. E., ZMUDA J. M., CWYNAR J. D., HAGBERG J. M., Enhanced cardiovascular hemodynamics in endurance-trained postmenopausal women athletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 32 (6): 1073-1079, 2000.

MEDBO J. L., MOHN A. C., TABATA L., BAHR R., VAAGE O., SEJERSTED O. M., Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. **Journal of Applied Physiology**. 64 (1): 50-60.

MELANSON E. L., FREEDSON P. S. The effect on endurance training on resting heart rate variability in sedentary adult males. . **European Journal of Applied Physiology**. 85: 442-449, 2001.

MIKKOLA J., RUSKO H., NUMMELA A., POLLARI T., HÄKKINEN K. Concurrent Endurance and explosive type strength training Improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. **International Journal of Sports Medicine**. 28: 602-611, 2007.

MIKKOLA J., VESTERINEN V., TAIPALE R., CAPOSTAGNO B., HÄKKINEN K., NUMMELA A. Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular performance in recreational endurance runners. **Journal of Sports Sciences**. 29(13): 1359-1371, 2011.

MILLET G. P., JAQUEN B., BORRANI F., CANDAU R. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 34 (8): 1351-1359, 2002.

MINETTI A. E. A model equation for the prediction of mechanical internal work of terrestrial locomotion. **Journal of Biomechanics**. 31: 463-468, 1998.

MINETTI A. E., MOIA C., ROI G. S., SUSTA D., FERRETI G. Energy cost of walking and running at extreme uphill and downhill slopes. **Journal of Applied Physiology**. 93: 1039-1046, 2002.

MORGAN B., WOODRUFF S. J., TIIDUS P. M. Aerobic energy expenditure during recreational weight training in females and males. **Journal of Sports Science and Medicine**. 2: 117-122, 2003.

NARDELLO F., ARDIGÒ L. P., MINETTI A. E. Measured and predicted mechanical internal work in human locomotion. **Human Movement Science**. 30 (1): 90-104, 2011.

NEWTON R., KRAEMER W., Developing explosive muscular power: Implications for a mixed methods training strategy. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 20-31, 1994.

NOORDHOF D. A., KONING J. J., FOSTER C. The maximal accumulated oxygen deficit method: a valid and reliable measure of anaerobic capacity? **Sports Medicine**. 40 (4): 285-302, 2010.

NOVACHEK T. The biomechanics of running. **Gait and Posture**. 7: 77–95, 1998.

NUMMELA A., KERANEN T., MIKKELSSON L. O. Factors related to top running speed and economy. **International Journal of Sports and Medicine**. 28(8): 655-61, 2007.

OSTERAS H., HELGERUD J., HOFF J. Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans. **European Journal of Applied Physiology**. 88: 255-263, 2002.

PAAVOLAINEN L., HÄKKINEN K., HÄMÄLÄINEN I., NUMMELA A., RUSKO H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. **Journal of Applied Physiology**. 86: 1527-1533, 1999.

PIACENTINI M. F., IOANNON G., COMOTTO S., SPEDIATO A., VERNILLO G., LA TORRE A. Concurrent strength and endurance training effects on running economy

in master endurance runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 27 (8): 2295-2303. 2013.

POLITO M. D., SIMÃO R., SENNA G. W., DE TARSO P., Hypotensive effects of resistance exercises performed at different intensities and same work volumes. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**. 9 (2): 74-77, 2003.

RAMÍREZ-CAMPILLO R., ÁLVAREZ C., HENRÍQUEZ-OLGUÍN C., BAEZ E., MARTÍNEZ C., ANDRADE D., IZQUIERDO M. Effects of plyometric training on endurance and explosive strength performance in competitive middle and long-distance runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 28 (1): 97-104, 2014.

RATAMESS N., ALVAR., EVETECH T. HOUSH T., KIBLER W., KRAEMER W. J., TRIPLETT N., Progression models in resistance training for healthy adults. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 41(3): 687-708, 2009.

SAIBENE F., MINETTI A. E. Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. **European Journal of Applied Physiology**. 88: 297-316, 2003.

SAUNDERS P. U, PYNE D. B., TELFORD R. D., HAWLEY J. A. Factors affecting running economy in trained distance runners. **Sports Medicine**. 34: 465–485, 2004.

SAUNDERS P. U., TELFORD R. D., PYNE D. B., PELTOLA E. M., CUNNINGHAM R. B., GORE C. J., HAWLEY J. A. Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 20 (4): 947-954, 2006.

SCHEPENS B., WILLEMS P. A., CAVAGNA G. A., HEGLUND N. C., Mechanical power and efficiency in running children. **European Journal Physiology**. 442: 107-116, 2001.

SCOTT C. B., ROBY F. B., LOHMAN T. G., & BUNT J. C. The maximal accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. **Journal of Science Medicine in Sport.** 23 (5): 618-623.

SEDANO S., MARÍN P., CUADRADO G., REDONDO J. C. Concurrent training in elite male runners: The influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes. **Journal of Strength and Conditioning Research.** 27 (9): 2433-2443, 2013.

SENTIJA D., VUCETIC V., MARKOVIC G. Validity of the modified Conconi running test. **International Journal of Sports Medicine.** 28 (12): 1006-1011, 2007.

SLAWINSKI J., DEMARLE A., KORALSZTEIN J.-P., BILLAT V. Effect of supra-lactate threshold training on the relationship between mechanical stride descriptors and aerobic energy cost in trained runners. **Archives of Physiology and Biochemistry.** 109 (2): 110-116, 2001.

SLAWINSKI J., HEUBERT R., QUIEVRE J., BILLAT V., HANNON C. Changes in spring-mass model parameters and energy cost during track running to exhaustion. **Journal of Strength and Conditioning Research.** 22 (3): 930-936, 2008.

SMITH S., MONTAIN S., MATLORR R., ZIENTARA G., JOLEZS F., FIELDING R. Creatine supplementation and age influence muscle metabolism during exercise. **Journal of Applied Physiology.** 85: 1349-1356, 1998.

SPURRS R., MURPHY A., WATSFORD M. The effect of plyometric training on distance running performance. **European Journal of Applied Physiology.** 89: 1-7, 2003.

STAFFILENO B. A., BRAUN L. T., ROSENSON R. S. The accumulative effects of physical activity in hypertensive post-menopausal women. **Journal of Cardiovascular Risk.** 8: 283-290, 2001.

STARON R., LEONARDI M., KARAPONDO D., MALICKY E., FALKEL J., HAGERMAN F., HIKIDA R. Strength and skeletal muscle adaptations in heavy resistance-trained women after detraining and retraining. **Journal of Applied Physiology**. 70: 631-640, 1991.

STOREN O., HELGERUD J., STOA E. M., HOFF J. Maximal strength training improves running economy distance runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 40 (6): 1087-1092, 2008.

TAIPALE R. S., MIKKOLA J., NUMMELA A., VESTERINEN V., CAPOSTAGNO B., WALKER S., GITONGA D., KRAEMER W. J., HÄKKINEN K. Strength Training in Endurance Runners. **International Journal of Sports Medicine**. 31: 468-476, 2010.

TAIPALE R. S., MIKKOLA J., VESTERINEN V., NUMMELA A., HÄKKINEN K. Neuromuscular adaptations during combined strength and endurance training in endurance runners: maximal versus explosive strength training or a mix of both. **European Journal of Applied Physiology**. 113: 325-335, 2013.

TARTARUGA M. P., BRISSWALTER J., PEYRÉ-TARTARUGA L. A., ÁVILA A. O. V., ALBERTO C. L., COERTJENS M., CADORE E. L., TIGGEMAN C. L., SILVA E. M., KRUEL L. F. M., The relationship between running economy and biomechanical variables in distance runners. **Research Quarterly for Exercise and Sport**. 83 (3): 367-375, 2012.

TARTARUGA L., TARTARUGA M., RIBEIRO J., COERTJENS M., RIBAS L., KRUEL L. F. Correlation between running economy and kinematic variables in high level runners. **Brazilian Journal of Biomechanics**. 5(9): 51-58, 2004.

TAYLOR C. R., HEGLUND N. C., Mc MAHON T. A., LOONEY T. R. Energetic cost of generating muscular force during running. **The Journal of Experimental Biology**. 86: 9-18, 1980.

TURNER A. M., OWINGS M., SCHWANE J. A. Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 17 (1): 60–67, 2003.

VENTURELLI M., RICHARDSON R. S., Point : Skeletal muscle mechanical efficiency does increase with age. **Journal of Applied Physiology**. 114: 1108-1109, 2013.

VILLARREAL E. S., REQUENA B., CRONIN J. B. The effects of plyometric training on sprint performance. A meta-analysis. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 26 (2): 575-584, 2012.

WILKIN L., CHERYL A., HADDOCK B. Energy expenditure comparison between walking and running in average fitness individuals. **Journal of Strength and Conditioning Research**. 26 (4): 1039-1044, 2012.

WILLIAMS K. R., CAVANAGH P. R. Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. **Journal of Applied Physiology**. 63 (3): 1236-1245, 1987.

ZAMPARO P., PERINI R., PEANO C., DI PRAMPERO P. E. The self selected speed of running in recreational long distance runners. **International Journal of Sports Medicine**. 22: 598-604, 2001.

8. ANEXOS

8.1. Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

A análise da mecânica da corrida pode revelar aspectos importantes da técnica e sua influência na energética da locomoção. A melhora no desempenho pode ser observada quando a técnica de corrida é aprimorada juntamente com o treinamento de força.

O projeto será desenvolvido na Escola de Educação Física (ESEF-UFRGS) e convida indivíduos que estejam interessados na prática da atividade física através da corrida e do treinamento de força (musculação). Os treinamentos ocorrerão na pista de atletismo e na sala de musculação da ESEF. Eles terão duração de 8 semanas e a frequência semanal dos treinos dependerá do grupo em que o indivíduo for designado. Os indivíduos serão subdivididos em 3 grupos, dos quais dois deles realizarão treinamento 5 vezes por semana, enquanto o restante realizará o treinamento 3 vezes por semana. Cada indivíduo será sorteado para cada grupo de maneira eletrônica e caso não consiga manter a rotina de treinamentos poderá se retirar a qualquer momento da pesquisa sem sofrer qualquer tipo de dano.

As sessões de treino serão combinadas com o pesquisador responsável, sendo que o próprio irá ministrar o treinamento de forma presencial. Durante esse período, o voluntário se responsabilizará em não realizar atividade física semelhante ao treinamento aplicado (musculação) e também que envolvam esportes cíclicos (bicicleta e natação), em horário não combinado com o pesquisador. Além disso, o voluntário não poderá utilizar suplementos alimentares (dietéticos e ergogênicos) como carboidratos, proteínas, vitaminas e aminoácidos consumíveis em pó. O protocolo das sessões consiste em exercícios de treinamento de força máxima, ou força rápida (de acordo com o grupo selecionado), com propósito de treinar esta mesma variável e analisar suas respostas frente aos testes de corrida realizados anteriormente e posteriormente a esse período.

Antes dos treinamentos, os indivíduos realizarão sessões de avaliações referentes aos componentes fisiológicos e biomecânicos da corrida. A primeira sessão consiste em corrida na esteira rolante, iniciando com velocidade de 6 km/h, com aumentos de 1 km/h a cada 60 segundos. Ele será encerrado quando o voluntário não suportar fisicamente a intensidade imposta, dessa forma, sendo finalizado de forma máxima até à exaustão. Após um intervalo de no mínimo 48 horas, será realizado outro teste em esteira rolante, com intensidades correspondentes a 60, 70 e 80% da intensidade máxima relacionada ao teste anterior durante 10 minutos cada. Ao término dessas intensidades submáximas, o indivíduo será submetido a um teste máximo na intensidade correspondente a 110% da intensidade máxima. Essa última intensidade deverá ser realizada até a exaustão do indivíduo.

Outra sessão de teste será baseada em uma prova de corrida de 5 km realizada nas dependências da ESEF. Os indivíduos deverão executar essa prova com o melhor desempenho possível, o qual será controlado pelo pesquisador responsável.

A última sessão de teste ocorrerá com no mínimo 72 horas após o teste de prova consistirá na realização de saltos verticais máximos realizados de duas formas diferentes (com e sem contramovimento) sob um tapete de contato. Todos os indivíduos serão incentivados a realizarem de forma máxima com orientação do pesquisador responsável.

Em todos os dias de treinamento os mesmos exercícios serão executados, os quais envolvem articulações como tornozelo, joelho, quadril, cotovelo, ombro e cintura escapular. Os aparelhos utilizados serão *leg press 45°*, agachamento *hack*, flexor de joelhos, flexor plantar e saltos com contramovimento. Cada sessão terá duração de aproximadamente 50 minutos e deverá respeitar intervalo mínimo de 48 horas entre elas.

Com o término do treinamento, uma reavaliação será realizada com o mesmo formato das anteriores para comparação das variáveis fisiológicas e biomecânicas da corrida.

Além disso, está sendo informado que alguns desconfortos poderão ser provocados pela realização das avaliações físicas ou pelos procedimentos necessários para a realização da pesquisa. Ela será cuidadosamente monitorada pelo pesquisador responsável, de forma que, sentindo qualquer desconforto com o teste e/ou treinamento, o mesmo estará responsável pela garantia dos cuidados com os riscos decorrentes durante a pesquisa. Assim, algumas sensações incômodas podem ocorrer devido a:

- Dor muscular nas coxas, cansaço físico, fadiga durante e após a realização dos exercícios físicos;
- Falta de ar devido à realização do esforço físico;

É assegurado o direito ao voluntário de não participar ou se retirar do projeto, quando este se sentir prejudicado com os testes e treinamento realizado. Pode, portanto, o aluno terminar ou interromper os testes e/ou treinamento em qualquer momento que não se sentir mais apto (lesão, enfermidade, indisponibilidade de horários). É assegurada também a confidencialidade e privacidade às informações coletadas (bem como a garantia do esclarecimento a qualquer dúvida).

Estou ciente que esse projeto de pesquisa oferecerá benefício físico direto e imediato às condições de saúde e desempenho das pessoas avaliadas (tais benefícios como ganhos de resistência aeróbia e massa muscular).

Pelo presente Consentimento Informado, declaro que fui esclarecido, de forma clara e detalhada, livre de qualquer forma de constrangimento e coerção, dos objetivos, da justificativa, dos procedimentos a que será submetido, dos riscos, desconfortos e benefícios do presente Projeto de Extensão.

Telefones para contato:

Jorge Storniolo (autor): (51) 8598-0688 ou (51) 3237-2636.

Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga (orientador): (51) 8406-3793.

Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS: (51) 3308-3629.

Data ____/____/____.

Nome e assinatura do voluntário: _____

- Não realizar exercício 24h antes dos testes;
- Não ingerir bebida alcoólica 24h antes dos testes;
- Não ingerir bebida com estimulante 2h antes dos testes (café, chimarrão, chá preto, coca-cola, etc);
- Não utilizar descongestionante nasal 4h antes dos testes;