

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E DANÇA

**Edson Soares da Silva**

**ASSOCIAÇÕES ENTRE A ARQUITETURA MUSCULAR, VARIÁVEIS  
FISIOLÓGICAS, FORÇA MUSCULAR E DESEMPENHO DE CORRIDA DE  
LONGA DISTÂNCIA**

Porto Alegre

2018

**Edson Soares da Silva**

**ASSOCIAÇÕES ENTRE A ARQUITETURA MUSCULAR, VARIÁVEIS  
FISIOLÓGICAS, FORÇA MUSCULAR E DESEMPENHO DE CORRIDA DE  
LONGA DISTÂNCIA**

Monografia apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, do departamento de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do diploma de bacharel em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga

Porto Alegre

2018

**Edson Soares da Silva**

**ASSOCIAÇÕES ENTRE A ARQUITETURA MUSCULAR, VARIÁVEIS  
FISIOLÓGICAS, FORÇA MUSCULAR E DESEMPENHO DE CORRIDA DE  
LONGA DISTÂNCIA**

Conceito final:

Aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr<sup>a</sup>. Caroline Pieta Dias – UFRGS

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga – UFRGS

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus amigos que participaram direta ou indiretamente da elaboração desse trabalho: atuais e antigos membros do Grupo de Pesquisa em Mecânica e Energética da Locomoção Terrestre (LOCOMOTION), que foram essenciais para o meu processo de formação acadêmica, em especial: Ana Paula Zanardi, Pedro Schons, Marcos Masiero, Onésimo Ubiratã, Renan Coimbra, Guilherme Berriel, Henrique Bianchi Oliveira, Paula Finatto, Rodrigo Gomes da Rosa, e Elren Monteiro. Além disso, ao meu orientador Professor Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga pela convivência diária, pelos ensinamentos para além da pesquisa e extensão, e por acreditar na ideia deste trabalho.

Sou imensamente agradecido também aos professores e pesquisadores da Universidade de Colorado, Boulder: Rodger Kram, Wouter Hoogkamer, Randolph Hutchison, Shalaya Kipp, Erik Summerside, Emily Drees, Roger Enoka, Alena Grabowski e William Byrnes. Durante meu estágio de pesquisa, todas essas pessoas, além de receptivas, foram fundamentais durante todo o processo. Wouter Hoogkamer e Roger Kram, têm sido grandes amigos e parceiros de pesquisa, além de fonte de inspiração.

Gostaria de agradecer também aos pesquisadores: Fabio Lanferdini, Francesco Boeno, Francesca Chaida Sonda e Marco Aurélio Vaz, pela ajuda direta nesse trabalho. Essa equipe de trabalho, assim como integrantes do LOCOMOTION enriqueceram os métodos e as discussões sobre os mecanismos envolvidos.

Agradeço aos meus melhores amigos da graduação: Priscila Antunes Marques, Leandro Coconcelli, e Gaspar Silva, por esses incríveis cinco anos de muita parceira, conquistas, desafios, apoio nos momentos difíceis e aprendizagem conjunta.

Agradeço à pessoa mais especial da minha vida, minha mãe Maria Lucia de Souza Silva, e aos meus familiares que mesmo distantes, sempre me incentivaram a estudar, a procurar ser o melhor e a superar os desafios.

## RESUMO

**Introdução:** Músculos como os do tríceps sural são importantes propulsores durante a corrida e as adaptações em sua morfologia podem tornar os corredores mais econômicos e melhorar o seu desempenho. Treinamentos de força rápida e máxima apresentam efeitos positivos no custo metabólico (C) e no desempenho de corredores de longa distância bem treinados, entretanto, com poucos efeitos para o consumo de oxigênio máximo ( $VO_2$ máx.). Entender o papel da arquitetura muscular e das variáveis fisiológicas no desempenho de corrida pode dar indícios sobre os principais mecanismos envolvidos na melhora do C e do desempenho de corrida, além de auxiliar em treinamentos específicos nessa população. O objetivo do estudo foi associar as variáveis de arquitetura muscular, a força muscular, e variáveis fisiológicas com o desempenho de corrida de 3000m. **Materiais e Métodos:** A amostra foi composta por 12 corredores de longa distância com idade  $33,29 \pm 7,40$  anos e massa corporal de  $69,52 \pm 6,47$  kg. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa (2437.616) e todos assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O estudo foi dividido em duas sessões de coletas. Na primeira, foram coletadas as variáveis de arquitetura muscular: espessura muscular (EM), ângulo de penação das fibras (AP) e comprimento do fascículo (CP) do gastrocnêmio medial (GM) e do gastrocnêmio lateral (GL) através da técnica de ultrassonografia. Na sequência, foi avaliada a contração isométrica voluntária máxima (CVM) dos flexores plantares em um dinamômetro isocinético, e após um período de repouso de 10 min., os sujeitos realizaram o teste de desempenho de corrida de 3.000 metros em uma pista de 400m. Na segunda sessão, os sujeitos realizaram o teste de economia de corrida em esteira a uma velocidade fixa de  $12 \text{ km.h}^{-1}$  durante 5 min., e realizaram um teste incremental máximo de corrida para avaliar as variáveis: 1º limiar ventilatório (LV1), 2º limiar ventilatório (LV2), velocidade associada ao LV1 (vLV1), velocidade associada ao LV2 (vLV2),  $VO_2$ máx., e a velocidade associada ao  $VO_2$ máx. (v $VO_2$ máx.). Foi verificada a normalidade dos dados através do teste de Shapiro Wilk. Na sequência foram realizadas correlações de Pearson para verificar as relações entre as variáveis independentes. Nos casos de variáveis independentes que apresentaram fortes e significativas correlações ( $r \geq 0,70$  e  $p < 0,05$ ), ao menos uma delas foram excluídas. Dessa forma, as variáveis independentes que restaram foram utilizadas no modelo de Regressão Linear Múltipla (*Stepwise*) afim de verificar se alguma delas explicaria o desempenho no teste de 3.000m. Os dados foram processados no software estatístico SPSS 22.0 e  $\alpha = 0,05$ . **Resultados:** A Regressão Linear Múltipla indicou que o  $VO_2$ máx. ( $p=0,01$ ) e o AP GL ( $p=0,03$ ) juntos explicaram 78,9% do desempenho de corrida de 3000m. **Conclusão:** Os resultados preliminares desse estudo indicam que o  $VO_2$ máx. e AP GL são responsáveis em conjunto por explicar o desempenho de corrida de 3.000m. Para melhora do desempenho de corrida, treinamentos de força máxima e rápida são indicados para aumento do AP de músculos propulsores como o gastrocnêmio, uma vez que em corredores bem treinados a janela fisiológica de aumento do  $VO_2$ máx. é limitada.

**Palavras-chave:** Economia de Corrida; Ângulo de Penação; Comprimento de Fascículo.

## ABSTRACT

**Introduction:** Triceps sural muscles are important force generators during running and adaptations in their morphology can provide less energy expenditure and improve running performance. Power training and maximal strength training showed positive effects in decreasing the metabolic cost ( $C$ ) in long distance runners; however, these training were not as effective for improving maximum oxygen consumption ( $VO_2\text{máx.}$ ). Understanding the role of muscle architecture and physiological functions could indicate the main mechanisms responsible for improving  $C$  and running performance, in addition to helping define specific training methods for this population. The objective of the study was to associate muscle architecture variables, strength and physiological variables with 3000m running performance. **Materials and Methods:** The sample consisted of 12 long distance runners, aged  $33.29 \pm 7.40$  years and body mass of  $69.52 \pm 6.47$  kg. The study was approved by the Research Ethics Committee (2437.616) and all subjects signed the Informed Consent Term. The study was divided into two sessions. In the first session, the muscular architecture variables were collected: muscle thickness (MT), pennation angle (PA) and fascicle length (FL) of medial gastrocnemius (MG) and lateral gastrocnemius (LG) through the ultrasonography technique. Subsequently, maximum voluntary isometric contraction (MVC) of the plantar flexors through an isokinetic dynamometer was evaluated, and after a 10 min. rest, the subjects performed the 3,000m running performance test on a 400m athletics track. In the second session, the subjects performed the running economy test on a treadmill at a fixed speed of  $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  for 5 min, and then performed a maximum incremental running test to evaluate: 1° ventilatory threshold (LV1), 2° ventilatory threshold (LV2), velocity at LV1 (vLV1), velocity at LV2 (vLV2),  $VO_2\text{máx.}$ , and velocity at  $VO_2\text{máx.}$  (v $VO_2\text{máx.}$ ). Data normality was verified through the Shapiro Wilk test. Pearson correlations were performed to verify the relationships between the independent variables. For those that presented strong and significant correlations ( $r > 0.70$  and  $p < 0.05$ ), at least one of them was excluded. Thus, the remaining independent variables were used in the Multiple Linear Regression (Stepwise) model in order to verify if any of them could explain the 3.000m running performance. Data were processed in the statistical software (SPSS 22.0) and  $\alpha = 0.05$ . **Results:** Multiple Linear Regression indicated that  $VO_2\text{máx.}$  ( $p = 0.01$ ) and the PA LG ( $p = 0.03$ ) together accounted for 78.9% of 3000m running performance. **Conclusion:** Our preliminary results indicate that  $VO_2\text{máx.}$  and PA LG together are responsible for explaining 3.000m running performance. For improving running performance, strength training is indicated to increase PA of propulsion muscles such as the gastrocnemius, since in well-trained runners the physiological improvement of  $VO_2\text{máx.}$  is limited.

**Keywords:** Running Economy; Pennation Angle; Fascicle Length.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1 O PROBLEMA E SUA IMPORTÂNCIA .....	11
1.2 OBJETIVO GERAL .....	13
1.3 HIPÓTESE .....	13
<b>2 APRESENTAÇÃO GERAL DA MONOGRAFIA .....</b>	<b>14</b>
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
<b>4 ARTIGO.....</b>	<b>21</b>
<b>5 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>39</b>
<b>6 CONCLUSÃO GERAL DA MONOGRAFIA .....</b>	<b>42</b>
APÊNDICE A – DISPERSÃO ENTRE AS VARIÁVEIS .....	43
APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO.....	45
APÊNDICE C – ANAMNESE.....	48
APÊNDICE D – DADOS GERAIS.....	49

## LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AP	Ângulo de Penação Fascicular
C	Custo Metabólico
CF	Comprimento do Fascículo
CVM	Contração Isométrica Voluntária Máxima
EM	Espessura Muscular
GM	Gastrocnêmio Medial
GL	Gastrocnêmio Lateral
LV1	1° Limiar Ventilatório
LV2	2° Limiar Ventilatório
VO <sub>2</sub> máx.	Consumo Máximo de Oxigênio
vVO <sub>2</sub> máx.	Velocidade associada ao Consumo Máximo de Oxigênio
vLV1	Velocidade associada ao 1° Limiar Ventilatório
vLV2	Velocidade associada ao 2° Limiar Ventilatório

## LISTA DE TABELAS

ARTIGO

<b>Tabela 1</b> – Variáveis de caracterização dos corredores.....	32
<b>Tabela 2</b> – Arquitetura muscular, CVM dos flexores plantares e variáveis fisiológicas .....	33
<b>Tabela 3</b> – Coeficiente de correlação das variáveis do modelo de regressão..	34

## LISTA DE FIGURAS

### REVISÃO DE LITERATURA

- Figura 1** – Modelo conceitual dos fatores que afetam o desempenho de corrida.....16
- Figura 2** – Relação propulsão x frenagem em resposta ao aumento da velocidade de corrida.....17

### ARTIGO

- Figura 1** – Desenho experimental do estudo.....26
- Figura 2** – Locais de posicionamento da sonda de ultrassonografia ..... 27
- Figura 3** – Medida de espessura muscular.....28
- Figura 4** – Medida de ângulo de penação e comprimento de fascículo.....29
- Figura 5** – Extrapolação para o cálculo do comprimento de fascículo .....29

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 O PROBLEMA E SUA IMPORTÂNCIA

A musculatura esquelética atua como um sistema de alavancas, que a partir da contração muscular, transmite forças dos tendões para os ossos gerando assim o movimento. Durante a corrida, na fase de contato do pé com solo, através do ciclo alongamento encurtamento, a pré-ativação e o alongamento muscular contribuem para o armazenamento de energia elástica. Esse armazenamento, acontece nas unidades músculo-tendíneas durante as contrações excêntricas, e uma parte dessa energia é liberada na fase concêntrica, porém, nem toda essa energia elástica é aproveitada, uma vez que também ocorre uma dissipação em forma de calor. Dessa forma, essa energia “extra” no sistema, reduz o gasto energético na corrida (ALEXANDER; BENNET-CLARK, 1977; SAIBENE; MINETTI, 2003).

Autores clássicos como Cavagna, Heglund e Taylor (1977) e Blickhan (1989) a partir de experimentos comparando a locomoção de humanos e animais, e abordagens da física, descreveram um importante modelo explicativo do retorno da energia elástica durante a corrida. Nesse modelo, conhecido como “massa-mola”, o reaproveitamento dessa energia acontece a partir das oscilações do centro de massa corporal, em resposta da rigidez do sistema e dos membros inferiores. Entretanto, apesar dessa visão integrativa da mecânica e energética da corrida, ainda são necessárias mais evidências sobre o comportamento das unidades músculo-tendínea no desempenho de corrida.

Ainda sobre as ações musculares, é possível fazer uma analogia do comportamento dos músculos e dos tendões como duas molas em série. Essas molas são otimizadas a partir da sua capacidade de armazenamento de energia elástica, tanto a nível muscular, quanto ao nível tendíneo. Esse armazenamento é dependente do nível de rigidez das duas molas, ou seja, molas mais rígidas podem reduzir a ativação muscular e conseqüentemente um menor gasto energético por contração (DUMKE et al. 2010).

É possível que existam adaptações músculo-tendíneas específicas entre diferentes grupos de corredores. Sabe-se que, *sprinters* bem treinados possuem

os tendões dos extensores de joelho mais rígidos comparado ao de sujeitos não treinados, porém, sem diferenças na rigidez dos tendões dos flexores plantares. Além disso, no estudo citado acima, o desempenho de 100 metros foi relacionado com maiores valores de espessura muscular dos extensores de joelho para os *sprinters*. Dumke et al. (2010) encontraram músculos mais rígidos do que os tendões dos flexores plantares em corredores de longa distância treinados. Outro resultado interessante nesse estudo foi a relação positiva entre a maior rigidez muscular dos flexores plantares com uma melhor economia de corrida.

Em corredores de elite, treinamentos de força e pliométrico dos membros inferiores complementares ao usuais de corrida já demonstraram resultados positivos na economia de corrida, potência muscular e no desempenho de provas de 3.000 e 5.000 metros (SEDANO et al., 2013; PAAVOLAINEN et al., 1999). Esses estudos apesar desses achados positivos, não foram encontraram melhora no consumo máximo de oxigênio ( $VO_2$ máx.). Os autores justificaram que nessa população, o não aumento do  $VO_2$ máx. possivelmente é explicado pela menor janela de treinamento para essa variável em corredores já bem treinados.

A melhora do desempenho de corrida, do ponto de vista das adaptações musculares dos membros inferiores tem sido explicada amplamente pelas mudanças no sistema nervoso, nas características força-comprimento dos sarcômeros, e redistribuição dos tipos de fibras musculares (BLAZEVICH et al., 2003). Existem ainda poucas pesquisas em relação as alterações na arquitetura muscular e o desempenho de corrida. Está bem estabelecido na literatura, que maiores ângulos de penação fascicular (AP) e maiores comprimentos de fascículos (CP), podem aumentar a capacidade de produção de força, assim como aumentar a velocidade dessas contrações, respectivamente (HAMILL; KNUTZEN; DERRICK, 2016). Dessa forma, dada a importância do músculo tríceps sural como um importante propulsor e gerador de força muscular na corrida (KAWAKAMI et al., 1998), é esperado que corredores com membros inferiores fortalecidos, apresentem menor custo metabólico (C), ou seja, com um menor gasto energético por unidade de distância percorrida (DI PRAMPERO,

1986). Esse menor  $C$  permite sustentar altas velocidades por mais tempo, e assim, melhorar o desempenho final de prova (FINATTO et al., 2018).

Foster e Lucia (2007), do ponto de vista fisiológico, afirmam que o consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2m\acute{a}x.}$ ), a capacidade de sustentar altas frações de  $VO_{2m\acute{a}x.}$  e a economia de corrida são os fatores determinantes para o desempenho de corrida de longa distância. Os autores destacam que a economia de corrida, é um componente fundamental em corredores com valores de  $VO_{2m\acute{a}x.}$  similares. Entretanto, é importante ressaltar que esse desempenho de corrida, por mais que possa ser explicado primariamente pela economia de corrida, também é influenciado do por variáveis secundárias como: treinamento, ambiente, fisiologia, biomecânica e a antropometria (SAUNDERS et al., 2004). Apesar do atual corpo de estudo sobre desempenho de corrida de longa distância, não está claro a contribuição da arquitetura muscular do tríceps sural, dos aspectos fisiológicos como o  $C$  e o  $VO_{2m\acute{a}x.}$ , e da força dos flexores plantares no desempenho de corrida em atletas bem treinados. Desta forma, entender o papel dessas variáveis, pode dar indícios sobre os principais mecanismos envolvidos na melhora do desempenho de corrida e na implementação de treinamentos específicos nessa população.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo do estudo foi associar as variáveis de arquitetura muscular, variáveis fisiológicas e a força muscular com o desempenho de corrida de 3.000 metros.

## 1.3 HIPÓTESE

Nós hipotetizamos, uma vez que o  $C$  é a principal variável que influencia o desempenho de corrida de longas distância (SAUNDERS et al., 2004), e que específicas adaptações no AP, e no CF do tríceps sural podem melhorar a força e a velocidade de contração muscular (DUMKE et al., 2010; KAWAKAMI et al., 1998), que o desempenho de 3.000 metros de corrida será explicado por corredores com menores  $C$  e os maiores valores de AP e CF do gastrocnêmio medial e lateral.

## **2. APRESENTAÇÃO GERAL DA MONOGRAFIA**

A presente monografia será apresentada no formato de uma breve revisão de literatura e um artigo experimental. Na revisão de literatura foi dividida nos subcapítulos: Desempenho de corrida de longa distância, Propriedades músculo-tendíneas durante a corrida, e Propriedades musculotendíneas e o desempenho de corrida. O artigo intitulado “Associações entre a arquitetura muscular, variáveis fisiológicas, força muscular, e desempenho de corrida de longa distância” objetivou verificar se existem associações entre os parâmetros da arquitetura muscular, variáveis fisiológicas e o desempenho de corrida de 3.000 metros.

Esse trabalho faz parte de um projeto maior intitulado: “Efeito da terapia de fotobiomodulação sobre o desempenho e recuperação muscular de corredores” e os dados apresentados na monografia são resultados preliminares e teve consentimento de todos os sujeitos.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 DESEMPENHO DE CORRIDA DE LONGA DISTÂNCIA

Os fatores determinantes do desempenho de corrida de longa distância são o consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2m\acute{a}x.}$ ), a capacidade de sustentar uma elevada fração do  $VO_{2m\acute{a}x.}$  por um longo período de tempo e a capacidade de se mover economicamente. Esta última variável, conhecida como economia de corrida (ECO), é definida como o consumo de oxigênio durante a fase estável, necessário para percorrer uma determinada distância em uma intensidade submáxima de corrida, e tem um papel fundamental no desempenho (FOSTER; LUCIA, 2007). Na prática, em um grupo homogêneo de corredores de longa distância com  $VO_{2m\acute{a}x.}$  semelhantes, provavelmente o atleta que cruzará a linha de chegada em primeiro será aquele corredor que for mais eficiente metabolicamente, ou seja, o mais econômico.

Além desses aspectos fisiológicos, existem outros fatores que vão influenciar o desempenho de corrida de longa distância de forma integrativa, tais como: o treinamento, o ambiente, a fisiologia, a biomecânica, e a antropometria (SAUNDERS et al., 2004). Ainda assim, é possível afirmar que a economia de corrida é uma variável fundamental na explicação do desempenho de corrida, e essa importância é mais acentuada quando se compara corredores com capacidades aeróbica máxima com janela de treinamento limitada. A figura abaixo ilustra o modelo conceitual que explica o desempenho de corrida:

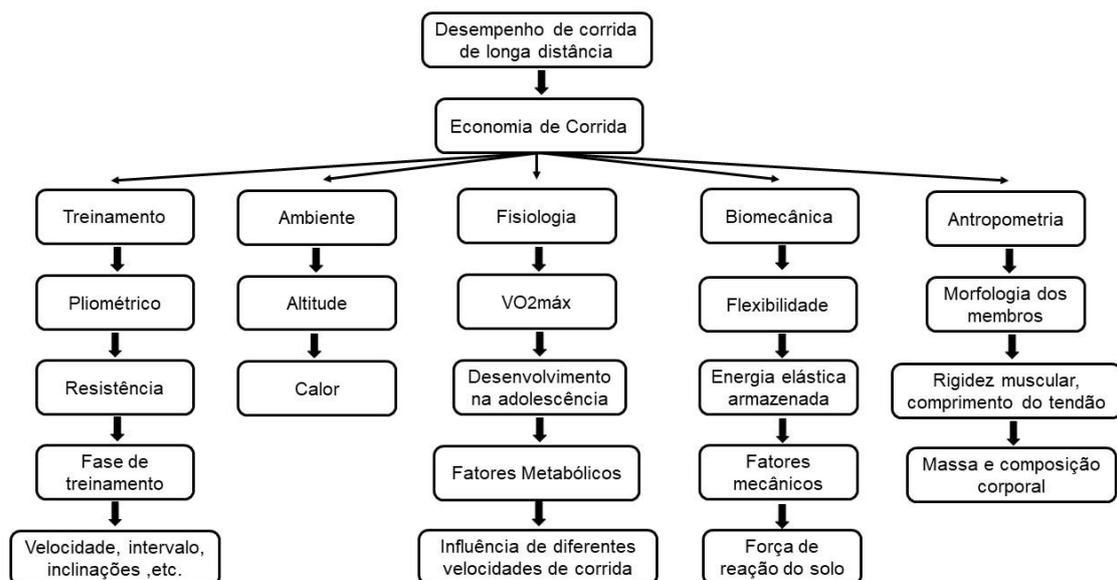


Figura 1 – Modelo conceitual dos fatores que afetam o desempenho de corrida. Adaptado de Saunders et al. (2004).

### 3.2 PROPRIEDADE MUSCULO-TENDÍNEAS DURANTE A CORRIDA

Durante a corrida, especificamente na primeira metade da fase de contato do pé com solo, através do ciclo alongamento encurtamento (CAE) existe um armazenamento de energia elástica nas unidades músculo-tendíneas e parte dessa energia liberada na segunda metade da fase de contato. O modelo físico/matemático que descreve esse comportamento do centro de massa na corrida é descrito como o modelo massa-mola. Esse modelo simplifica o corpo humano em uma massa (representada pela região central do corpo humano) e uma mola (rigidez dos membros inferiores) (BLICKHAN, 1989). Devido a esse armazenamento dessa energia elástica, sabe-se que existe uma redução do custo metabólico na corrida (ALEXANDER; BENNET-CLARK, 1977; SAIBENE; MINETTI, 2003).

Sabe-se que o tempo de contato e o tempo aéreo são as fases principais que distingue visivelmente a corrida da caminhada. A medida que a velocidade de deslocamento corporal aumenta e o ser humano troca a caminhada pela corrida, a fase de duplo contato desaparece e o tempo de contato do pé com solo em apoio simples reduz, além disso, em resposta a esses comportamentos, o tempo aéreo, ou seja, o tempo que o sujeito está com os dois pés fora do solo aumenta (NOVACHEK, 1998; SAIBENE; MINETTI, 2003). Entretanto, Cavagna

(2009) demonstrou que existem outros fatores envolvidos na relação (tempo aéreo x tempo de contato) e a utilização do sistema elástico durante a corrida que podem explicar a mecânica músculo-tendínea durante essa atividade. Ele apontou que durante a corrida em baixas velocidades (até 14 km.h<sup>-1</sup>), existe uma diferença entre o trabalho excêntrico (frenagem durante primeira metade do contato do pé com o solo) e o trabalho concêntrico (propulsão durante a segunda metade do contato do pé com o solo). Nessas velocidades, o trabalho excêntrico e a média da força utilizada é maior do que o concêntrico, e esse fenômeno conhecido como *landing-takeoff asymmetry*, é explicado pela maior complacência e histerese muscular do que do tendão. Em velocidades altas de corrida esse comportamento se torna mais simétrico, uma vez que, com a relação força x velocidade não otimizada, o músculo torna-se menos complacente. Dessa forma, em altas velocidades o tendão é responsável pelas mudanças de encurtamento e alongamento total da unidade musculo tendínea. A figura 1 abaixo exemplifica essa relação músculo tendão em resposta do aumento da velocidade:

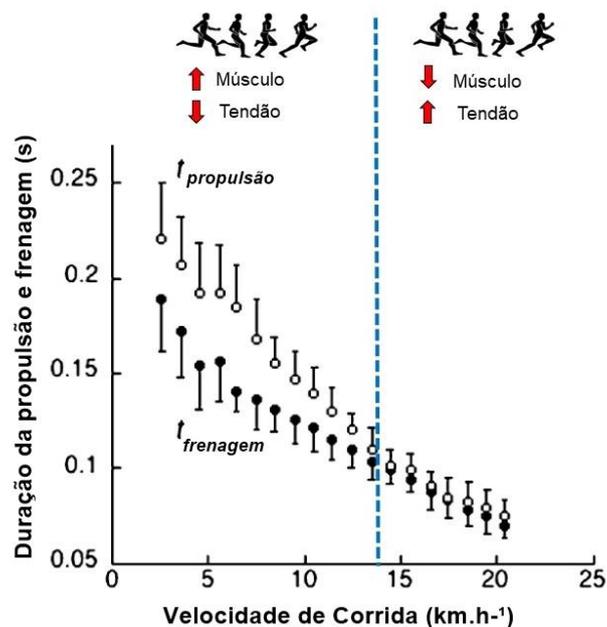


Figura 2 – Relação propulsão x frenagem em resposta do aumento da velocidade de corrida

### 3.3 PROPRIEDADES MUSCULO-TENDÍNEAS E O DESEMPENHO DE CORRIDA

Existem indícios de adaptações musculotendíneas em regiões específicas em corredores de velocidade. Kubo, Kanehisa e Kawakami (2000) avaliando *sprinters*, não encontraram diferenças na rigidez musculotendínea do vasto lateral e do gastrocnêmio medial, em comparação com sujeitos não treinados. Esses resultados corroboram com Stafilidis e Arampatzis (2007) que comparam dois grupos de *sprinters* com diferentes níveis de treinamento, e também não encontraram diferenças entre os grupos na rigidez do vasto lateral e do gastrocnêmio medial. Por outro lado, ambos resultados são contrários aos estudos de Kubo et al. (2011) que também avaliaram *sprinters*, e encontraram que essa população possui tendões menos rígidos nos extensores de joelho e mais rígidos nos flexores plantares em comparação com sujeitos não treinados. Os autores justificam que uma maior complacência tendínea dos extensores de joelho auxiliam o controle do alongamento e encurtamento em altas velocidades das contrações das fibras musculares dessa região, que atuam próximo a isometria nessas condições.

Com relação ao desempenho de corrida de longa distância, alguns estudos indicam a existência de um comportamento similar ao de corredores de velocidades para as propriedades musculotendíneas. Kubo et al. (2010) comparou 15 corredores bem treinados (5.000 metros) e um grupo controle de 21 sujeitos não treinados. Os autores encontraram que os corredores de longa distância tiveram uma menor rigidez para os extensores de joelho, porém, não para os flexores plantares. Além disso, o desempenho foi associado com uma menor rigidez para tanto para os extensores de joelho, quanto para os flexores plantares.

Por último, a participação das propriedades musculotendíneas durante a corrida sofre influência da idade. Corredores mais velhos, devido à redução de força muscular pelo processo de sarcopenia, exercem um menor trabalho excêntrico e concentrico, ou seja, uma menor força durante o encurtamento em relação ao alongamento (CAVAGNA; LEGRAMANDI; PEYRE-TARTARUGA, 2008).

## Referências

ALEXANDER, M.R., BENNET-CLARK, H. C. Storage of elastic strain energy in muscle and other tissue. **Nature**, [s.l.], v. 265, n. 13, p.114-117, 1977.

BLAZEVIICH, A. J. et al. Training-Specific Muscle Architecture Adaptation after 5-wk Training in Athletes. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [s.l.], v. 35, n. 12, p.2013-2022, dez. 2003.

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

CAVAGNA, G. A.. The two asymmetries of the bouncing step. **European Journal of Applied Physiology**, [s.l.], v. 107, n. 6, p.739-742, 1 set. 2009.

CAVAGNA, G. A.; HEGLUND, N. C.; TAYLOR, C. R. Mechanical work in terrestrial locomotion: two basic mechanisms for minimizing energy expenditure. **American Journal of Physiology-regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, [s.l.], v. 233, n. 5, p.243-261, nov. 1977.

CAVAGNA, G. A.; LEGRAMANDI, M. A.; PEYRE-TARTARUGA, L. A. The landing-take-off asymmetry of human running is enhanced in old age. **Journal of Experimental Biology**, [s.l.], v. 211, n. 10, p.1571-1578, 2 maio 2008.

DI PRAMPERO, P. E. et al. The energetics of endurance running. **European Journal of Applied Physiology**. 55: 259-266, 1986.

DUMKE, C. L. et al. Relationship between muscle strength, power and stiffness and running economy in trained male runners. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, [s.l.], v. 5, n. 2, p.249-261, jun. 2010.

FINATTO, P. et al. Pilates training improves 5-km run performance by changing metabolic cost and muscle activity in trained runners. **Plos One**, [s.l.], v. 13, n. 3, p.1-19, 21 mar. 2018.

FOSTER, C.; LUCIA, A. Running Economy - The Forgotten Factor in Elite Performance. **Sports Medicine**, [s.l.], v. 37, n. 4, p.316-319, 2007.

HAMILL, J.; KNUTZEN, K. M.; DERRICK, T. R. **Bases biomecânicas do movimento humano**. 4. ed. São Paulo: Manole, 2016. 500 p.

KUBO, K et al. Effects of mechanical properties of muscle and tendon on performance in long distance runners. **European Journal of Applied Physiology**, [s.l.], v. 110, n. 3, p.507-514, 10 jun. 2010.

KAWAKAMI, Y., ICHINOSE, Y., FUKUNAGA, T. Architectural and functional features of human triceps surae muscles during contraction. **Journal of Applied Physiology**.85: 398-404, 1998.

KUBO K; KANEHISA; KAWAKAMI. Elasticity of tendon structures of the lower limbs in sprinters. **Acta Physiologica Scandinavica**, [s.l.], v. 168, n. 2, p.327-335, fev. 2000.

KUBO, K. et al. Morphological and mechanical properties of muscle and tendon in highly trained sprinters. **Journal of Applied Biomechanics**, [s.l.], v. 27, p.336-344, 2011.

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

PAAVOLAINEN, L. et al. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. **Journal of applied Physiology**. 86(5):1527-33, 1999.

SAIBENE, F; MINETTI, A. E. Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. **European Journal of Applied Physiology**, [s.l.], v. 88, n. 4, p.297-316, jan. 2003.

SAUNDERS, P. U. et al. Reliability and variability of running economy in elite distance runners. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [s.l.], v. 36, n. 11, p.1972-1976, nov. 2004.

SEDANO, S. et al. Concurrent Training in Elite Male Runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, [s.l.], v. 27, n. 9, p.2433-2443, set. 2013.

STAFILIDIS, S; ARAMPATZIS, A. Muscle – tendon unit mechanical and morphological properties and sprint performance. **Journal of Sports Sciences**, [s.l.], v. 25, n. 9, p.1035-1046, jul. 2007.

#### 4. ARTIGO

##### **Associações entre a arquitetura muscular, variáveis fisiológicas, força muscular e desempenho de corrida de longa distância**

Edson Soares da Silva<sup>1</sup>, Fabio Juner Lanferdini<sup>1</sup>, Rodrigo Gomes da Rosa<sup>1</sup>, Francesca Chaida Sonda<sup>1</sup>, Marco Aurélio Vaz<sup>1</sup>, Leonardo Alexandre Peyré-Tartaruga<sup>1#</sup>

1. Laboratório de Pesquisa do Exercício, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Dança, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, BR.

#Autor Correspondente

Leonardo A. Peyré-Tartaruga

Endereço: Laboratório de Pesquisa do Exercício, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rua Felizardo, 750, 90690-200 Porto Alegre, Brasil.

E-mail: leonardo.tartaruga@ufrgs.br

Tel: 55 5184063793

##### Agradecimentos

Agradeço a assistência do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através do Edital Universal MCTI/CNPq 2016/01 e ao suporte do grupo de pesquisa LOCOMOTION da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Brasil – pelas discussões e comentários que enriqueceram essa pesquisa.

## Resumo

**Introdução:** Entender o papel da arquitetura dos músculos propulsores e das variáveis fisiológicas no desempenho de corrida pode dar indícios sobre os principais mecanismos envolvidos na melhora do custo metabólico (C), além de auxiliar em treinamentos específicos. O objetivo do estudo foi associar as variáveis de arquitetura muscular, força muscular e variáveis fisiológicas com o desempenho de corrida de 3.000m. **Materiais e Métodos:** A amostra foi composta por 12 corredores de longa distância com idade  $33,29 \pm 7,40$  anos e massa corporal de  $69,52 \pm 6,47$  kg. Foram coletadas as variáveis de arquitetura muscular e outros dados: espessura muscular (EM), ângulo de penação das fibras (AP) e comprimento do fascículo (CP) do gastrocnêmio medial (GM) e do gastrocnêmio lateral (GL), a contração isométrica voluntária máxima (CVM) dos flexores plantares, o desempenho de corrida de 3.000 metros, o teste de economia de corrida a  $12\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ , e um teste de incremental máximo de corrida para avaliar as variáveis: 1° limiar ventilatório (LV1), 2° limiar ventilatório (LV2), velocidade de LV1 (vLV1), velocidade de LV2 (vLV2),  $\text{VO}_2\text{máx.}$ , e a velocidade do  $\text{VO}_2\text{máx.}$  (v $\text{VO}_2\text{máx.}$ ). Um modelo de Regressão Linear Múltipla (*Stepwise*) verificou se alguma das variáveis independentes explicaria o desempenho no teste de 3.000m. Os dados foram processados no software estatístico (SPSS 22.0) e  $\alpha = 0.05$ . **Resultados:** A Regressão Linear Múltipla indicou que o  $\text{VO}_2\text{máx.}$  ( $p=0.01$ ) e o AP GL ( $p=0.03$ ) juntos explicaram 78,9% do desempenho de corrida de 3000m. **Conclusão:** Os resultados preliminares desse estudo indicam que o  $\text{VO}_2\text{máx.}$  e AP GL são responsáveis em conjunto por explicar o desempenho de corrida de 3.000m. Para melhora do desempenho de corrida, treinamentos de força máxima e rápida são indicados para aumento do AP de músculos propulsores como o gastrocnêmio, uma vez que em corredores bem treinados a janela fisiológica de aumento do  $\text{VO}_2\text{máx.}$  é limitada.

**Palavras-chave:** Economia de Corrida; Ângulo de Penação; Comprimento de Fascículo.

## Abstract

**Introduction:** Understanding the role of the architecture of propulsion muscles and physiological functions could indicate the main mechanisms responsible for improving C and running performance, in addition to helping define specific training methods for this population. The objective of the study was to associate muscle architecture variables, strength and physiological variables with 3.000m running performance. **Materials and Methods:** The sample consisted of 12 long distance runners, aged  $33.29 \pm 7.40$  years and body mass of  $69.52 \pm 6.47$  kg. Muscular architecture variables and other data were collected: muscle thickness (MT), pennation angle (PA) and fascicle length (FL) of medial gastrocnemius (MG) and lateral gastrocnemius (LG), maximum voluntary isometric contraction (MVC) of the plantar flexors, 3.000m running performance, running economy at  $12 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , and then a maximum incremental running test to evaluate: 1° ventilatory threshold (LV1), 2° ventilatory threshold (LV2), velocity at LV1 (vLV1), velocity at LV2 (vLV2),  $\text{VO}_2\text{máx.}$ , and velocity at  $\text{VO}_2\text{máx.}$  (v $\text{VO}_2\text{máx.}$ ). Multiple Linear Regression (Stepwise) model in was used in order to verify if independent variables could explain the 3.000m running performance. Data were processed in the statistical software (SPSS 22.0) and  $\alpha = 0.05$ . **Results:** Multiple Linear Regression indicated that  $\text{VO}_2\text{máx.}$  ( $p = 0.01$ ) and the PA LG ( $p = 0.03$ ) together accounted for 78.9% of 3000m running performance. **Conclusion:** Our preliminary results indicate that  $\text{VO}_2\text{máx.}$  and PA LG together are responsible for explaining 3.000m running performance. For improving running performance, strength training is indicated to increase PA of propulsion muscles such as the gastrocnemius, since in well-trained runners the physiological improvement of  $\text{VO}_2\text{máx.}$  is limited.

**Keywords:** Running Economy; Pennation Angle; Fascicle Length.

## 1. Introdução

Corredores mais econômicos possuem um menor custo metabólico ( $C$ ) a uma dada velocidade submáxima de corrida (SAIBENE; MINETTI, 2003). Esse menor  $C$  permite sustentar altas velocidades por mais tempo, e assim, melhorar o seu desempenho final (FINATTO et al., 2018). Existem diversos fatores que influenciam tanto positivamente como negativamente o  $C$ , tais como: o nível de treinamento, as condições ambientais, a fisiologia, os aspectos biomecânicos, e os antropométricos (SAUNDERS et al., 2004).

Do ponto de vista antropométrico e biomecânico, as propriedades musculotendíneas dos membros inferiores tem participação significativa no desempenho de corrida de longa distância (KUBO, et al. 2015; NOVACHEK, 1998). Especificamente, o músculo tríceps sural é um importante propulsor e gerador de força muscular durante a corrida (DUMKE et al., 2010). Sabe-se que adaptações na arquitetura dessas musculaturas como maior ângulo de penetração fascicular (AP) e maior comprimento do fascículo (CP), podem aumentar a capacidade de produção de força, assim como aumentar a velocidade dessas contrações, respectivamente (KAWAKAMI et al., 1998). Dessa forma, é esperado que fortalecimento dessas musculaturas, possivelmente melhore o armazenamento e retorno da energia elástica na corrida (ALEXANDER, M.R.; BENNET-CLARK, 1977; DUMKE et al., 2010), e otimize o sistema massa-mola (BLICKHAN, 1989).

Em atletas bem treinados, os treinamentos de força dos membros inferiores complementares ao usuais de corrida já demonstraram resultados positivos na economia de corrida (ECO) e no desempenho de prova. Sedano et al. (2013) após 12 semanas de treinamento de força combinado ao pliométrico melhoraram a ECO, a velocidade pico, a força máxima dos extensores de joelho, assim como o desempenho de 3.000 metros, porém, sem efeitos no consumo máximo de oxigênio ( $VO_{2máx.}$ ). Paavolainen et al., (1999) também encontraram melhoras no desempenho de corrida de 5.000 metros, na ECO, e na potência muscular de corredores bem treinados com um treinamento pliométrico, entretanto, sem mudanças no  $VO_{2máx.}$ . Esses resultados reforçam a importância da força muscular no desempenho de corrida, mesmo em corredores bem treinados, no quais a janela de melhora do  $VO_{2máx.}$  é limitada.

Apesar desses achados, não está claro a contribuição da arquitetura muscular do tríceps sural, dos aspectos fisiológicos como o C e o  $VO_2$ máx., e da força dos flexores plantares no desempenho de corrida de longa distância. Desta forma, entender o papel dessas variáveis pode dar indícios sobre principais mecanismos envolvidos na melhora do desempenho de corrida e na implementação de treinamentos específicos nessa população. O objetivo do estudo foi associar as variáveis de arquitetura muscular, variáveis fisiológicas e a força muscular com o desempenho de corrida de 3.000 metros. Nós hipotetizamos, uma vez que o C é a principal variável que influencia o desempenho de corrida de longas distância (SAUNDERS et al., 2004), e que adaptações específicas no AP, e no CF do tríceps sural podem melhorar a força e a velocidade de contração muscular (DUMKE et al., 2010; KAWAKAMI et al., 1998), que o desempenho de 3.000 metros de corrida será explicado por corredores com menores C e os maiores valores de AP e CF do gastrocnêmio medial e lateral.

## **2. Materiais e Métodos**

### *2.1 População e Amostra*

A amostra do estudo foi composta por 12 corredores de longa distância da cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, com idade de  $33,29 \pm 7,40$  anos, massa corporal de  $69,52 \pm 6,47$  kg, e estatura de  $175,75 \pm 5,59$  cm. Os critérios de inclusão foram: corredores duatletas e triatletas com idade entre 18 e 40 anos, com volume semanal de treinamento de 30 km, e desempenho em provas de 5.000 metros abaixo dos 19 minutos. Os critérios de exclusão foram quaisquer restrições médicas impeditivas para a execução dos testes máximos de corrida.

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (número: 2437.616), e todos os sujeitos leram e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (Anexo A) antes de sua participação no estudo. Todas as avaliações foram feitas na Escola de Educação Física, Fisioterapia - UFRGS.

## 2.2 Desenho do estudo

Esse estudo é caracterizado como observacional e seguiu as recomendações da *Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology* - STROBE (MALTA et al., 2010). O estudo foi dividido em duas sessões de coletas. Na primeira sessão, após a explicação dos objetivos, riscos, benefícios da participação, e dos procedimentos de coleta, os sujeitos assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido. Na sequência, os sujeitos preencheram uma anamnese sobre informações básicas referentes a sua saúde e ao seu histórico de treinamento (Apêndice A). Ainda na primeira sessão, foram coletadas as variáveis de arquitetura muscular do gastrocnêmio medial (GM) e gastrocnêmio lateral (GL), avaliada a contração isométrica voluntária máxima (CVM) dos flexores plantares em um dinamômetro isocinético, e após um período de repouso de 10 minutos, os sujeitos realizaram o teste de desempenho de corrida de 3.000 metros. Na segunda sessão, realizada 48 horas após a primeira, os sujeitos realizaram o teste de economia de corrida em esteira rolante, e na sequência realizaram um teste incremental de corrida. A figura 1 ilustra todas as etapas desenvolvidas no estudo:

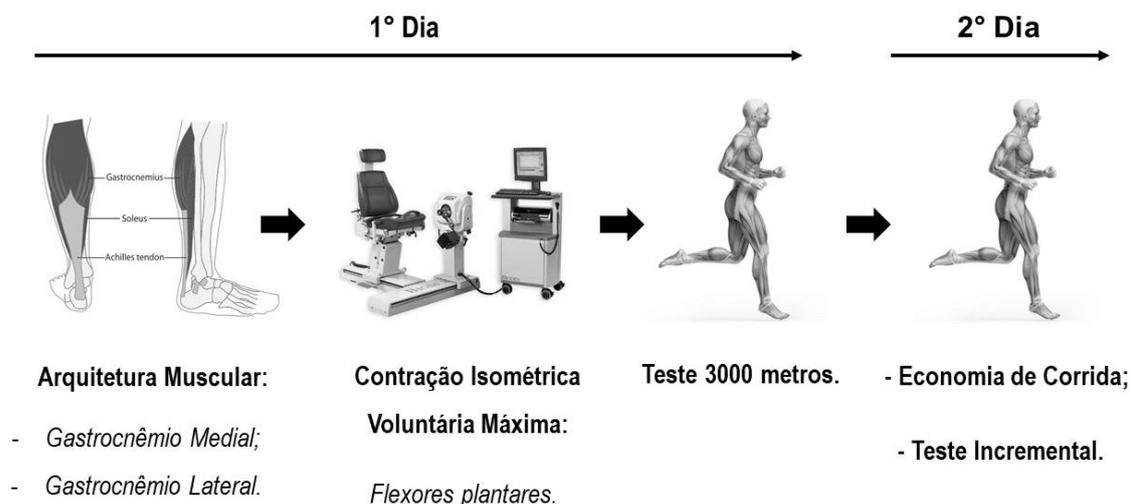


Figura 1- Desenho experimental do estudo.

## 2.3 Arquitetura Muscular

Para a avaliação da arquitetura muscular, foi utilizado um sistema de ultrassonografia (LOGIQ P6, GE Healthcare, Washington, Estados Unidos) e uma sonda com arranjo linear (50 mm, 15 MHz – GE Healthcare, Washington,

Estados Unidos). Um único pesquisador foi responsável pela coleta de todas as imagens, as quais foram obtidas com o sujeito deitado em uma maca e com a musculatura em repouso. A sonda foi posicionada sobre uma quantidade adequada de gel transmissor solúvel em água, promovendo contato acústico da sonda com a pele e evitando o contato direto entre as duas e a consequente deformação de tecidos em função da pressão exercida pela sonda (BLAZEVIICH *et al.*, 2006).

A sonda foi posicionada longitudinalmente às fibras musculares, ao nível de 30% proximal (GM e GL) da distância entre a prega poplítea e o centro do maléolo lateral (KAWAKAMI *et al.*, 1998; FOURÉ *et al.*, 2011; FOURÉ *et al.*, 2013). As variáveis selecionadas para representar a arquitetura muscular foram: Espessura Muscular (EM), Ângulo de Penação (AP) e Comprimento de Fascículo (CF). As imagens foram analisadas pelo *software* ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, EUA).

A Figura 2 demonstra os locais de posicionamento da sonda para a obtenção das imagens dos dois músculos: GM e GL.

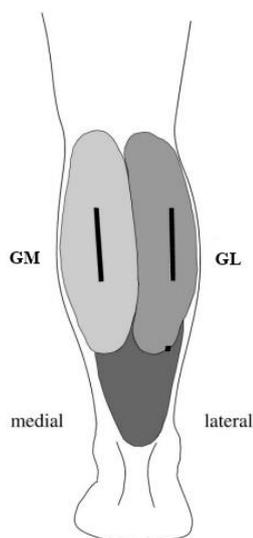


Figura 2 – Locais de posicionamento da sonda de ecografia para a obtenção das imagens referentes aos músculos GM e GL. Adaptado de Kawakami *et al.* (1998).

Para o cálculo da EM foi considerada a distância entre as aponeuroses superior e inferior. Foram registradas três imagens para cada músculo GM e GL e feitas cinco medidas de EM ao longo de cada imagem muscular (BARONI *et al.*, 2013a) conforme apresentado na Figura 3. A média dos cinco valores de EM

para cada imagem foi calculada. Para a obtenção da EM final de cada músculo, foi calculada novamente a média das EM das três imagens.

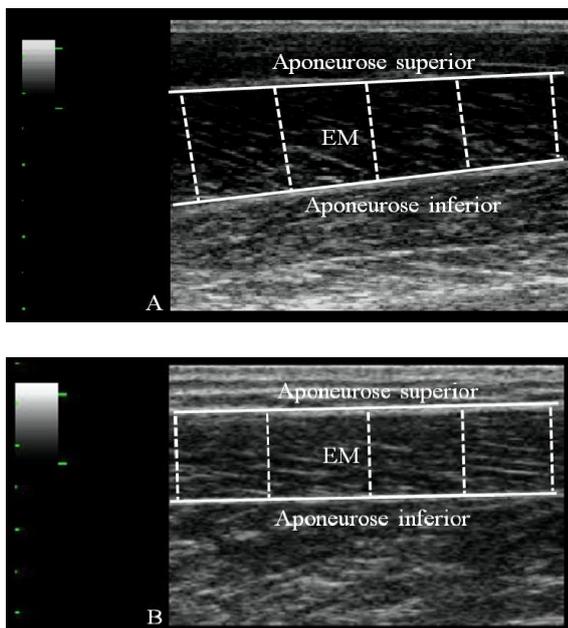
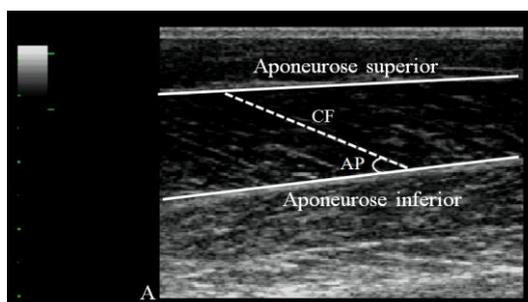


Figura 3. Medida da espessura muscular (EM). As linhas contínuas indicam as aponeuroses superior e inferior, enquanto as linhas tracejadas indicam os locais de obtenção de cada uma das cinco medidas nos músculos GM (A), GL (B).

Para a obtenção do AP e CF também foram usadas três imagens de cada músculo, sendo considerado para a análise o fascículo mais visível de cada imagem. Foi calculada a média de AP das três imagens para cada músculo (BARONI *et al.*, 2013b), e o mesmo procedimento foi realizado para a variável CF.

O comprimento da trajetória fascicular entre a inserção do fascículo nas aponeuroses superior e inferior foi considerado o CF, e o ângulo formado entre CF e a aponeurose inferior foi utilizado para a obtenção do AP (Figura 4).



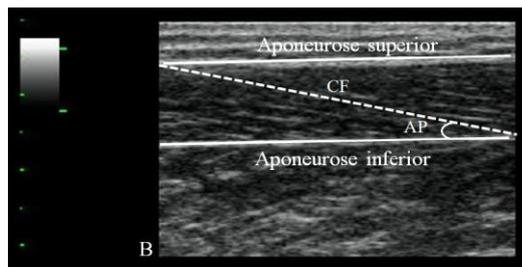


Figura 4 – Medida do AP e CF dos músculos GM (A) e GL (B). As linhas contínuas indicam as aponeuroses superior e inferior. Fonte: Setor de Plasticidade Neuromuscular do Laboratório de Pesquisa do Exercício (LAPEX) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Quando o CF foi maior que a superfície da sonda, a linha do fascículo foi extrapolada (Figura 5) de acordo com o estudo de Abellaneda et al. (2009).

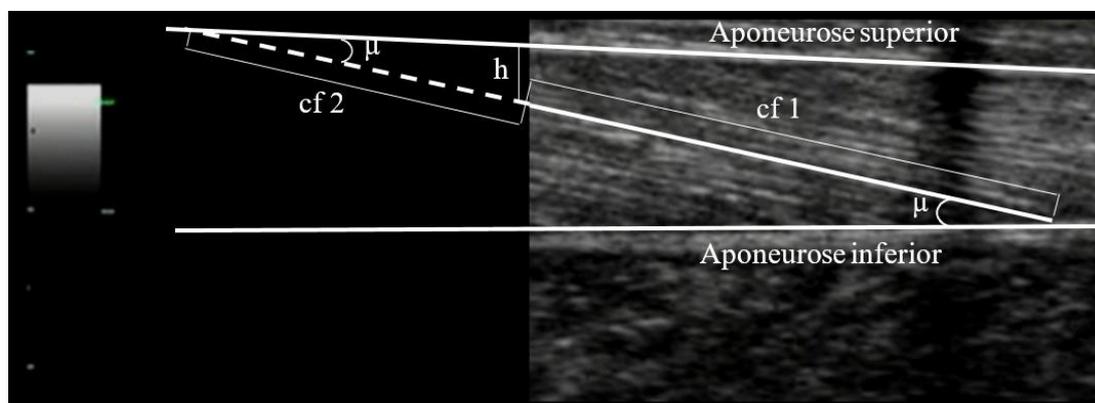


Figura 5 – Extrapolação realizada para o cálculo do comprimento de fascículo. cf 1= comprimento de fascículo mensurado; cf 2= comprimento de fascículo estimado;  $\mu$ = ângulo de penetração; h= altura. Representação esquemática adaptada de Abellaneda et al. (2009).

A equação abaixo apresenta o cálculo do CF utilizada nestes casos, por meio de função trigonométrica (ABELLANEDA et al., 2009):

$$CF = cf\ 1 + cf\ 2$$

$$CF = cf\ 1 + \left(\frac{h}{\text{seno } \mu}\right)$$

Foi calculado o cf 2 através da divisão da h pelo seno de  $\mu$ . Assim, CF foi resultado da soma de cf 1 e cf 2.

A CF foi normalizada para cada sujeito através da divisão da variável pelo comprimento da perna (cm). Dessa forma, os valores de CF dos músculos GM e GL foram apresentados em % relativos aos seguimentos.

#### *2.4 Contração isométrica voluntária máxima*

Para a aquisição da CVM dos flexores plantares, os sujeitos permaneceram sentados em um dinamômetro isocinético (Biodex System 3 Pro, Biodex Medical Systems, EUA), com os joelhos estendidos e tornozelo da perna dominante na posição neutra. Os sujeitos realizaram um aquecimento da articulação utilizada e foram feitas duas CVM com intervalo de 2 minutos entre elas. Das tentativas realizadas, foi selecionada para a análise aquela que produziu o maior valor de torque (N).

#### *2.5 Desempenho de corrida*

O desempenho de corrida foi avaliado pelo tempo de corrida de 3.000 metros. Os corredores foram avaliados individualmente em uma pista de atletismo oficial de 400 metros (Mondo S.P.A., Itália). Após 10 minutos de aquecimento usual de corrida submáxima, o tempo final dos sujeitos foi registrado com o auxílio de um cronômetro.

#### *2.6 Economia de corrida*

Para a avaliação da ECO foi calculado o custo metabólico necessário para percorrer uma dada distância em uma velocidade submáxima de corrida (SAIBENE; MINETTI, 2003). Os sujeitos permaneceram em repouso em pé durante 5 minutos com uma máscara de silicone para coleta da taxa de consumo de oxigênio submáximo e da produção de dióxido de carbono usando um sistema de análise de gases expirados respiração por respiração (Quark CPET, Cosmed, Itália). Após esse período, os sujeitos correram em uma esteira rolante (Super ATL, Inbrasport/Inbramed, Porto Alegre, Brasil) a uma velocidade fixa de 12 km.h<sup>-1</sup> durante 5 minutos.

Foi considerada para o cálculo do  $C$  a média dos dois minutos finais do consumo de oxigênio ( $VO_2$ ) em repouso e a média dos dois minutos finais do  $VO_2$  em exercício. Primeiramente foi calculada a potência metabólica através da subtração da média do  $VO_2$  em exercício pela média do  $VO_2$  em repouso, e então esse valor foi multiplicado pelo quociente metabólico de 20,9 J.ml<sup>-1</sup> (BLAXTER,

1989) e dividido pelo tempo (60 segundos). Por último, a potência metabólica foi dividida pela velocidade em metros por segundo para obtenção do  $C$  em  $J.kg^{-1}.m^{-1}$  (DI PRAMPERO et al., 1986; SAUNDERS et al., 2004).

### *2.7 Teste incremental de corrida*

O teste incremental de corrida foi realizado em uma esteira rolante (Super ATL, Inbrasport/Inbramed, Porto Alegre, Brasil). Os sujeitos realizaram um aquecimento de corrida com velocidade fixa de  $10 km.h^{-1}$  durante 3 minutos. Após o aquecimento, a velocidade da esteira foi aumentada  $1 km.h^{-1}$  a cada minuto até a velocidade máxima que sujeito suportou. Durante todo o teste, taxa de  $VO_2$  e da produção de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) usando um sistema de análise de gases expirados respiração por respiração (Quark CPET, Cosmed, Itália) foi utilizado.

A análise da curva de  $VO_2$  do teste incremental de corrida foi analisada por meio da inspeção visual, e os valores de  $VO_2$  foram plotados a fim de excluir valores com quatro desvios-padrão acima ou abaixo da média das janelas móveis de toda a curva. O  $VO_{2máx.}$  foi determinado como o maior valor observado no último estágio do teste (maior velocidade) e portanto, considerado como  $VO_{2máx.}$  de pico (BENTLEY; NEWELL; BISHOP, 2007).

Para determinação do 1º limiar ventilatório (LV1) e do 2º limiar ventilatório (LV2), foi utilizado o método dos equivalentes ventilatórios. A partir desse método, foram produzidos gráficos da ventilação (VE) dos equivalentes ventilatórios ( $VE.VO_2^{-1}$  e  $VE.CO_2^{-1}$ ) com o objetivo de encontrar os pontos de deflexão das respectivas variáveis. Após isso, a velocidade do consumo máximo de oxigênio ( $vVO_{2máx.}$ ), a velocidade do 1º limiar ventilatório ( $vLV1$ ), e a velocidade do 2º limiar ventilatório ( $vLV2$ ), foram obtidas a partir das velocidades de esteira nos quais esses eventos ocorreram (BENTLEY; NEWELL; BISHOP, 2007).

### *2.8 Procedimentos estatísticos*

Os dados foram apresentados em média, desvio padrão, valores mínimos e máximos. Primeiramente foi verificada a normalidade dos dados através do

teste de Shapiro Wilk. Na sequência foram realizadas correlações de Pearson para verificar as relações entre as variáveis independentes ( $VO_2$ máx.,  $vVO_2$ máx., LV1,  $vLV1$ , LV2,  $vLV2$ , C, LV1, CVM de flexores plantares, e EM, AP, e CF dos músculos GM e GL). As variáveis independentes que apresentaram fortes correlações e significativas ( $r \geq 0,70$  e  $p < 0,05$ ), foram selecionadas e assim escolhidas as serem eliminadas do modelo de regressão. Dessa forma, as variáveis independentes que restaram foram utilizadas no modelo de Regressão Linear Múltipla (*Stepwise*) afim de verificar se alguma delas explica o desempenho no teste de 3.000 metros. Os dados foram processados no software estatístico *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versão 22.0, com o nível de significância de 0.05.

## Resultados

Na tabela 1 são apresentadas as variáveis de caracterização da amostra em média e desvio padrão:

**Tabela 1** – Variáveis de caracterização da amostra dos corredores

Variáveis	Média	DP
Idade (anos)	33,92	7,40
Massa Corporal (kg)	69,52	6,47
Estatura (cm)	175,75	5,59
Comprimento de Perna (cm)	42,08	1,79
Volume Semanal (horas)	59,83	34,54
Periodicidade de Treino (vezes)	4,67	1,61
Desempenho 3000 (min.)	10,53	0,90

Na tabela 2 são apresentadas as variáveis de arquitetura muscular, CVM dos flexores plantares e as variáveis fisiológicas:

**Tabela 2-** Arquitetura muscular, CVM dos flexores plantares e variáveis fisiológicas

Variáveis	Média	DP
CF GM (%)	10	2
CF GL (%)	11	3
AP GM (°)	25,15	3,66
AP GL (°)	17,26	3,61
EM GM (cm)	1,75	0,25
EM GL (cm)	1,31	0,20
CVM Flexores Plantares (N)	176,67	25,68
C (J.kg <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> )	3,51	0,23
VO <sub>2</sub> máx. (mL.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	61,72	6,05
vVO <sub>2</sub> máx. (km.h <sup>-1</sup> )	20,00	1,54
LV1 (mL.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	38,58	4,30
vLV1 (km.h <sup>-1</sup> )	12,25	0,97
LV2 (mL.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	53,45	6,59
vLV2 (km.h <sup>-1</sup> )	16,67	1,72

Comprimento de Fascículo (CP), Gastrocnêmio Medial (GM), Gastrocnêmio Lateral (GL), Ângulo de Penação (AP), Espessura Muscular (EM), Contração Isométrica Voluntária Máxima (CVM), Custo Metabólico (C), Consumo Máximo de Oxigênio (VO<sub>2</sub>máx.), Velocidade do Consumo Máximo de Oxigênio (vVO<sub>2</sub>máx.), 1° Limiar Ventilatório (LV1), Velocidade do 1° Limiar Ventilatório (vLV1), 2° Limiar Ventilatório (LV2), Velocidade do 2° Limiar Ventilatório (vLV2).

A regressão linear múltipla indicou que o VO<sub>2</sub>máx. ( $p=0,01$ ) e o AP GL ( $p=0,03$ ) juntos explicaram em 78,9% o desempenho de corrida de 3000 metros. A equação abaixo representa o resultado dessa associação para os corredores:

$$Desempenho = [(VO_2máx. - 0,786) + (AP GL - 0,376)]$$

Na tabela 3 são apresentados os coeficientes de correlação das variáveis incluídas no modelo de regressão:

**Tabela 3 – Coeficiente de correlação das variáveis do modelo de regressão**

<b>Correlações da Regressão Linear Múltipla (Stepwise)</b>	<b>Corredores</b>
VO <sub>2</sub> máx. e AP GL	r= 0,789*
LV2	r= - 0,156
C	r= - 0,101
CF GM	r= - 0,190
AP GM	r= - 0,027
CVM Flexores Plantares	r= - 0,069
CF GL	r= - 0,049

Consumo Máximo de Oxigênio (VO<sub>2</sub>máx.), Ângulo de Penação (AP), Gastrocnêmio Lateral (GL), 2° Limiar Ventilatório (LV2), Custo Metabólico (C), Comprimento de Fascículo (CF), Gastrocnêmio Medial (GM), Contração Isométrica Voluntária Máxima (CVM). Coeficientes de correlação significativos entre as variáveis incluídas no modelo de regressão linear múltipla (p <0,05).

## **Discussão**

O objetivo desse estudo foi associar as variáveis de arquitetura muscular (CF, AP e EM dos músculos GM e GL), as variáveis fisiológicas (C, LV1, LV2, vLV1, vLV2, VO<sub>2</sub>máx., vVO<sub>2</sub>máx.), e a CVM dos flexores plantares com o desempenho de corrida de 3.000 metros. A nossa hipótese inicial era de que corredores com menores C e maiores valores de AP e de CP dos músculos GM e GL, explicariam em conjunto o desempenho de corrida de longa distância. Entretanto, o resultado principal do estudo foi parcialmente contrário a hipótese, uma vez que a partir do modelo de regressão linear adotado, o desempenho de corrida de 3.000 metros foi explicado em 78,9% pelo VO<sub>2</sub>máx. e AP GL em conjunto.

O desempenho de corrida pode ser explicado fisiologicamente pelo VO<sub>2</sub>máx., pela capacidade de utilização de altas frações do VO<sub>2</sub>máx., e pela economia de corrida (FOSTER e LUCIA, 2005). Por outro lado, esse desempenho é dependente de outros fatores intrínsecos e extrínsecos além da fisiologia, tais como: os tipos de treinamentos utilizados, o ambiente, a

biomecânica da corrida e a antropometria (SAUNDERS et al., 2004). A economia de corrida é uma variável importante para o desempenho, e os corredores mais econômicos, são aqueles que gastam menor quantidade de energia por distância percorrida (DI PRAMPERO, 1986). Dessa forma, um menor  $C$ , permite sustentar altas velocidades de corrida por maiores distâncias, e assim, reduzir o tempo final de corrida (DI PRAMPERO, 1986; FINATTO et al., 2018). Dumke et al., (2010) encontraram correlações fortes e significativas ( $r=0,80$ ;  $p=0,002$ ) entre o desempenho de 3.000 metros e a economia de corrida a uma velocidade de  $14,5 \text{ km.h}^{-1}$  em corredores bem treinados. Entretanto, o presente estudo não encontrou associação do  $C$  com o desempenho. Isso pode ser explicado pelo fato de que o  $C$  é uma variável determinante, porém quando comparados corredores com  $\text{VO}_2\text{máx.}$  similares (FOSTER e LUCIA, 2005). Os sujeitos do estudo apesar de serem corredores treinados com altos valores de  $\text{vVO}_2\text{máx.}$  (BENTLEY; NEWELL; BISHOP, 2007), eles apresentaram  $\text{VO}_2\text{máx.}$  entre  $50,50$  a  $74,50 \text{ mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ , ou seja, a amostra do estudo foi heterogênea. Além disso, os sujeitos também apresentaram volumes de treinamento semanais distintos (28 a 140 km semanais), assim como a sua especialidade de prova (3.000 metros à maratona). Dessa forma, esse conjunto de fatores citados acima, pode ter colocado a capacidade máxima de transportar e metabolizar o oxigênio durante exercício como determinante do desempenho de corrida ao invés do  $C$  nessa população.

O músculo GL possui maiores CF em comparação com os outros músculos com compõem o tríceps sural, isso pode significar um maior número de sarcômeros em série, e dessa forma, uma maior capacidade de produzir altas velocidades de contração. Por outro lado, GM é caracterizado por menores CF e maiores AP, assim, maiores sarcômeros em paralelo e maior capacidade de geração de força (KAWAKAMI et al., 1998). Os valores de GL e GM do presente estudo estão de acordo com os dados da literatura, com a média dos valores CF de GL ( $10 \pm 2 \%$ ) maiores do que CF de GM ( $11 \pm 3 \%$ ), e com maiores valores de AP de GM ( $25,15 \pm 3,66^\circ$ ) em comparação com AP de GL ( $17,26 \pm 3,61^\circ$ ). Os resultados encontrados indicaram ainda, que maiores valores de AP GL também explicaram o desempenho de corrida em conjunto com o  $\text{VO}_2\text{máx.}$  Isso pode ser interpretado como um resultado positivo, pois o AP está relacionado ao aumento

da área de secção transversa fisiológica e o fortalecimento dessa região contribui para maior rigidez das unidades musculotendíneas, que reduzem a ativação muscular e conseqüentemente gera um menor gasto energético por contração (DUMKE et al. 2010). Dessa forma esses resultados reforçam a relação dessa variável com desempenho de 3.000 metros.

Durante a corrida, o retorno de energia elástica e melhora da economia de movimento dependem da relação entre as contrações excêntricas e concêntricas na fase de contato do pé com solo (ALEXANDER; BENNET-CLARK, 1977). Além disso, Cavagna (2006), estimou que em velocidades de corrida (acima de 14 km.h<sup>-1</sup>), os músculos dos membros inferiores como um todo, atuam próximos da isometria. Corroborando com essas informações, Lai et al. (2014) experimentalmente, encontraram que a 18 km.h<sup>-1</sup>, as variações do comprimento do tendão (tecidos elásticos) dos flexores plantares contribuem mais do que as variações do comprimento da fibra muscular (tecidos contráteis). A média do tempo de prova dos sujeitos desse estudo foi de 10,53 ± 0,90 minutos, o que corresponde a uma velocidade média de prova de aproximadamente 17,00 km.h<sup>-1</sup>. Possivelmente, o maior AP dos GL dos corredores modifique a rigidez da unidade músculo-tendínea tornando-a mais elástica e como resultado, otimize o sistema massa mola pela melhora do ciclo alongamento encurtamento (CAVAGNA, HEGLUND E TAYLOR, 1977). Isso pode ter ocorrido no presente estudo, visto que a velocidade média dos corredores do presente estudo esteve entre 14 e 18 km.h<sup>-1</sup>. De modo interessante, esse achado se ajusta ao raciocínio proposto por Cavagna (2006), onde afirma que em velocidades acima de 13 km.h<sup>-1</sup> os tendões participariam em maior predominância no alongamento e encurtamento de unidades músculo-tendão. De fato, a bem reconhecida capacidade adicional de produção de força em fascículos musculares mais penados, indica uma maior rigidez muscular. Conseqüentemente, a participação maior de tendões no ciclo alongamento-encurtamento, explica ao menos em parte, a associação de angulo de penação e desempenho de corrida.

Estudos demonstram que diversos tipos de treinamento de força e pliométrico melhoram a potência e a força máxima de membros inferiores. Sedano et al., (2013) após 12 semanas de treinamento de força combinado ao

pliométrico melhoraram a economia de corrida, e a força máxima dos extensores de joelho, assim como o desempenho de 3.000 metros. Paavolainen et al., (1999) também encontraram melhoras no desempenho de corrida de 5.000 metros, na economia de corrida, e na potência muscular de corredores bem treinados com um treinamento pliométrico. Entretanto, até o presente momento, os desempenhos nessas distâncias de corrida não haviam sido explicados por alterações na arquitetura muscular.

Albracht e Arampatzis (2013) compararam o efeito de um programa de treinamento de 14 semanas de força em comparação com o grupo controle na economia de corrida. Os autores encontraram melhorias de aproximadamente 7% da CVM do GM, e cerca de 16% na rigidez do tendão dessa musculatura. Além disso, foi encontrada em 4% na economia de corrida. Novamente, ainda que a CVM dos flexores plantares e o C não expliquem o desempenho no presente estudo, é possível indicar que a maior capacidade de força muscular devido aos músculos mais penados em mais treinados, seja um mecanismo explicativo do desempenho. Entretanto, outros estudos que incluem a rigidez tendínea e muscular são necessários para confirmar esses achados.

Esse estudo apresenta algumas limitações que merecem atenção na interpretação dos resultados. Os corredores apesar de serem bem treinados, são provenientes de modalidades e especificidades de provas diferentes, como provas de 3.000 metros e maratonistas, e além disso, foram incluídos duatletas e triatletas com diferentes volumes de treinamento de corrida semanais (ver tabela 1). Por outro lado, a heterogeneidade de treinamento e tipos de provas sugerem que a aptidão cardiorrespiratória geral observada pelo  $VO_2$ máx. é importante na definição de desempenho em análises desta natureza (de grupos heterogêneos). Além disso, é possível que aumento do  $n$  amostral melhore a confiabilidade dos resultados e também seja possível incluir um maior número de variáveis independentes no modelo de regressão. Entretanto, esse estudo se destaca como, por mais que o  $VO_2$ máx. seja um resultado esperado, ele mostra que a arquitetura muscular como AP do GL pode ser um possível mecanismo de explicação do desempenho de corrida de longa distância.

Com base nos resultados preliminares desse estudo, concluímos que o desempenho de corrida de 3.000 metros é explicado em 78,9% pelo  $VO_2$ máx.

em conjunto com o AP do GL em corredores treinados. Para melhora do desempenho de corrida, treinamentos de corrida de alta velocidade podem melhorar o  $VO_2$ máx. através de adaptações centrais. Entretanto, treinamentos de força máxima e rápida são indicados para aumento do AP de músculos propulsores como o gastrocnêmio, em corredores bem treinados no qual a janela fisiológica de aumento do  $VO_2$ máx. é limitada.

## Referências

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**, [s.l.], v. 113, n. 6, p.1605-1615, 18 jan. 2013.

ABELLANEDA, S., GUISSARD, N., DUCHATEAU, J. The relative lengthening of the myotendinous structures in the medial gastrocnemius during passive stretching differs among individuals. **Journal of Applied Physiology**.106: 169-177, 2009.

ALEXANDER, M.R., BENNET-CLARK, H. C. Storage of elastic strain energy in muscle and other tissue. **Nature**, [s.l.], v. 265, n. 13, p.114-117, 1977.

BARONI, B. M. et al. Muscle architecture adaptations to knee extensor eccentric training: Rectus femoris vs. vastus lateralis. **Muscle & Nerve**, [s.l.], v. 48, n. 4, p.498-506, 15 jul. 2013b.

BARONI, B. M. et al. Time course of neuromuscular adaptations to knee extensor eccentric training. **International Journal of Sports Medicine**, [s.l.], v. 34, n. 10, p.904-911, 22 mar. 2013a.

BENTLEY, D. J; NEWELL, J; BISHOP, D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. **Sports Medicine**, [s.l.], v. 37, n. 7, p.575-586, 2007.

BLAXTER, K. Energy metabolism in animals and man. Cambridge, UK; **Cambridge University Press**, pg. 336, 1989.

BLAZEVICH, A. J. Effects of physical training and detraining, immobilization, growth and aging on human fascicle geometry. **Sports Medicine**. 36 (12): 1003-1017, 2006.

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

DI PRAMPERO, P. E. et al. The energetics of endurance running. **European Journal of Applied Physiology**. 55: 259-266, 1986.

DUMKE, C. L. et al. Relationship between muscle strength, power and stiffness and running economy in trained male runners. **International Journal of Sports Physiology and Performance**, [s.l.], v. 5, n. 2, p.249-261, jun. 2010.

FINATTO, P. et al. Pilates training improves 5-km run performance by changing metabolic cost and muscle activity in trained runners. **Plos One**, [s.l.], v. 13, n. 3, p.1-19, 21 mar. 2018.

FOURÉ, A., NORDEZ, A., CORNU, C. Effects of eccentric training on mechanical properties of the plantar flexor muscle-tendon complex. **Journal of Applied Physiology**.114: 523-537, 2013.

FOURÉ, A., NORDEZ, A., MCNAIR, P., CORNU, C. Effects of plyometric training on both active and passive parts of the plantarflexors series elastic component stiffness of muscle-tendon complex. **European Journal of Applied Physiology**.111: 539-548, 2011.

KAWAKAMI, Y., ICHINOSE, Y., FUKUNAGA, T. Architectural and functional features of human triceps surae muscles during contraction. **Journal of Applied Physiology**.85: 398-404, 1998.

KRAM, Rodger; TAYLOR, C. Richard. Energetics of running: a new perspective. **Nature**, [s.l.], v. 346, n. 6281, p.265-267, jul. 1990.

KUBO, K. et al. Passive and active muscle stiffness in plantar flexors of long distance runners. **Journal of Biomechanics**, [s.l.], v. 48, n. 10, p.1937-1943, jul. 2015.

LAI, A. et al. Tendon elastic strain energy in the human ankle plantar-flexors and its role with increased running speed. **Journal of Experimental Biology**, [s.l.], v. 217, n. 17, p.3159-3168, 19 jun. 2014.

MALTA, M et al. Iniciativa STROBE: subsídios para a comunicação de estudos observacionais. **Revista de Saúde Pública**, v. 3, n. 44, p.559-565, 2010.

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

SAIBENE, F.; MINETTI, A. E. Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. **European Journal of Applied Physiology**, [s.l.], v. 88, n. 4, p.297-316, jan. 2003.

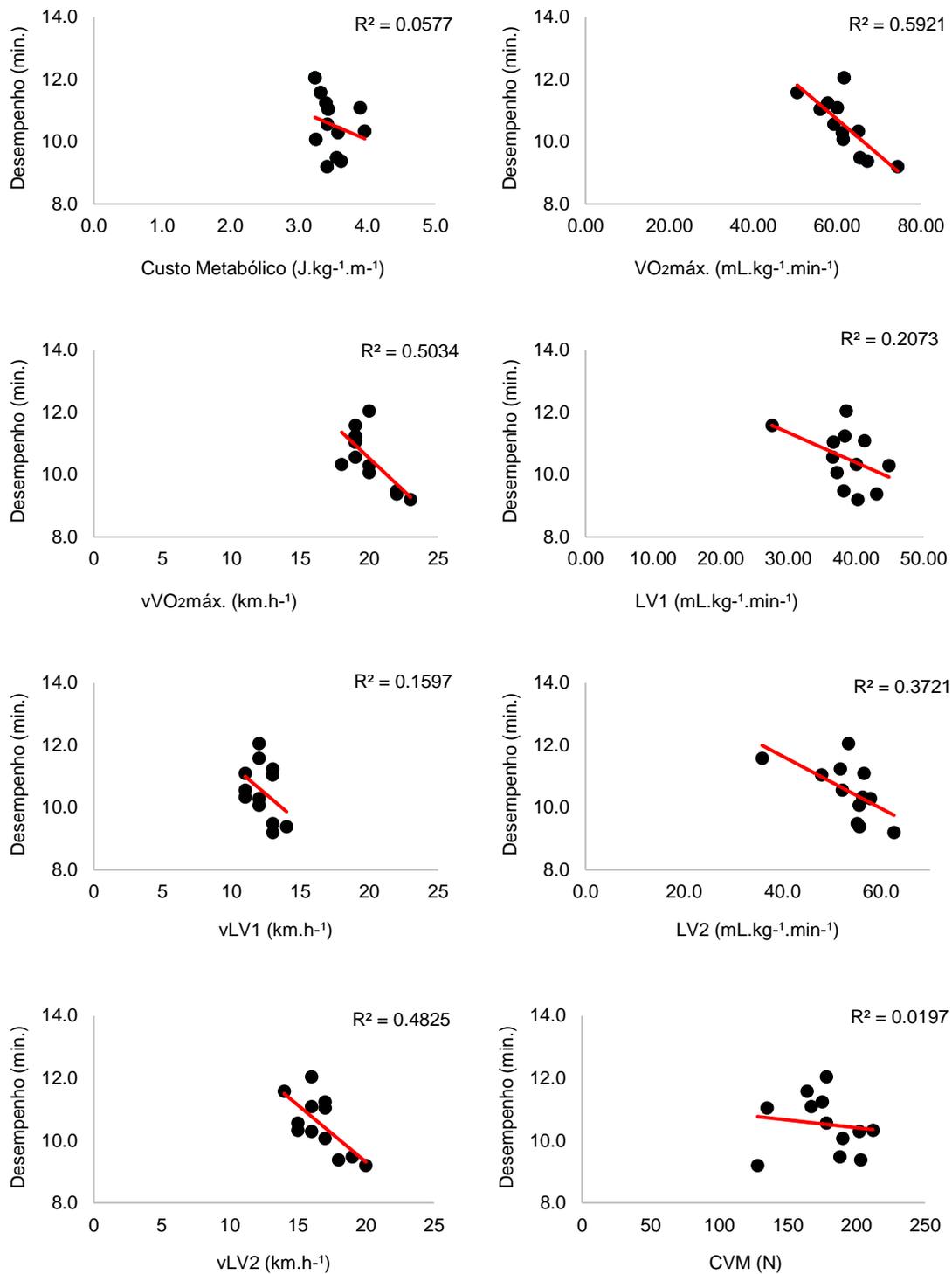
SAUNDERS, P. U. et al. Reliability and variability of running economy in elite distance runners. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, [s.l.], v. 36, n. 11, p.1972-1976, nov. 2004.

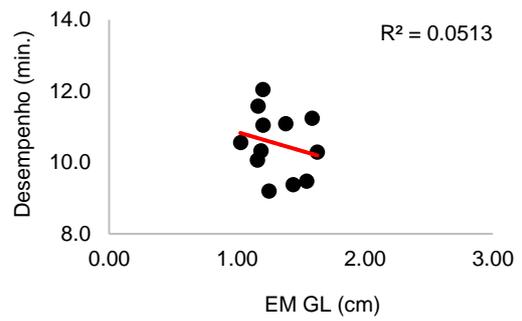
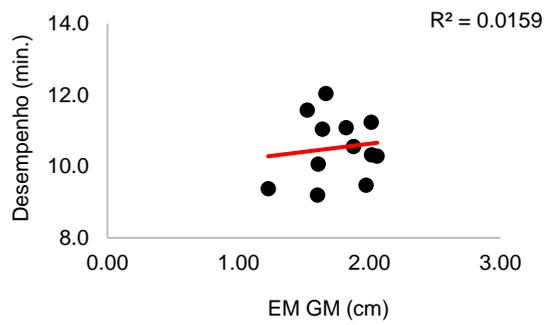
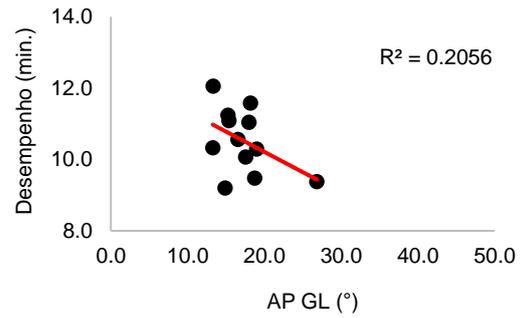
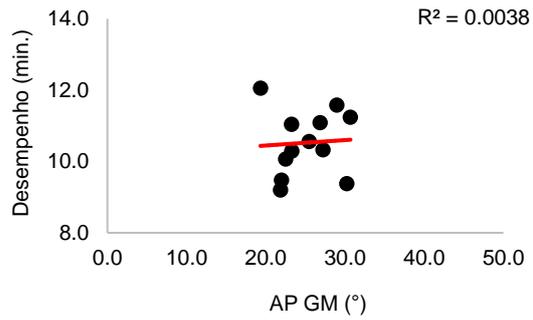
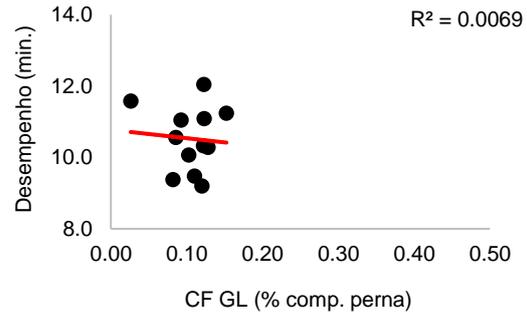
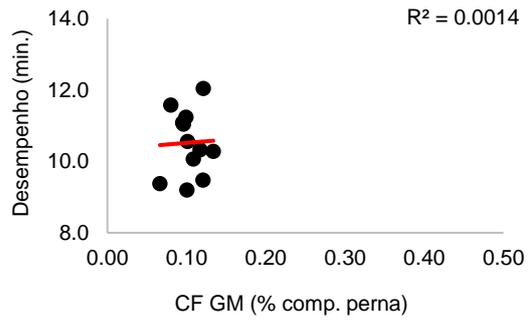
## **CONCLUSÃO GERAL DA MONOGRAFIA**

Com base nos resultados preliminares desse estudo concluímos que o desempenho de corrida de 3.000 metros é explicado em 78,9% pelo consumo máximo de oxigênio e o ângulo de penação do musculo gastrocnêmio lateral em conjunto.

Os principais direcionamentos para estudos futuros são: a avaliação da arquitetura muscular de outros músculos importantes da corrida como o vasto lateral e medial, a avaliação das propriedades mecânicas tendíneas do tendão de Aquiles e tendão patelar para a avaliação da relação tensão-deformação, e aumentar o n° amostral para incluir mais variáveis no modelo de Regressão Linear Múltipla sem perder o seu poder estatístico.

## APÊNDICE A – DISPERSÕES ENTRE AS VARIÁVEIS





## **APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Título do Projeto:

### **EFEITO DA TERAPIA DE FOTOBIMODULAÇÃO SOBRE O DESEMPENHO E RECUPERAÇÃO MUSCULAR DE CORREDORES**

Investigadores: Fábio Juner Lanferdini e Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga.

**Registro no comitê de ética em pesquisa com humanos da UFRGS (CEP-UFRGS)  
Telefone CEP-UFRGS para contato 51- 3308 3738**

#### **JUSTIFICATIVA, OS OBJETIVOS E OS PROCEDIMENTOS:**

Diante do exposto, o objetivo deste estudo será investigar os efeitos terapia de fotobioestimulação (TFB), que é uma técnica de fototerapia (luz infravermelha) sobre o desempenho do teste de 3000m, recuperação muscular e economia de corrida (EC) em corredores ou triatletas. A TFB age no sentido de reduzir a fadiga ou cansaço muscular, e a compreensão dos efeitos de ação dessa terapia nos possibilitarão avaliar seu uso tanto na área do esporte de alto rendimento quanto em situações clínicas com o objetivo de reduzir a fadiga muscular.

**DESCONFORTOS, RISCOS E BENEFÍCIOS:** Toda e qualquer produção científica demanda alguns cuidados e oferta alguns desconfortos e possíveis riscos nesta incursão. Os benefícios oriundos da participação da pesquisa é a oportunidade de entender quais os benefícios da TFB sobre a possibilidade de melhora do desempenho e recuperação muscular. O desconforto que você poderá sentir, está relacionado a intensidade máxima dos exercícios a serem realizados (teste incremental máximo na esteira e teste de 3000m na pista de atletismo), bem como desconfortos musculares tardios decorrentes dos testes realizados anteriormente. Entre os possíveis desconfortos que você irá sentir durante o exercício, você terá aumento da frequência cardíaca, pressão arterial, maior sudorese, bem como poderá sentir dor muscular e tontura durante os testes. Além disso, após a realização dos testes, a dor muscular pode ser aumentada e com isso poderá sentir dificuldade de locomoção (movimentar os segmentos corporais), devido ao exercício ter sido máximo.

#### **FORMA DE ACOMPANHAMENTO E ASSINTÊNCIA:**

Esse termo de consentimento, cuja cópia lhe foi entregue, explica todo o processo que você voluntário passará neste projeto de pesquisa. No primeiro dia de teste, todos os sujeitos deverão fornecer informações pessoais como nome, idade, e serão avaliadas a estatura, a massa corporal, além da aplicação de três questionários. Um questionário será utilizado para avaliar qual o seu membro inferior dominante (perna). Outro questionário será utilizado para coletar dados sobre a idade, massa, estatura, descrição das atividades de vida diária, como tipos e tempo de prática de exercícios realizados durante a semana. Todos os sujeitos realizarão cinco dias de testes, sendo que no primeiro dia será realizado um teste progressivo na esteira ergométrica, ou seja, a esteira aumentará a velocidade a cada minuto até a sua exaustão (até você não conseguir mais suportar o aumento da velocidade correndo, ou seja, o teste será interrompido); após 30 minutos será realizado dois testes de 4 minutos de corrida na esteira a 12 e 16km/h; e finalmente será realizado o teste de 3000m na pista de atletismo. Após o intervalo mínimo de 72 horas, você realizara a segunda visita ao laboratório onde será explicado quais os testes a serem realizados e após isso será realizado a avaliação da dor muscular nas pernas, bem como da ecografia de músculos das pernas; após isso você realizará um aquecimento de 10 minutos na esteira em velocidade controlada (10km/h), em seguida, será realizada a aplicação de TFB ou Placebo com duração de aproximadamente 10 minutos. Imediatamente após, será posicionado sobre a pele na sua perna direita, o medidor de oxigenação muscular (equipamento de tamanho parecido com um celular de 3 polegadas, sem qualquer fio). Finalmente você será convidado a se deslocar até a pista de atletismo, onde realizará o teste de 3000m, imediatamente

após o teste de 3000m, você realizará novamente todos os testes realizados anteriormente no laboratório. No dia seguinte, 24h após o teste de 3000m você deverá voltar ao laboratório para realizar novamente a avaliação de dor muscular e ecografia de músculos das pernas. A sua quarta visita ao laboratório, será realizada com intervalo mínimo 72h após a segunda e consistirá nas mesmas avaliações e testes. Além disso, 24h após o teste de 3000m da quarta visita, você retornará ao laboratório para uma nova avaliação de dor muscular e ecografia de músculos das pernas.

Obs. Para a realização dos testes, você não poderá ter qualquer doença cardíaca, pulmonar ou qualquer histórico de lesão musculoesqueléticas a pelo menos dois anos do início do projeto, bem como durante o projeto.

Se você quiser mais detalhes sobre algo mencionado aqui, ou outra informação, sinta-se livre para solicitar. Leia atentamente esse termo, a fim de que você tenha entendido plenamente o objetivo desse projeto, e o seu envolvimento nesse estudo como sujeito participante.

O investigador tem o direito de encerrar o seu envolvimento nesse estudo, caso isso se faça necessário, o que poderá ocorrer se você apresentar qualquer proibição médica à execução de testes máximos ou se você apresentar limitações físicas, cognitivas e/ou psicológicas a execução e/ou compreensão dos testes. Além disso, caso você não siga as recomendações nutricionais, sinta fortes dores musculares ou articulares durante os testes, ou ainda altere suas atividades de vida diária no período das avaliações, o pesquisador pode optar por sua exclusão do estudo. Da mesma forma, você pode retirar o seu consentimento em participar do estudo a qualquer momento se assim o desejar.

Por fim, o Registro alimentar fornecerá dados referentes à sua alimentação nas 48 horas anteriores a realização de cada um dos testes descritos a seguir.

#### **GARANTIA DE ESCLARECIMENTO, LIBERDADE DE RECUSA E GARANTIA DE SIGILO:**

Você será esclarecido sobre a pesquisa em qualquer aspecto que desejar. Você é livre para recusar-se a participar, retirar seu consentimento ou interromper a participação a qualquer momento. A sua participação é voluntária e a recusa em participar não irá acarretar qualquer penalidade ou perda de benefícios. Os pesquisadores irão tratar da sua identidade com padrões profissionais de sigilo. Os resultados da pesquisa serão enviados para você e permanecerão confidenciais. Seu nome ou o material que indique a sua participação não serão liberados sem a sua permissão. Durante a realização da pesquisa serão tiradas fotos e gravados vídeos dos procedimentos de avaliação, desta forma, este termo também refere-se ao seu consentimento quanto a liberação e divulgação das imagens e vídeos destas avaliações. Uma cópia deste consentimento informado será arquivada no Laboratório de Pesquisa do Exercício – LAPEX, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS e outra será fornecida a você.

Esta pesquisa corresponde e atende as exigências éticas e científicas indicadas na Resolução CNS 466/12 que contém as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. Além disso, os dados coletados nesta pesquisa serão armazenados por no mínimo cinco anos, os quais estarão disponíveis para possíveis esclarecimentos após a realização da pesquisa.

#### **CUSTOS DA PARTICIPAÇÃO, RESSARCIMENTO E INDENIZAÇÃO POR EVENTUAIS DANOS:**

A participação no estudo não acarretará qualquer custo para você e também não será disponibilizada qualquer compensação financeira adicional. No caso de você sofrer algum dano decorrente dos testes realizados por esta pesquisa, os pesquisadores assumirão as suas responsabilidades e farão o necessário para melhor lhe atender e resolver o dano ocasionado.

**DECLARAÇÃO DO PARTICIPANTE:** \_\_\_\_\_, pelo presente Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, declaro que autorizo a minha participação nesta pesquisa, pois fui informado, de forma clara e detalhada, livre de qualquer forma de constrangimento e coerção, dos objetivos, da justificativa, dos procedimentos que serei submetido, dos riscos, desconfortos e benefícios.

A sua assinatura nesse formulário indica que você entendeu satisfatoriamente a informação relativa à sua participação nesse projeto e você concorda em participar como sujeito.

De forma alguma, esse consentimento lhe faz renunciar aos seus direitos legais, e nem libera os investigadores, patrocinadores, ou instituições envolvidas de suas responsabilidades pessoais ou profissionais. A sua participação continuada deve ser tão bem informada quanto o seu consentimento inicial, de modo que você deve se sentir à vontade para solicitar esclarecimentos ou novas informações durante a sua participação. Se tiver qualquer dúvida referente a assuntos relacionados com esta pesquisa, favor entrar em contato com o: Dr. Fábio Juner Lanferdini (Fone: (51) 999883262; email: [fabiolanferdini@gmail.com](mailto:fabiolanferdini@gmail.com)), ou Prof. Dr. Leonardo Alexandre Peyré Tartaruga (Fone: (51) 3308.5817; email: [leonardo.tartaruga@ufrgs.br](mailto:leonardo.tartaruga@ufrgs.br)) ou ainda com o Comitê de Ética em Pesquisa da UFRGS [Fone: (51) 3308.3738].

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Investigador

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
Data

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Participante

## APÊNDICE C – ANAMNESE

### ANAMNESE ATLETAS

#### DADOS INDIVIDUAIS

Código Alfanumérico: \_\_\_\_\_

#### ANAMNESE

1. Você faz ou fez uso de vitaminas ou complementos alimentares?  
 não  sim Qual (is)?  Creatina  Aminoácidos  Vitaminas e Minerais  Carboidratos  Outros \_\_\_\_\_ Tempo de uso: \_\_\_\_\_
2. Você faz uso de medicamentos?  
 não  sim Qual (is)? Tempo de uso: \_\_\_\_\_
3. Você possui algum tipo de doença cardíaca ou pulmonar?  
 não  sim Qual (is)? \_\_\_\_\_
4. Você tem algum tipo de lesão muscular, articular ou óssea?  
 não  sim Qual (is)? \_\_\_\_\_
5. Há quanto tempo teve a última lesão? \_\_\_\_\_
6. Há quanto tempo você é atleta? \_\_\_\_\_
7. Há quanto tempo você compete? \_\_\_\_\_
8. Há quanto tempo você treina habitualmente? \_\_\_\_\_
9. Qual a sua categoria? \_\_\_\_\_
10. Qual a sua especialidade na corrida?  
 Velocista  Meio-Fundista  Fundista  Outras ( )? \_\_\_\_\_
11. Qual a sua melhor colocação em campeonato e qual foi o ano? \_\_\_\_\_
12. Qual seu ritmo (pace) médio em provas de 5 e 10km? \_\_\_\_\_
13. Atualmente, qual o volume de treino semanal (Km/semana)? \_\_\_\_\_ Quantas vezes por semana você treina? \_\_\_\_\_ Duração da sessão: \_\_\_\_\_
14. Como você classifica o seu estado de treinamento atual?  
 destreinado  pouco treinado  treinado  bem treinado
15. Você pratica outro tipo de treinamento? \_\_\_\_\_ Quantas horas por semana? \_\_\_\_\_  
 Musculação  Natação  Alongamentos  Ciclismo  Esportes coletivos
16. Você já fez alguma avaliação física em laboratório ou campo?  
 Nunca fiz  Há menos de 2 meses  Há 6 meses  Há mais de 1 ano
17. Os resultados são utilizados para o treinamento?  Sim  Não
18. Quais variáveis que você utiliza no treinamento ( $VO_{2máx}$ , limiar anaeróbio, potência, frequência cardíaca, percepção subjetiva de esforço)? \_\_\_\_\_

## APÊNDICE D – DADOS GERAIS

ID	VOLUME TREINO	DESEMPENHO	CVM	C	VO <sub>2</sub> máx.	vVO <sub>2</sub> máx.	LV1	vLV1	LV2	vLV1	CF GM	CF GL	AP GM	AP GM	EM GM	EM GL
1	40	9.4	203	3.6	67.3	22	43.1	14	55.7	18	0.07	0.08	30.2	26.8	1.23	1.44
2	60	11.2	175	3.4	57.8	19	38.4	13	51.8	17	0.10	0.15	30.7	15.3	2.01	1.59
3	30	10.3	212	4.0	65.1	18	40.1	11	56.3	15	0.12	0.12	27.2	13.3	2.02	1.19
4	60	10.6	178	3.4	59.3	19	36.6	11	52.2	15	0.10	0.09	25.5	16.6	1.88	1.03
5	60	10.1	190	3.2	61.5	20	37.2	12	55.6	17	0.11	0.10	22.5	17.6	1.61	1.16
6	70	11.1	167	3.9	60.1	19	41.3	11	56.6	16	0.10	0.12	26.9	15.4	1.82	1.38
7	30	12.1	178	3.2	61.7	20	38.6	12	53.5	16	0.12	0.12	19.3	13.4	1.67	1.20
8	110	10.3	202	3.6	61.3	20	44.9	12	57.9	16	0.13	0.13	23.3	19.0	2.06	1.63
9	140	9.2	128	3.4	74.5	23	40.3	13	62.7	20	0.10	0.12	21.9	14.9	1.60	1.25
10	28	11.6	164	3.3	50.5	19	27.6	12	35.9	14	0.08	0.03	29.0	18.2	1.53	1.16
11	60	9.5	188	3.6	65.5	22	38.2	13	55.2	19	0.12	0.11	22.0	18.7	1.98	1.54
12	30	11.0	135	3.4	56.0	19	36.7	13	48.0	17	0.10	0.09	23.3	18.0	1.64	1.20