



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

VITOR CIMONETTI

**SUAVIDADE DO MOVIMENTO DA PASSADA E PREDIÇÃO DA
VELOCIDADE PICO DE CORREDORES RECREACIONAIS DE RUA
EM VELOCIDADES SUBMÁXIMAS**

Londrina

2023

VITOR CIMONETTI

**SUAVIDADE DO MOVIMENTO DA PASSADA E PREDIÇÃO DA
VELOCIDADE PICO DE CORREDORES RECREACIONAIS DE RUA
EM VELOCIDADES SUBMÁXIMAS**

Dissertação de Mestrado apresentada à Banca de defesa do Programa De Pós-Graduação Associado em Educação Física - UEM/UEL, como requisito à obtenção ao título de Mestre em Educação Física.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Rico Bini
Co-orientador: Prof. Dr. Felipe Arruda Moura

Londrina

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

C573s Cimonetti, Vitor.

Suavidade do movimento da passada e predição da velocidade pico de corredores recreacionais de rua em velocidades submáximas / Vitor Cimonetti. - Londrina, 2023.

53 f.

Orientador: Rodrigo Rico Bini.

Coorientador: Felipe Arruda Moura.

Dissertação (Mestrado em Educação Física) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Educação Física e Esportes, Programa de Pós-Graduação em Educação Física, 2023.

Inclui bibliografia.

1. Corrida de rua - Tese. 2. Biomecânica - Tese. 3. Suavidade da corrida - Tese. 4. Velocidade pico - Tese. I. Rico Bini, Rodrigo. II. Arruda Moura, Felipe. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Educação Física e Esportes. Programa de Pós-Graduação em Educação Física. IV. Título.

CDU 796

VITOR CIMONETTI

**SUAVIDADE DO MOVIMENTO DA PASSADA E PREDIÇÃO DA
VELOCIDADE PICO DE CORREDORES RECREACIONAIS DE RUA
EM VELOCIDADES SUBMÁXIMAS**

Dissertação de Mestrado apresentada à Banca de defesa do Programa De Pós-Graduação Associado em Educação Física - UEM/UEL, como requisito à obtenção ao título de Mestre em Educação Física

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Rico Bini
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Gustavo Leporace de Oliveira Lomelino Soares
Biocinética e Instituto Brasil de Tecnologia da Saúde

Prof. Dr. Victor Hugo Alves Okazaki
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 09 de março de 2023.

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de agradecer primeiramente aos meus orientadores, Dr. Rodrigo Rico Bini e Dr. Felipe Arruda Moura por todo o suporte prestado durante o desenvolvimento dessa dissertação. Aos membros da banca pelos apontamentos, que com toda a certeza fizeram a diferença neste trabalho. Ao Edson, Alexandre, Lisandro e todos os colegas de laboratório que também de alguma forma contribuíram para meu desenvolvimento. A Capes pela bolsa de estudos e por fim, gostaria de agradecer à Tainah e Leonardo por estarem do meu lado em todos os momentos.

“O sucesso é a soma de pequenos esforços repetidos dia após dia”

Robert Collier

CIMONETTI, Vitor. **Suavidade do movimento da passada e predição da velocidade pico de corredores recreacionais de rua em velocidades submáximas**, 2022. 51 f. Dissertação (Mestrado em Educação Física). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

RESUMO

Criar alternativas que ajudem corredores recreacionais a melhorar o desempenho é importante para um melhor planejamento dos treinamentos. Em vista disso, é benéfico criar formas mais seguras e menos exaustivas de estimar a velocidade pico e verificar se movimentos de passada mais suaves durante a corrida estão relacionados com o tempo de contato com o solo, tempo de fase aérea, deslocamento do centro de massa e pico vertical de força de reação com o solo durante a corrida. Por isso, o objetivo do presente estudo foi mensurar e estimar as variáveis acima citadas em velocidades submáximas para verificar como estas variáveis são relacionadas com a suavidade da passada do corredor e se estas são capazes de explicar a velocidade pico. Participaram do estudo 26 corredores recreacionais de rua. No primeiro dia, os participantes realizaram um protocolo de velocidade pico em esteira e, no segundo dia, após calculados os valores relativos à velocidade de 80% da velocidade pico, foi capturada a cinemática do movimento da corrida. Os dados cinemáticos foram processados e tratados, foram considerados 10 passos para as análises e em seguida calculados o tempo de contato, tempo de fase aérea, deslocamento do centro de massa, estimativa de pico de força máxima de reação do solo e suavidade do calcâneo. No primeiro estudo, os resultados da correlação mostram que apenas o tempo de contato ($R=-0,60$; $p<0,001$) e de fase aérea ($R=0,41$; $p=0,01$) apresentam correlação significativa com a velocidade pico, entretanto, quando realizada a regressão múltipla, apenas o tempo de contato foi incluído no modelo, indicando que o tempo de contato parece ser crítico na predição da velocidade pico. No segundo estudo, foram encontradas correlações significativas entre a suavidade do movimento e a massa do participante ($R=-0,42$; $p=0,04$), pico vertical de força de reação do solo ($R=-0,50$; $p=0,04$), tempo de fase aérea ($R=-0,70$; $p<0,005$), tempo de contato ($R=-0,51$; $p=0,01$), e cadência ($R=0,45$; $p=0,02$). Conclui-se que a variável tempo de contato é uma variável crítica para a predição da velocidade pico enquanto as outras variáveis parecem ser de menor importância. Ainda, a suavidade do movimento pode ser uma métrica capaz de ser usada para entender o comportamento de variáveis biomecânicas em velocidades submáximas, pois um corredor com um movimento de passada mais suave está associado com maior cadência, menor tempo de contato, menor tempo de fase aérea e menor massa corporal.

Palavras-chave: Corrida; Corredores recreacionais; Cinemática; Velocidade pico; Biomecânica; Suavidade da corrida.

CIMONETTI, Vitor. **Stride smoothness and peak speed prediction of recreational street runners at submaximal speeds**. 2022. 48 pgs. Master's Dissertation in Physical Education – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

ABSTRACT

Creating alternatives that help recreational runners increase performance is important for better planning of training. So, it is important to create safer and less exhaustive ways of estimating peak speed and to assess whether smoother stride movements during running are related to running biomechanics. Therefore, the present study aimed to measure and estimate the contact time, flight time, center of mass displacement and vertical peak ground reaction force estimated at submaximal speeds to verify how these variables are related to the smoothness of the runner's stride and whether they can explain peak speed. Twenty-six recreational road runners participated in the study. On the first day, participants performed a peak speed protocol on a treadmill, and on the second day, after calculating the values for the speed of 80% peak speed, kinematics of the running motion was captured. Ten steps were considered for the analyses, where contact time, flight time, center of mass displacement, vertical peak ground reaction force estimated, and calcaneal smoothness were calculated. In the first study, results show that only contact time ($R=-0.60$; $p<0.001$) and air phase ($R=0.41$; $p=0.01$) showed a significant correlation with peak speed. However, when multiple regression is performed, only contact time was included in the model, indicating that contact time appears to be critical for predicting peak speed. In the second study, significant correlations were found between smoothness and participants' body mass ($R=-0.42$; $p=0.04$), peak vertical ground reaction force ($R=-0.5$; $p=0.04$), flight time ($R=-0.7$; $p<0.001$), contact time ($R=-0.51$; $p=0.01$), and cadence ($R=0.45$; $p=0.02$). We concluded that contact time variable is a critical variable for predicting peak speed while the other variables seem to be of less importance. Also, smoothness may be a metric capable of being used to understand biomechanical responses at submaximal speeds, because a runner with a smoother movement may present a higher cadence, shorter contact time, shorter flight time, and lower body mass.

Key-words: Run; Recreational runners; Kinematics; Peak speed; Biomechanics; Running smoothness.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	8
1 INTRODUÇÃO	8
1.1 FORMULAÇÃO DA SITUAÇÃO PROBLEMA	11
1.2 ESTRUTURA DO PROJETO E OBJETIVOS	11
1.3 OBJETIVO GERAL	11
1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
CAPÍTULO 2	13
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	13
2.1 TIPO DE ESTUDO	13
2.2 POPULAÇÃO E AMOSTRA	13
2.3 COLETA DE DADOS	13
CAPÍTULO 3	13
3.1 VARIÁVEIS BIOMECÂNICAS EM VELOCIDADES SUBMÁXIMAS SÃO CAPAZES DE EXPLICAR A VELOCIDADE PICO EM CORREDORES RECREACIONAIS?	13
3.2 POPULAÇÃO E AMOSTRA	16
3.3 COLETA DE DADOS	16
3.4 INSTRUMENTOS	18
3.4.1 ANÁLISE CINEMÁTICA	18
3.4.2 PROTOCOLO DE CORRIDA EM ESTEIRA	19
3.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS	20
3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	21
RESULTADOS	22
DISCUSSÃO	23
CONCLUSÃO	26
CAPÍTULO 4	27
4.1 A CONSISTÊNCIA DO MOVIMENTO DA PASSADA ESTÁ RELACIONADA COM VARIÁVEIS BIOMECÂNICAS?	27
4.2 POPULAÇÃO E AMOSTRA	29
4.3 COLETA DE DADOS	30

4.4 INSTRUMENTOS	30
4.4.1 CAPTURA CINEMÁTICA	30
4.4.2 PROTOCOLO DE CORRIDA EM ESTEIRA	32
4.5 PROCESSAMENTO DOS DADOS	30
4.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	30
DISCUSSÃO	34
CONCLUSÃO	37
CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
REFERÊNCIAS	40
APÊNDICES	46
APÊNDICE A	46
ANEXOS	49
ANEXO A – PAR-Q	49
ANEXO B – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA	50

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

Um dos parâmetros amplamente empregados no planejamento de programas de treinamento com o objetivo de otimizar o desempenho atlético consiste na manipulação da variável velocidade, a qual pode ser classificada em diferentes categorias, tais como velocidades submáximas e velocidade pico. A velocidade de pico é considerada uma boa preditora para corridas de resistência em corredores recreacionais (MACHADO *et al.*, 2013; STRATTON *et al.*, 2009). Ela é definida como a maior intensidade de esforço alcançada durante um teste incremental até a exaustão do participante (NOAKES; MYBURGH; SCHALL, 1990). Dentre tantas formas, como $\dot{V}O_2$ máximo, limiar de lactato, economia de corrida (ALVERO-CRUZ *et al.*, 2019; LANFERDINI *et al.*, 2020) comumente utilizadas para avaliar o desempenho em corredores recreacionais ou profissionais, a velocidade de pico acaba sendo a mais fácil de se mensurar por utilizar somente uma esteira não necessitando de um ambiente laboratorial e não usar técnicas invasivas ou equipamentos de alto custo para ser definida (JONES; POOLE, 2009).

Durante a corrida, dentre alguns dos fatores que determinam o desempenho do corredor estão variáveis como o custo energético, economia de corrida, variáveis espaço-temporais, cinética, entre outros (MOORE, 2016; SLAWINSKI; BILLAT, 2004). Isso sugere que a habilidade de correr em maiores velocidades é multifatorial, sugerindo que, variáveis fisiológicas e biomecânicas possuem um papel fundamental. Algumas dessas variáveis biomecânicas são importantes, exercem grande influência e são passíveis de modificações por meio de treinamento, por isso devem ser levadas em consideração. Dentre elas estão o tempo de contato com o solo, duração da fase aérea (NUMMELA; KERÄNEN; MIKKELSSON, 2007; WEYAND *et al.*, 2010), magnitude do pico vertical de força de reação do solo (MOORE, 2016; WEYAND *et al.*, 2000) e deslocamento do centro de massa (TARTARUGA *et al.*, 2012; ZHANG, Q. *et al.*, 2022).

Ademais, é conhecido que a principal forma de corredores aumentarem sua velocidade é por meio de uma combinação ideal entre comprimento e cadência do passo, tanto em corridas de velocidade “*sprints*” (NAGAHARA *et al.*, 2018; PARADISIS, GIORGIOS P. *et al.*, 2019) quanto em corridas de resistência “*endurance*” (NUMMELA; KERÄNEN; MIKKELSSON, 2007). Inerente a essas

alterações, estão o tempo de contato e o tempo de fase aérea (MORIN, J. B. et al., 2007). Os tempos de contato e de fase aérea possuem fortes relações com a velocidade (WEYAND *et al.*, 2001), sendo que, usualmente, quanto maior a velocidade, menor o tempo de contato com o solo e maior o tempo de fase aérea (NUMMELA; KERÄNEN; MIKKELSSON, 2007). Um maior tempo de fase aérea durante a corrida é alcançado por meio de uma maior aplicação de força no solo, dessa forma, proporcionando impulsão suficiente para que o corredor se mantenha mais tempo fora de contato com o solo (PARADISIS, GIORGIOS P. *et al.*, 2019).

Em relação ao comportamento da força de reação do solo durante a corrida, muitos estudos exploraram sua relação com a velocidade (KELLER *et al.*, 1996), com o tamanho do passo (RABITA *et al.*, 2015), com a técnica de contato do pé com o solo (BONNAERENS *et al.*, 2021) e, quando em altas magnitudes, com lesões (JOHNSON *et al.*, 2020; NAPIER *et al.*, 2018). Para reduzir essa força, algumas estratégias foram criadas, dentre elas, correr tentando reduzir os ruídos produzidos no contato do pé com o solo (PHAN *et al.*, 2017), aumentar quantidade de contatos com o solo (cadência) (BONNAERENS *et al.*, 2021) ou reduzir o deslocamento vertical do centro de massa (ADAMS *et al.*, 2018).

Outra consequência natural do aumento da velocidade é a redução do deslocamento vertical do centro de massa (BRUGHELLI; CRONIN; CHAOUACHI, 2011). Esse deslocamento está relacionado com uma mudança na energia potencial do corpo, sendo assim, maiores oscilações são relacionadas com maior custo energético (FOLLAND *et al.*, 2017) por conta de ser necessário que o corredor realize um maior trabalho contra a ação da gravidade. Alguns estudos indicam que há uma tendência de corredores mais experientes e mais rápidos realizarem um menor deslocamento vertical quando comparado aos seus pares menos experientes e mais lentos (BRUGHELLI; CRONIN; CHAOUACHI, 2011; FOLLAND *et al.*, 2017).

Ademais, diversos estudos têm buscado correlacionar as variáveis anteriormente mencionadas com a economia de corrida (BRUGHELLI; CRONIN; CHAOUACHI, 2011; FOLLAND *et al.*, 2017; TARTARUGA *et al.*, 2012) ou com o consumo máximo de oxigênio (VO_{2max}) juntamente com a porcentagem de gordura corporal (ALVERO-CRUZ *et al.*, 2019; LANFERDINI *et al.*, 2020). Porém, existem alternativas e variáveis que também podem ser utilizadas para predizer o desempenho de corredores, como por exemplo, o tempo de contato com o solo (DE RUITER *et al.*, 2016). Porém, em velocidades submáximas, ou seja, velocidades que os corredores

mantem em provas de cinco quilômetros, normalmente próximas a 80% da velocidade pico (PESERICO, CECÍLIA SEGABINAZI; FERNANDES DA SILVA; MACHADO, 2019) ainda não é sabido se variáveis como tempo de contato com o solo, tempo de fase aérea, deslocamento do centro de massa e pico de força de reação do solo nessas velocidades são capazes de explicar a velocidade final de corredores recreacionais. Portanto, é importante investigar o quanto essas variáveis espaço temporais explicam as velocidades máximas. Ainda, conhecimento acerca do grau de correlação entre as variáveis apresentadas e a velocidade pico é relevante podem facilitar a tomada de decisão em relação ao retreinamento ou não da corrida facilitando melhorar o desempenho relacionado a velocidade.

Somado a tudo isso, além das variáveis cinéticas e cinemáticas apresentadas, uma característica pouco explorada em corredores recreacionais e que indica o quão consistente é o movimento do corredor em realizar a passada é a suavidade do pé durante o ciclo da passada na corrida. Um movimento é considerado suave quando é realizado de maneira contínua e sem interrupções (BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2015; SEJNOWSKI, 1998). Quando um indivíduo com um movimento pouco suave, irá realizar um movimento intermitente devido a falta de familiaridade com a tarefa ou ambiente e lesões musculoesqueléticas (BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2015).

A suavidade da corrida pode ser somada aos recentes avanços dos *wearables* (dispositivos eletrônicos vestíveis) para conceder melhores abordagens referente a suavidade do movimento de passada durante a corrida (KIELY; PICKERING; COLLINS, 2019). Desse modo, tornando possível que surjam novas formas de avaliação de desempenho para corredores recreacionais, de forma que, por meio de seus relógios, seja possível quantificar o quão proficiente está a corrida do indivíduo. Como a maior parte dos corredores são considerados recreacionais, é importante explorar a suavidade do movimento da passada na corrida nesse público para que seja possível saber o quão consistente está o movimento da passada, possibilitando assim os treinadores usarem essa métrica para promover um melhor desempenho em seus corredores. Nesse sentido, sabendo que a suavidade da corrida reflete as melhoras na habilidade do corredor em realizar o movimento da corrida, evidências relacionando a suavidade da corrida com o desempenho podem fornecer métricas para contextualizar a natureza de uma corrida com movimentos mais consistentes, possibilitando assim a criação de novos métodos para o retreinamento do movimento.

Portanto, em conformidade com o exposto anteriormente, o objetivo geral dessa dissertação foi analisar a correlação entre variáveis como o tempo de contato com o solo, tempo de fase aérea, deslocamento do centro de massa e pico de força de reação do solo com variáveis de desempenho da corrida como a suavidade do movimento da passada e velocidade pico. Como hipótese, sugerimos que variáveis biomecânicas da corrida apresentadas são fatores importantes que pudessem prever a velocidade pico influenciar a suavidade do movimento. Com isso buscamos averiguar quais dessas variáveis são de maior importância para a velocidade pico e suavidade do movimento.

1.1 FORMULAÇÃO DA SITUAÇÃO PROBLEMA

Com base nas informações dispostas, o presente estudo buscará responder as seguintes questões:

1. Será possível prever a velocidade pico na esteira com base em variáveis biomecânicas obtidas durante a velocidade submáxima correspondente a 80% da velocidade pico?
2. A suavidade do calcâneo durante a corrida se correlaciona com o tempo de contato com o solo, tempo de fase aérea, deslocamento do centro de massa e pico de força de reação do solo?

1.2 ESTRUTURA DO PROJETO E OBJETIVOS

Esta dissertação foi estruturada a partir do modelo alternativo (escandinavo), o qual contará com a apresentação de dois artigos originais. O primeiro capítulo foi composto pela introdução descrita de forma expandida contendo justificativa, formulação da questão problema e objetivos. O segundo capítulo foi composto pela descrição da metodologia geral e estrutura do projeto. No terceiro capítulo será apresentado o artigo original acerca da quantificação de determinadas variáveis cinéticas e cinemáticas durante uma velocidade submáxima e quanto elas explicam a velocidade pico em corredores recreacionais. No quarto capítulo será apresentado o artigo original em que foi testado a relação da suavidade da corrida com as variáveis biomecânicas apresentadas anteriormente em corredores recreacionais. Por fim, no quinto capítulo serão apresentadas as conclusões gerais.

1.3 OBJETIVO GERAL

Estimar o tempo de contato com o solo, tempo de fase aérea, deslocamento do centro de massa e pico de força vertical de reação do durante a corrida submáxima e verificar a correlação delas com a velocidade pico e a suavidade da corrida em corredores recreacionais.

1.3.1 Objetivos Específicos

Artigo original A

Objetivo: Predizer a velocidade de pico por meio do tempo de contato, tempo de fase aérea, pico de força máxima de reação do solo predita e o deslocamento do centro de massa em corredores recreacionais.

Artigo original B

Objetivo: Testar a correlação da suavidade da corrida com o tempo de contato com o solo, tempo de fase aérea, deslocamento do centro de massa e pico de força vertical de reação do solo em velocidades submáximas.

CAPÍTULO 2

3 ARTIGO ORIGINAL

3.1 Variáveis biomecânicas em velocidades submáximas são capazes de prever a velocidade pico em corredores recreacionais?

INTRODUÇÃO

Protocolos de corrida intensos e extenuantes são muito utilizados para investigar o comportamento de variáveis cinemáticas e cinéticas em corredores (BRUGHELLI; CRONIN; CHAOUACHI, 2011; ORENDURFF *et al.*, 2018; RUMPF *et al.*, 2015), principalmente por sua facilidade de aplicação em campo e por não necessitarem de equipamentos de alto custo para serem executados (PESERICO, CECÍLIA SEGABINAZI; ZAGATTO; MACHADO, 2014). Dentre eles, a velocidade pico é considerada confiável e uma boa preditora para o desempenho em provas de *endurance* (DA SILVA; SIMÕES; MACHADO, 2015; PESERICO, CECÍLIA SEGABINAZI; FERNANDES DA SILVA; MACHADO, 2019). Em protocolos com intensidades superiores ao limiar de lactato, como a velocidade de pico, grande parte dos participantes podem se sentir desconfortáveis em realizar a avaliação (EKKEKAKIS; PARFITT; PETRUZZELLO, 2011). Uma alternativa é realizar testes em velocidades submáximas.

Durante provas de cinco quilômetros a velocidade média que o corredor percorre é de cerca de 80% referente a velocidade pico (PESERICO, CECÍLIA SEGABINAZI; FERNANDES DA SILVA; MACHADO, 2019), ademais, essa velocidade relativa é próxima a velocidade de maior intensidade a ser mantida sem o acúmulo de lactato (LETI *et al.*, 2012).

Dada a variabilidade entre corredores em relação ao conforto em intensidades próximas ao limiar de lactato (EKKEKAKIS; PARFITT; PETRUZZELLO, 2011), é interessante definir nos treinamentos, um ponto de corte próximo às velocidades de provas, além disso, entender o que influencia o desempenho em corredores recreacionais tem sido foco de vários estudos, dentre os fatores específicos a cinemática e a cinética possuem uma importante participação. A título de exemplo, uma baixa oscilação do centro de massa, um menor tempo de contato com o solo, um maior tempo de fase aérea são características presente em velocidades mais

elevadas (ADAMS *et al.*, 2018; MOORE, 2016; ORENDURFF *et al.*, 2018; RUMPF *et al.*, 2015).

Durante toda a corrida, é necessário que seja aplicada força no solo para que seja possível gerar impulso para o próximo passo e isso ocorre quando o pé está em contato com o solo. Corredores mais rápidos são capazes de aplicar uma maior força no solo durante menores tempos de contato com o solo (WEYAND *et al.*, 2010). Essa força aplicada no solo é necessária para que aumente o tempo de fase aérea, influenciando assim, na distância horizontal entre cada passo (WEYAND *et al.*, 2000). Junto a isso a oscilação do centro de massa deve diminuir já que maiores oscilações são relacionadas com maior custo energético (FOLLAND *et al.*, 2017). Isso sugere que a habilidade de correr em maiores velocidades depende de uma combinação de fatores.

Compreender a relação entre variáveis biomecânicas durante velocidades submáximas e velocidades finais é importante para a seleção de exercícios, avaliação e planejamento do programa de treinamento de corredores. Assim, permitindo a obtenção de métricas de forma menos extenuante e identificação de fatores determinantes para maiores velocidades. Uma vez que muitos corredores recreacionais visam aumentar seus recordes pessoais e a realização de protocolos máximos para predizer o desempenho pode ser inconveniente para alguns corredores, torna-se necessário averiguar o quanto a velocidade pico pode ser explicada por meio do tempo de contato com o solo, tempo de fase aérea, deslocamento do centro de massa e pico vertical de força de reação do solo velocidades submáximas.

As análises relacionadas à diferentes fatores afetando a velocidade pico são importantes para o entendimento do desempenho em diferentes técnicas de corrida. Com esse conhecimento, é possível, quando necessário, criar estratégias mais efetivas de retreinamento do padrão de movimento.

Desse modo, o objetivo deste estudo foi verificar o quanto a cadência, o tempo de contato, tempo de fase aérea, deslocamento do centro de massa e o pico de força de reação do solo em velocidade submáxima são capazes de predizer a velocidade pico em corredores recreacionais. Neste estudo, hipotetizamos que a cadência, o tempo de contato e o tempo de fase aérea serão as variáveis mais influentes para prever a velocidade pico em corredores recreacionais, visto que são variáveis que estão diretamente ligadas com a velocidade. Além disso, esperamos que as variáveis

de deslocamento do centro de massa, e pico vertical de força de reação do solo em velocidade submáxima apresentem uma moderada correlação com a velocidade pico, demonstrando sua capacidade de explicar a variação na performance dos corredores recreacionais.

MÉTODOS

3.2 População e amostra

26 corredores recreacionais deram seu consentimento para participarem deste estudo aprovado pelo comitê de ética e pesquisa da Universidade Estadual de Londrina sob o parecer nº 12.914.957 (CAAE: 97002818.8.0000.5231) (ANEXO A). Todos os participantes foram informados sobre objetivos do estudo e foram convidados a assinar um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (APÊNDICE A). Os participantes foram recrutados utilizando um método de amostragem não probabilística por meio de divulgações nas mídias sociais (Facebook, Instagram e WhatsApp) e foram considerados recreacionais por meio da ferramenta *Age Graded Calculator* (RUNNER'S WORLD, 2020).

Os critérios de inclusão do estudo foram, ser do sexo masculino, com idades entre 18-40 anos, possuir um volume de treino igual ou superior a 30 quilômetros por semana há pelo menos seis meses e não apresentar lesões nos últimos seis meses. Cada corredor compareceu ao laboratório em dois dias não consecutivos com um tempo limite entre as visitas de sete dias. Para determinar o tamanho da amostra foi utilizado a priori um simulador de tamanho amostral (*G*Power*®, versão 3.1.9.2) definindo-se $\alpha = 0,05$ e $\beta = 0,20$, a fim de obter um tamanho de efeito igual ou maior a 0,50 para testes de correlação bivariadas, chegando assim a um tamanho de amostra de 26 corredores. Características descritivas dos corredores são apresentadas na tabela 1.

TABELA 1 | Características antropométricas e variáveis de treinamento dos participantes.

Variáveis	Média e Desvio Padrão
Idade (anos)	31,5 (5,9)
Estatura (cm)	175,5 (7,5)
Massa corporal (kg)	71,1 (11,5)
Tempo de prática (anos)	4,8 (5,3)
Volume semanal (km)	36,4 (10,6)
Sessões semanais	4,3 (1,1)
Pace (km/min)	4:27"(0:24")
Velocidade 80% (m/s)	4,0 (0,4)
Velocidade pico (m/s)	5,2 (0,5)

3.3 Coleta de dados

Todos os procedimentos de coletas de dados foram realizados por avaliadores treinados e familiarizados com os procedimentos de medida, utilizando técnicas padronizadas para a coleta de todas as variáveis do estudo.

A obtenção dos dados foi dividida em quatro etapas e dois dias não consecutivos (Figura 1): (1) foi realizada a apresentação do estudo, no qual os participantes foram informados acerca dos objetivos e métodos a serem empregados e foi entregue o TCLE para ser assinado pelos mesmos; (2) foram mensuradas as variáveis antropométricas (massa corporal e estatura); (3) realização do teste de velocidade pico; (4) realização do teste de esteira com a velocidade relativa a 80% da velocidade pico. O protocolo de coleta de dados envolveu dois dias não consecutivos de avaliações com um limite de tempo entre as visitas de sete dias e todos os testes foram realizados no laboratório de biomecânica aplicada da Universidade Estadual de Londrina.

No primeiro dia de coleta os participantes leram e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido, receberam informações sobre o protocolo e o objetivo do estudo juntamente com instruções de como realizar os testes. Após isso, foram aferidas as medidas antropométricas de massa e estatura por uma balança antropométrica com um estadiômetro integrado do modelo Welmy W110H (com precis. o de 0,1 kg e de 0,1 cm, respectivamente), em seguida, foi realizado o protocolo incremental de velocidade máxima em esteira (modelo: Imbramed KT – 10200 ATL).

No segundo dia, após calculados os valores referentes à velocidade de 80% da velocidade pico, foram fixados marcadores reflexivos passivos utilizados no sistema de captura optoeletrônica. Os detalhamentos dos procedimentos de medida que foram utilizados neste estudo serão descritos a seguir.

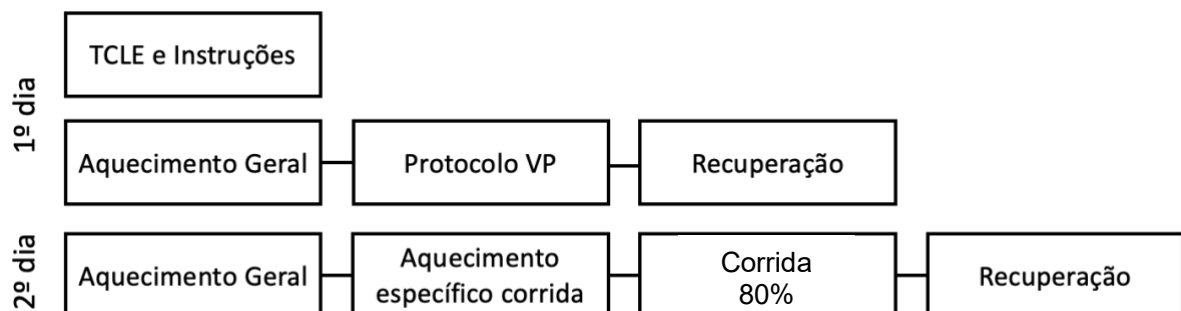


Figura 1 – Delineamento experimental. Fonte: O próprio autor.

3.4 INSTRUMENTOS

3.4.1 Análise cinemática

Para a coleta dos dados cinemáticos durante a corrida foi utilizado o sistema de captura optoeletrônico da marca *Optitrack® - Optical Motion Capture Solutions*. O sistema foi composto por sete câmeras modelo *Prime 13* com frequência de aquisição de 200 Hz (Figura 2). Para diminuir possíveis interferências das vestimentas na identificação dos marcadores reflexivos, todos os participantes foram instruídos a utilizarem uma bermuda elástica preta.

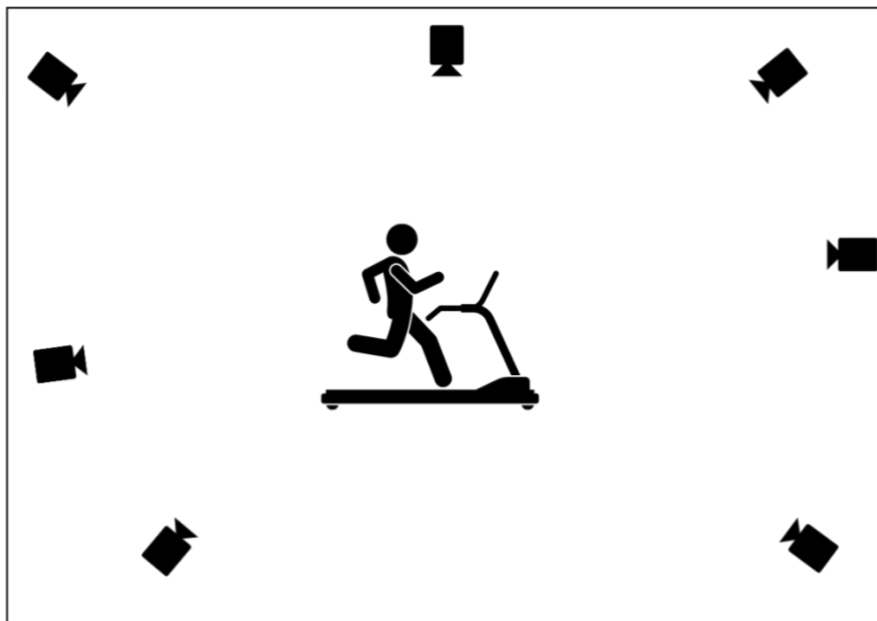


Figura 2 - Posicionamento das câmeras. Fonte: o próprio autor.

O modelo corporal utilizado foi composto por 22 marcadores (Figura 3). Para o cálculo do centro de massa, foram posicionados 18 marcadores reflexivos, sendo com exceção dos marcadores do vértex e supraesternal, todos os outros marcadores foram posicionados bilateralmente, sendo fixados no acrômio (clavícula), no epicôndilo lateral do úmero, no processo estiloide da ulna, no trocânter e epicôndilo lateral do fêmur, no maléolo lateral (fíbula), no calcâneo e na base do hálux (DE LEVA, 1996). A fixação dos marcadores ocorreu com a utilização da fita dupla face, macia e não alérgica, a fim de não causar qualquer dano ao participante. Para o cálculo do centro de massa da pelve, foram adicionados quatro marcadores posicionados nas espinhas ilíacas anterossuperiores (EIAS) e pósterosuperiores (EIPS) direita e esquerda. O centro de massa da pelve foi definido como o ponto central entre os

valores das espinhas ílfacas anterossuperiores direita e esquerda juntamente com as espinhas ílfacas pósterosuperiores direita e esquerda (C-MOTION, 2019).

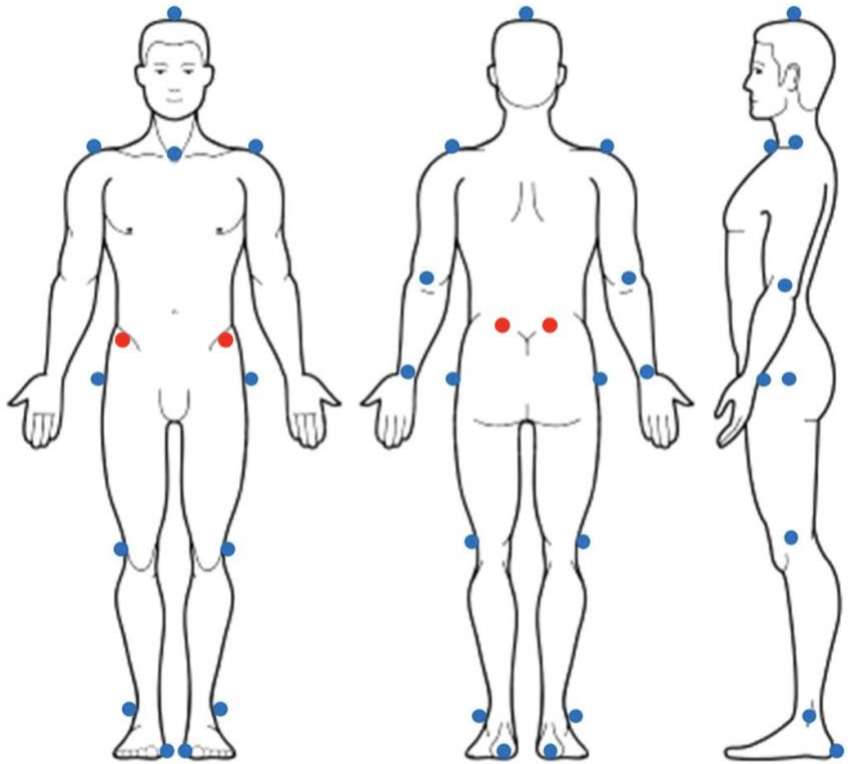


Figura 3 - Modelo e posicionamento dos marcadores reflexivos em azul do modelo de De Leva (1996) para o cálculo do centro de massa e em vermelho do centro de massa da pelve (C-MOTION, 2019).

3.4.2 Protocolo de corrida em esteira

No primeiro dia foram mensuradas as variáveis antropométricas e realizado o teste de velocidade pico que consistia em um aquecimento com duração de cinco minutos em uma velocidade de cinco quilômetros por hora, em seguida, passaram para um protocolo incremental de velocidade máxima (PESERICO, CECILIA SEGABINAZI; ZAGATTO; MACHADO, 2014). Para determinar a velocidade pico foi utilizada a equação 1 no qual $V_{completa}$ é a velocidade do último estágio completo, t é o tempo em segundos mantido no estágio incompleto e T o tempo em segundos necessário para completar o estágio que nesse caso foi de 60 segundos.

$$VP = V_{completa} + (Inc \cdot t/T) \text{ (KUIPERS et al., 2003).}$$

Equação 1 – Cálculo para Velocidade Pico (VP).

No segundo dia, após calculada a velocidade relativa a 80% da velocidade pico, foram posicionados os marcadores reflexivos. O protocolo de corrida em esteira consistiu em um aquecimento com uma caminhada leve em uma velocidade de cinco km/h e duração de cinco minutos, passando a uma corrida com velocidade referente a 50% da velocidade pico e com duração de três minutos. Após realizados os aquecimentos os participantes correram por mais um minuto para a velocidade relativa à velocidade pico. Ao fim do teste, todos os participantes realizaram três minutos de volta a calma com a velocidade de cinco km/h. Os participantes foram instruídos a correr com a cadência de passo igual aos treinos.

3.5 Processamento dos dados

Os dados cinemáticos obtidos durante a coleta foram processados por uma rotina personalizada em *Matlab* (R2016a, Mathworks, Natick, USA). As coordenadas tridimensionais foram filtradas por um filtro passa-baixa recursivo zero-lag *Butterworth* de 4ª ordem e frequência de corte de 8 Hz, a fim de diminuir os ruídos oriundos da aquisição de dados, parâmetros esses determinados por uma análise espectral e residual (WINTER, 2009). Foram considerados 10 passos para as análises, iniciados a partir dos 30 segundos finais de cada estágio.

Para os dados da corrida foram calculados o tempo de contato com o solo, o tempo de fase aérea, deslocamento vertical do centro de massa e o pico de força predita de reação do solo, sendo todas verificadas a cada passo. Por meio do modelo selecionado foram modelados os segmentos corporais permitindo o cálculo do centro de massa obtido por meio da média ponderada pela massa relativa de cada segmento (DE LEVA, 1996). O tempo de contato foi definido como a duração do instante em que o pé toca o solo até o instante em que o pé é retirado totalmente. O tempo de fase aérea foi considerado como o tempo em que o pé perde totalmente seu contato com o solo até o próximo toque. Foi definido como instante de contato com o solo a maior velocidade descendente do centro de massa da pelve (MILNER; PAQUETTE, 2015) e o instante de saída do pé do solo como sendo a maior distância do centro de massa da pelve e os marcadores do hálux (adaptado para a epífise distal do segundo metatarso) (MILNER; PAQUETTE, 2015), porém dessa forma o tempo de contato fica subestimado. Para corrigir esse valor, foi adotada uma correção, adicionado 15 ms em cada contato (KING; MCCARTNEY; TRIHY, 2019). Para determinar o deslocamento do centro de massa, foi considerada a diferença entre o maior valor da

coordenada vertical do centro de massa no instante do contato do pé com o solo e a coordenada mínima do centro de massa para cada passo.

O modelo utilizado para determinar o pico de força de reação do solo foi determinado a partir da Equação 2 (MORIN, J. B. et al., 2005).

$$F_{\max} = m \cdot g \cdot \pi/2 (T_f / T_c + 1)$$

Equação 2 – Cálculo do pico da força vertical de reação do solo (F_{\max}). M representa a massa do participante (kg), g a aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m.s}^{-2}$), T_f o tempo de fase aérea e T_c o tempo de contato do pé com o solo (s).

3.6 Análises estatísticas

O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar a normalidade e mostrou que os dados seguem um padrão normal, por isso os resultados foram apresentados em média e desvio padrão. Para melhorar a compreensão sobre como variáveis biomecânicas influenciam a velocidade pico, foi realizada a regressão no modelo *Stepwise* para estabelecer o coeficiente de correlação de Person (R), coeficiente de determinação (R^2) e o erro padrão da estimativa para avaliar a qualidade do modelo de regressão entre a velocidade pico (variável dependente) e a cadência, o pico de força máxima de reação do solo predita, tempo de contato, tempo de fase aérea e deslocamento do centro de massa (variáveis independentes). Para obter um melhor entendimento sobre as relações individuais entre as variáveis com a velocidade pico, foi realizado a correlação bivariada de *Pearson*. Os coeficientes de correlação de Person foram interpretados seguindo os seguintes descritores qualitativos: Trivial (<0.1), pequeno (<0.3), moderado (0.3-0.5), grande (0.5-0.7), muito grande (0.7-0.9) e quase perfeito (>0.9) e perfeito (1.0) (HOPKINS *et al.*, 2009). As porcentagens de mudanças entre os corredores mais rápidos e mais lento foram calculadas com a fórmula: (Maior valor – Menor valor) / Menor valor X 100 = Porcentagem de mudança. As análises estatísticas foram conduzidas em ambiente Python. Um alfa de 0.05 foi utilizado em todos os testes estatísticos.

RESULTADOS

A tabela 2 apresenta as características espaço temporais das variáveis obtidas em laboratório.

TABELA 2 | Características espaço-temporais a 80% da velocidade pico das variáveis analisadas.

	Média	Desvio Padrão	Intervalo
Cadência	176,35	10,86	154 – 200
DCom (cm)	4,6	0,6	3,4 – 5,8
Fmax (N)	1759	240	1304,7 – 2276,7
Tc (s)	0,234	0,02	0,18 – 0,277
Tf (s)	0,114	0,01	0,08 – 0,151

DCom= Deslocamento do centro de massa; Fmax= Força de reação do solo; Tc= Tempo de contato; Tf = Tempo de fase aérea.

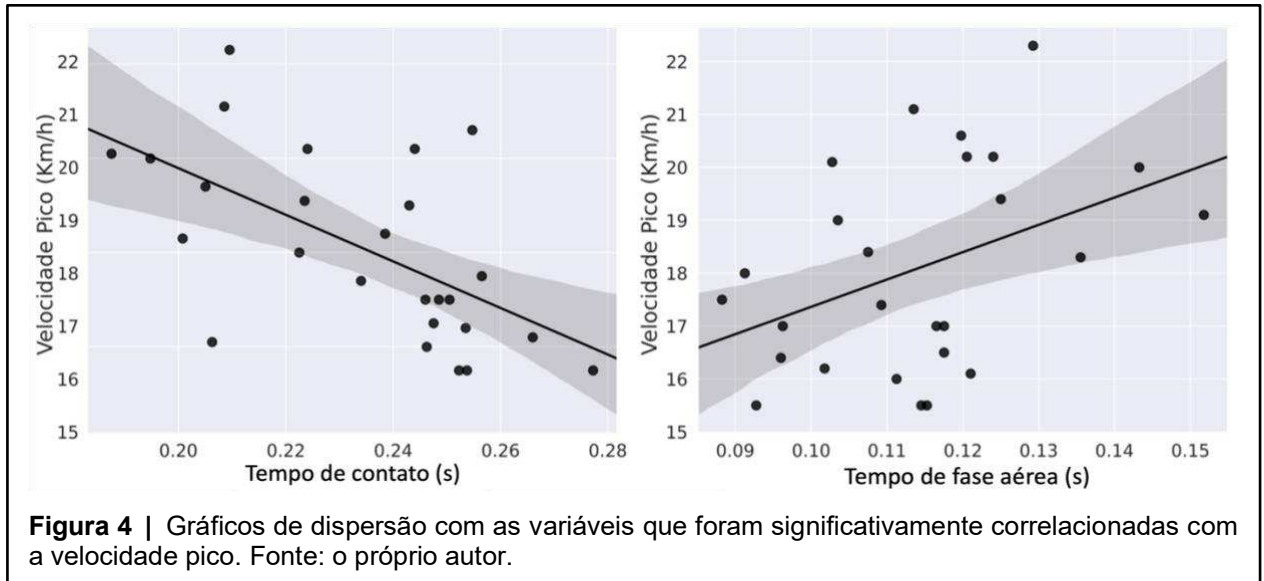
Os resultados da correlação de *Pearson* são apresentados na tabela 3. A cadência, a força de reação do solo e deslocamento não se correlacionam com a velocidade pico. Já o tempo de contato e o tempo de fase aérea se mostraram correlacionadas com a velocidade pico juntamente com um coeficiente de correlação de -0,60 e 0,41, respectivamente.

TABELA 3 | Correlação de *Pearson* entre as variáveis da corrida e velocidade pico.

		Cadência	Dcom	Fmax	Tc	Tf
Velocidade	R	0,24	-0,24	0,03	-0,60	0,41
Pico	p	0,23	0,11	0,43	<0,001	0,01

Dcom = Deslocamento do centro de massa; Fmax = Força máxima de reação do solo; Tc = Tempo de contato; Tf = Tempo de fase aérea.

A figura 4 apresenta o gráfico de dispersão com intervalo de confiança entre as variáveis que apresentaram significância. É bem estabelecido que o tempo de contato diminui linearmente com o aumento da velocidade, no presente estudo foi verificado que o tempo de contato diminuiu em 24% e o tempo de fase aérea aumentou em 9% do corredor mais lento para o mais rápido.



Ignorando o efeito do padrão de pisada, a regressão mostrou um efeito significativo do tempo de contato na velocidade pico ($R^2= 0,36$ $p=0,001$), mostrando que menores tempos de contatos foram associados com maiores velocidades. A tabela 4 apresenta os resultados do modelo gerado pela regressão múltipla.

	Coefficiente	Erro padrão da estimativa	p	R^2	IC 95%
Constante	29.6741		0.001		[23 – 36]
Tempo de contato	-49.4259	1,59	0.001	0.36	[-77 – 21]

No modelo a única variável significativa incluída no modelo foi o tempo de contato, explicando 36% da variância total com um erro padrão de estimativa de 1,59 km/h.

DISCUSSÃO

O objetivo do presente estudo foi quantificar o tempo de contato, tempo de fase aérea, deslocamento do centro de massa, cadência e o pico vertical de força de reação do solo em velocidades submáximas predizem a velocidade pico em corredores recreacionais. Nossa hipótese era a cadência, tempo de contato e tempo de fase aérea fossem as variáveis que mais influenciassem no modelo, seguido pelas variáveis de deslocamento do centro de massa e pico vertical de força de reação do solo com influências menores na velocidade. A hipótese do presente estudo foi

parcialmente confirmada, pois somente o tempo de contato em velocidades submáximas parece ser crítico para explicar parcialmente a velocidade pico.

Nossos achados corroboram com estudos anteriores que focaram em estimar a velocidade durante a corrida (BRUGHELLI; CRONIN; CHAOUACHI, 2011; RUMPF *et al.*, 2015; WEYAND *et al.*, 2010), nós apresentamos evidências de que apenas o tempo de contato parece ser crítico para explicar 36% da velocidade pico. Mostrando que o tempo de contato reduz com o aumento da velocidade (DE RUITER *et al.*, 2016; MORIN *et al.*, 2007; ORENDURFF *et al.*, 2018). Em corredores mais rápidos, o tempo de contato reduzido pode ser explicado pela capacidade de gerar maiores impulsos propulsivos por meio de forças propulsivas aplicadas no solo em menores espaços de tempo (RUMPF *et al.*, 2015; WEYAND *et al.*, 2000). E que ajustando o tempo de contato do corredor pode contribuir para minimizar o custo metabólico durante a corrida e que menores fases de frenagem são importantes para corredores recreacionais quando se quer prever a velocidade pico (DI MICHELE; MERNI, 2014).

Relacionado a força gerada pelo participante, nossa equação de regressão mostrou que o pico de força vertical de reação do solo predita não foi importante para o modelo. Isso pode ser explicado pois como apontado em alguns estudos, para que haja a propulsão durante a corrida, as forças horizontais de reação do solo são mais importantes para que o corredor se desloque para a frente e tem sido correlacionada com a velocidade da corrida (BRUGHELLI; CRONIN; CHAOUACHI, 2011; NUMMELA; KERÄNEN; MIKKELSSON, 2007; RUMPF *et al.*, 2015). Juntamente com os presentes achados, sugerem que o pico de força vertical de reação do solo predito não tem uma grande importância em velocidades submáximas. Elucidando assim, outra limitação do presente estudo em não mensurar as forças horizontais de reação do solo. Em futuros estudos, sugerimos que sejam adicionadas as forças de reação do solo horizontais juntamente com as verticais para que seja possível um melhor entendimento a respeito dessas variáveis.

Para obter um melhor entendimento sobre as relações individuais entre as variáveis, foi realizado a correlação bivariada de *Pearson*. Foi encontrado que o tempo de fase aérea apesar de não ter entrado para o modelo de regressão mostrou uma moderada correlação com a velocidade pico. Podendo ser explicada pelo fato de que o tempo de contato e o tempo de fase aérea durante o total do ciclo estão relacionados um com o outro, de forma que quando um aumenta o outro diminui como podemos

observar em nossos resultados e em outros estudos (NUMMELA; KERÄNEN; MIKKELSSON, 2007; PARADISIS, GIORGIOS P. *et al.*, 2019). Porém como podemos notar, quando comparado o corredor mais lento e o mais rápido, a mudança no tempo de contato é muito maior em relação a mudança no tempo de fase aérea, -24% e +9% respectivamente. Como pode ser notado, a magnitude de mudança do tempo de contato do corredor mais rápido para o mais lento é muito maior para o tempo de contato do que para o tempo de fase aérea, por essa razão, o modelo não foi sensível ao tempo de fase aérea.

Ainda, elucidando a importância do tempo de contato, como em nosso estudo, porém em uma amostra de corredores de alta velocidade o tempo de contato foi a única variável associada com a velocidade (PARADISIS, GIORGIOS P. *et al.*, 2019), sendo também considerado como uma variável capaz de distinguir o nível de desempenho tanto em corredores de sprint como de *endurance* (DE RUITER *et al.*, 2016; PARADISIS, GIORGIOS P. *et al.*, 2019). Em outros estudos, utilizando sensores inerciais, também foi apontado que velocidade pode ser predita a partir do tempo de contato com uma aceitável acurácia em corridas de quatro quilômetros ao ar livre (DE RUITER *et al.*, 2016). Porém, como em todos os outros estudos em que focaram em tentar prever a velocidade pico, ao contrário do presente estudo, não tentaram realizar a predição da velocidade pico com variáveis em velocidades submáximas. E, como sugerem os resultados do presente estudo, juntamente em concordância com os resultados de Brughelli e colaboradores (2011) em que a cadência não foi correlacionada com a velocidade pico, mostrando que o tempo de contato possui uma maior influência tanto na velocidade quanto na mecânica da corrida quando comparada a ela (MORIN, J. *et al.*, 2007). Assim como, ajustar a variável de tempo de contato do corredor pode contribuir para minimizar o custo metabólico da corrida (DI MICHELE; MERNI, 2014).

Uma limitação do presente estudo que pode influenciar variáveis como o tempo de contato, é o tipo de pisada do corredor. Corredores que aterrissam em retro pé possuem um tempo de contato mais elevado que corredores em que aterrissam em antepé (CAVANAGH; LAFORTUNE, 1980). Em futuros estudos, sugerimos que os corredores sejam separados em grupos com padrões de pisadas distintos. Outra limitação do presente estudo é que foi levado em consideração apenas corredores recreacionais, pode ser que em corredores de maior nível e/ou profissionais o comportamento das variáveis selecionadas seja diferente.

CONCLUSÃO

Destacamos a importância do tempo de contato como uma variável crítica na predição da velocidade pico em corredores recreacionais em velocidades submáximas. No entanto, é fundamental exercer cautela ao utilizar exclusivamente o tempo de contato como referência para a prescrição de treinos. A análise revelou que o tempo de contato explica apenas 36% da velocidade pico, indicando a necessidade de considerar outras variáveis biomecânicas, como o tempo de fase aérea, que apresenta uma relação mecânica intrínseca com o tempo de contato.

CAPÍTULO 3

4 ARTIGO ORIGINAL

4.1 A suavidade do movimento da passada está relacionada com variáveis biomecânicas?

INTRODUÇÃO

A suavidade do movimento é uma forma de quantificar a consistência do movimento (HOGAN; STERNAD, 2007). Apesar de serem pouco estudadas e empregadas durante o treinamento (KIELY; PICKERING; COLLINS, 2019), análises de suavidade do movimento vêm sendo conduzidas em movimentos distintos como em habilidade cirúrgica (GHASEMLOONIA *et al.*, 2017), golfe (CHOI *et al.*, 2014), levantamento de peso (SAKATA *et al.*, 2010) e corrida (HRELJAC, 2000). Um atleta com um movimento de corrida suave reflete em uma corrida com movimentos com menos intermitências (KIELY; PICKERING; COLLINS, 2019), ou seja, quanto mais habilidoso é o atleta, mais suave é o movimento que ele realiza (CHOI *et al.*, 2014). O atual e mais importante uso da análise de suavidade na análise de movimento é para inferir a habilidade de controle motor de um indivíduo (BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2015).

Um movimento é considerado suave quando ele é contínuo, sem desacelerar ou acelerar alternadamente de forma abrupta (BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2015) e ao analisar a suavidade de movimentos fornecemos um marcador quantitativo de movimentos rítmicos ou discretos (HOGAN; STERNAD, 2007). Movimentos suaves são tidos como característica de um comportamento motor saudável (SEJNOWSKI, 1998), enquanto movimentos menos suaves podem ser consequência de falta de familiaridade com o movimento ou patologias (KIELY; PICKERING; COLLINS, 2019). A suavidade do movimento é uma medida de grau e não uma distinção categórica, ou seja, ao identificar os movimentos mais suaves, ritmados e discretos, fornecemos uma marca quantitativa para cada uma dessas classes de movimento (HOGAN; STERNAD, 2007). Quanto mais suave o movimento, menor a medida escalar (BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2015).

Durante atividades como marcha e corrida, a trajetória do pé durante o ciclo da marcha é contínua, entretanto, nos momentos em que os pés tocam o solo, acontecem paradas abruptas, resultando em uma diminuição da suavidade (HOGAN; STERNAD, 2007). Corredores tendem a ter um padrão de movimento mais suave do

que não corredores, mostrando assim que a suavidade do movimento é transferida para movimentos semelhantes em tarefas relacionadas à marcha (HRELJAC, 2000). Dito isso, podemos estabelecer que um movimento suave é uma integração da cinemática, cinética e coordenação (BRACH *et al.*, 2011).

Juntamente com a suavidade do movimento, variáveis como o tempo de contato com o solo, que é o momento em que os corredores geram as forças de reação do solo, são importantes para o desempenho. Atletas com maior desempenho geram uma maior força de reação do solo quando comparados a corredores recreacionais (ZHANG, J. H. *et al.*, 2021). Isso ocorre devido ao atleta precisar aplicar maiores forças com menores tempos de contato com o solo para que seja possível, assim, aumentar o tempo de fase aérea (PREECE; BRAMAH; MASON, 2019; WEYAND *et al.*, 2010). É sugerido que aterrissagens mais suaves são responsáveis por um impacto reduzido (BERGMANN *et al.*, 1995).

Além disso, outros parâmetros como o deslocamento do centro de massa estão associados com padrões de corrida (GINDRE *et al.*, 2015). Há uma tendência de corredores mais experientes e mais rápidos realizarem um menor deslocamento vertical quando comparado aos seus pares menos experientes e mais lentos (BRUGHELLI; CRONIN; CHAOUACHI, 2011; FOLLAND *et al.*, 2017). Isso ocorre devido ao fato de que o deslocamento vertical do centro de massa está relacionado com troca de energia mecânica e essa troca ocorre durante o contato do pé com o solo que também é diminuído em altas velocidades.

Apesar de sua relevância, interações entre variáveis biomecânicas e suavidade da corrida ainda são pouco exploradas. Torna-se importante, portanto, avaliar a relação entre essas variáveis com a habilidade em correr mais rápido para aumentar a compreensão referente a métricas para quantificar a suavidade da passada do corredor, principalmente em velocidades próximas às velocidades que eles mantêm em provas de corrida, que em corredores recreacionais fica cerca de 80% da velocidade pico, (PESERICO, CECÍLIA SEGABINAZI; FERNANDES DA SILVA; MACHADO, 2019) e a partir disso, criar e/ou aprimorar métodos de treinamento.

Dessa maneira, o objetivo principal do presente estudo foi quantificar a suavidade da corrida durante velocidades submáximas em corredores recreacionais e, como objetivo secundário, verificar se existe uma relação entre a suavidade da corrida e variáveis mecânicas. Foi levantada a hipótese que corredores mais rápidos

realizariam movimentos mais suaves e que a variável de deslocamento do centro de massa possuiria forte relação com a suavidade do movimento, especulamos que um movimento mais suave geraria um menor deslocamento e maior rigidez do centro de massa por conta de aumentar a atenuação do impacto resultando em movimentos menos intermitentes. Já para o tempo de contato e tempo de fase aérea, nossas hipóteses são que possuiriam uma forte associação com a suavidade do movimento, pois tais variáveis representam momentos em que o corredor está alterando a trajetória da passada e com isso gerando uma intermitência no movimento. Assim, esperava-se que menores tempos de contato estariam associados com uma menor suavidade por envolverem mais passos, gerando assim um maior número de intermitências, enquanto maiores tempos aéreos estariam associados com uma maior suavidade.

MÉTODOS

4.2 População e amostra

24 corredores recreacionais deram seu consentimento para participarem deste estudo, aprovado pelo comitê de ética e pesquisa da Universidade Estadual de Londrina sob o parecer nº 12.914.957 (CAAE: 97002818.8.0000.5231). Os participantes foram considerados recreacionais por meio da ferramenta *Age Graded Calculator* (RUNNER'S WORLD, 2020). Os critérios de inclusão do estudo foram: ser do sexo masculino, com idades entre 18-40 anos, possuir um volume de treino igual ou superior a 30 quilômetros por semana e não apresentar lesões nos últimos seis meses. Cada corredor compareceu ao laboratório em dois dias não consecutivos. Características descritivas dos corredores são apresentadas na tabela 4.

TABELA 4| Características antropométricas e variáveis de treinamento dos participantes.

Variáveis	Média e Desvio Padrão
Idade (anos)	32,1 (5,9)
Estatura (cm)	175,4 (7,7)
Massa corporal (kg)	76,4 (12,1)
Tempo de prática (anos)	4,70 (5,2)
Volume semanal (km)	37,2 (10,5)
Sessões semanais	4,3 (1,1)
Pace (km/min)	4:27"(0:24")
Velocidade 80% (m/s)	4,0 (0,4)

Os itens de coletas de dados, e instrumentos são apresentados previamente no **Artigo 1**.

4.5 Processamento dos dados

A equação utilizada para determinar o tempo de contato, tempo de fase aérea, deslocamento do centro de massa, pico de força de reação do solo foram apresentados no **Artigo 1**.

A suavidade da corrida foi calculada baseada na série temporal dos dez ciclos contínuos considerados a partir do trigésimo segundo e levando em consideração o comprimento do arco espectral e referente a aceleração do marcador do calcâneo nos eixos anteroposteriores, médio lateral, vertical e resultante do sistema de coordenadas.

$$SPARC = - \int_0^{\omega_c} \left[\left(\frac{1}{\omega_c} \right)^2 + \left(\frac{d\hat{V}(\omega)}{d\omega} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} d\omega; \quad \hat{V}(\omega) = \frac{V(\omega)}{V(0)}$$

$$\omega_c \triangleq \min\{\omega_c^{max}, \min\{\omega, \hat{V}(r) < \bar{V} \forall r > \omega\}\}$$

Equação 4 – Cálculo do comprimento do arco espectral (suavidade).

Onde ω_c é a frequência de corte que foi fixada em 40π correspondendo a 20Hz, que cobre aspectos normais e anormais do movimento humano. ω_c é selecionado baseado em um ponto de corte \bar{V} e tem como limite superior ω_c^{max} . $V(\omega)$ é a magnitude do espectro de Fourier de $v(t)$, $\hat{V}(\omega)$ é a magnitude normalizada do espectro. Para que seja possível averiguar diferenças da suavidade entre o corredor mais suave em relação ao menos suave, foi calculado a amplitude do deslocamento do marcador do calcâneo, sendo definido como a diferença entre o maior e menor deslocamento de cada ciclo.

4.6 Análises estatísticas

O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado para verificar a normalidade, visto que os dados foram normais e os resultados são apresentados em média e desvio padrão. Dada a normalidade dos dados, a correlação de Person foi empregada para testar as correlações da suavidade da corrida nos três eixos e a cadência, força máxima de reação do solo predita, tempo de contato, tempo de fase aérea, deslocamento do centro de massa, e velocidade. Os coeficientes de correlação de Person foram

interpretados conforme os seguintes descritores qualitativos: trivial (<0.1), pequeno (<0.3), moderado (0.3-0.5), grande (0.5-0.7), muito grande (0.7-0.9) e quase perfeito (>0.9) e perfeito (1.0) (HOPKINS *et al.*, 2009).

RESULTADOS

A tabela 5 apresenta as variáveis espaço-temporais das variáveis analisadas.

TABELA 5 | Características espaço-temporais das variáveis analisadas na velocidade relativa a 80% da velocidade pico.

	Média	Desvio Padrão	Intervalo
Velocidade 80% (km/h)	14,47	1,56	12,4 – 17,8
Cadência (passos/min)	176,35	10,52	154 – 200
DCoM (cm)	4,6	0,6	3,4 – 5,8
Fmax (N)	1738	225,3	1304,7 – 2127,8
Tc (s)	0,233	0,02	0,18 – 0,277
Tf (s)	0,114	0,01	0,08 – 0,151
Sap (u.m)	-12,94	1,83	-16,03 – -9,24
Sml (u.m)	-7,79	0,66	-9,23 – -6,45
Sv(u.m)	-7,25	0,47	-8,18 – -6,25
Sr (u.m)	-4,33	0,18	-4,64 – -4,05

DCoM= Deslocamento do centro de massa; Fmax= Força de reação do solo; Tc= Tempo de contato; Tf = Tempo de fase aérea; Sap= Suavidade anteroposterior; Sml = Suavidade médio lateral; Sv= Suavidade vertical; Sr= Suavidade resultante.

A figura 4 apresenta as correlações bivariadas de Pearson entre as variáveis biomecânicas e a suavidade nos eixos anteroposteriores, médio-lateral, vertical e resultante. Cores mais claras representam correlações positivas mais fortes enquanto cores mais escuras indicam correlações negativas mais fortes. As correlações variam de 1 (correlação positiva perfeita) a -1 (correlação negativa perfeita).

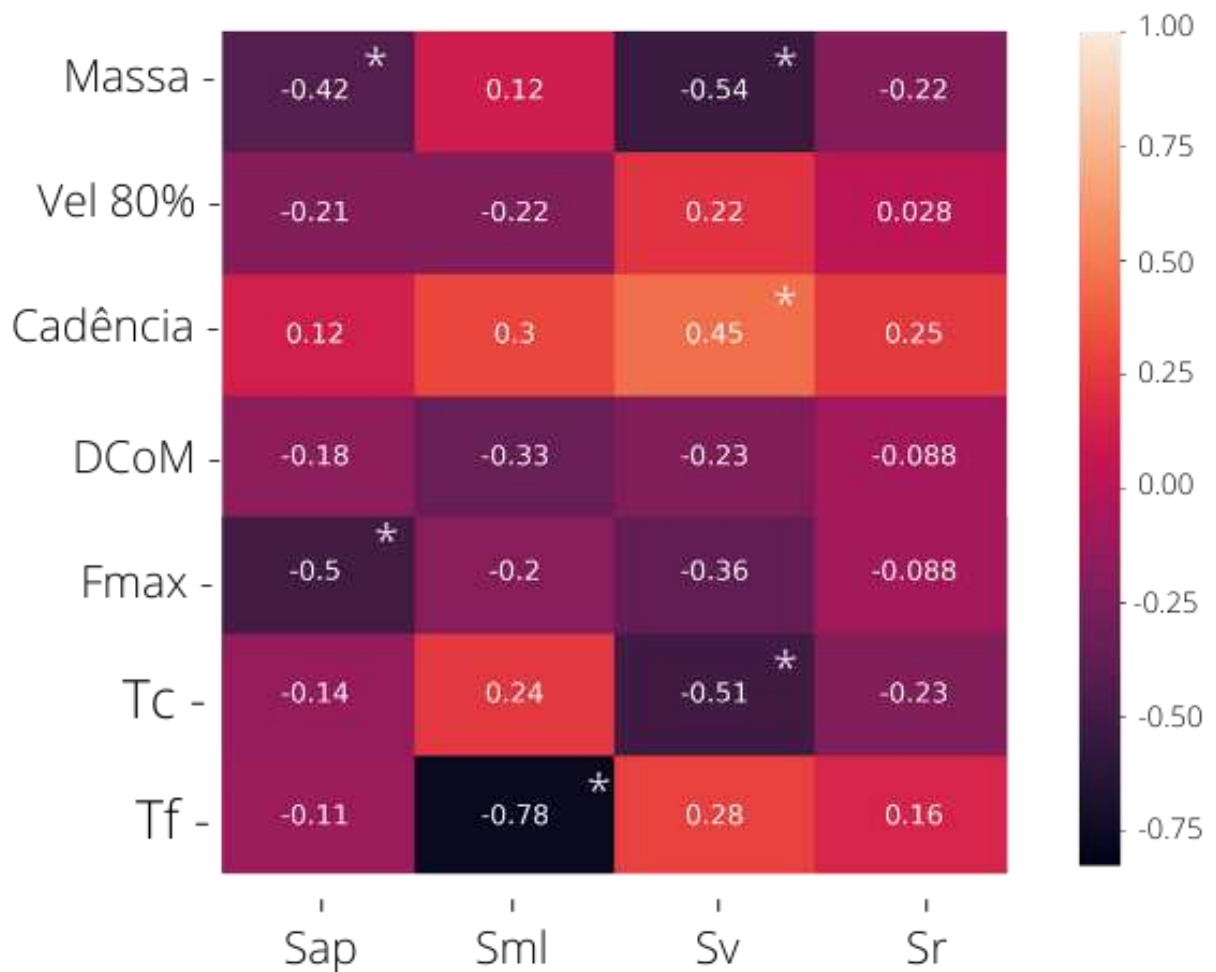


Figura 4 – Correlação entre variáveis biomecânicas e a suavidade. DCoM = Deslocamento do centro de massa; Fmax = Pico de força vertical de reação do selo predito; Tc = Tempo de contato; Tf = Tempo de fase aérea; Sap= Suavidade anteroposterior, Sml = Suavidade médio lateral; Sv = Suavidade vertical e Sr = Suavidade resultante. * indicam correlações significativas Fonte: O próprio autor.

Com a variável anteroposterior da suavidade do movimento (Sap) foram encontradas relações entre a massa do participante (-0,42; $p=0,04$) e o pico vertical de força de reação do solo predito (-0,50; $p=0,04$). Já para a variável médio lateral (Sml) foi encontrado uma correlação significativa apenas para a variável tempo de fase aérea (-0,70; $p<0,01$). Para a variável vertical da suavidade de movimento foi encontrado relação significativa com a massa (-0,54; $p= <0,01$), cadência (0,45; $p=0,02$) e tempo de contato (-0,51; $p=0,01$). Por fim, para a variável de suavidade de movimento resultante não foram encontradas relações significativas.

A figura 5 apresenta o deslocamento do calcâneo dos corredores que apresentaram a menor e a maior suavidade do movimento, em vermelho e em azul, respectivamente.

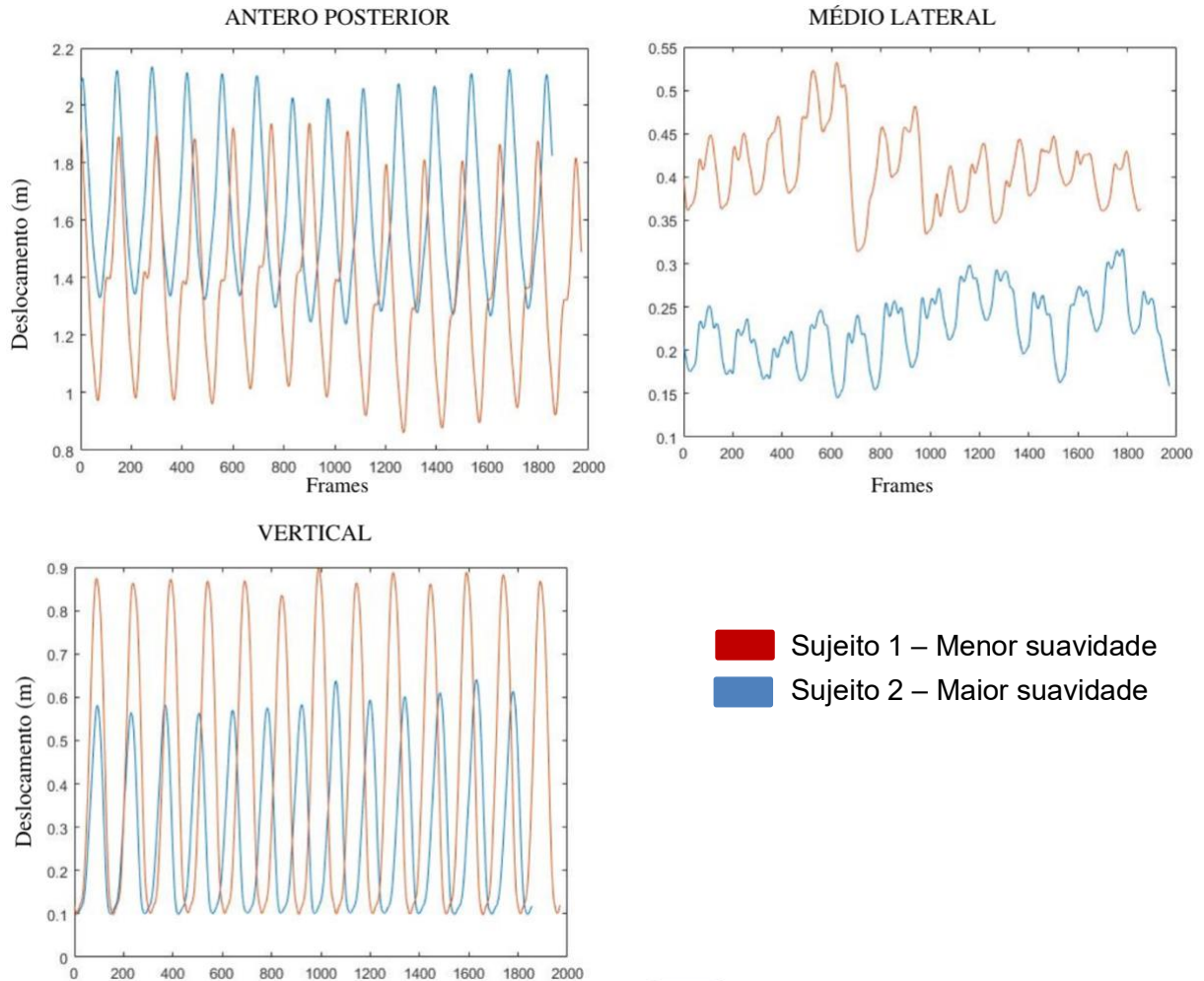


Figura 5 – Comparação entre o deslocamento do calcâneo entre o corredor com maior suavidade com o corredor com menor suavidade.

Ainda, no sentido de comparação entre os sujeitos com maior e menor suavidade, apresentamos na Figura 6, o boxplot da amplitude do deslocamento do calcâneo. No sentido antero posterior, a média de amplitude da passada no sujeito com menor suavidade (sujeito 1) foi de $0,50 \pm 0,13$ metros, enquanto no sujeito com maior suavidade foi de $0,79 \pm 0,02$ metros. No sentido médio lateral o sujeito com menor suavidade apresentou uma amplitude média de $0,07 \pm 0,01$ metros e o sujeito com maior suavidade uma média de $0,06 \pm 0,01$ metros. E para o sentido vertical, o sujeito com menor suavidade apresentou uma média de $0,77 \pm 0,01$ metros e o sujeito com maior suavidade $0,48 \pm 0,02$ metros de deslocamento.

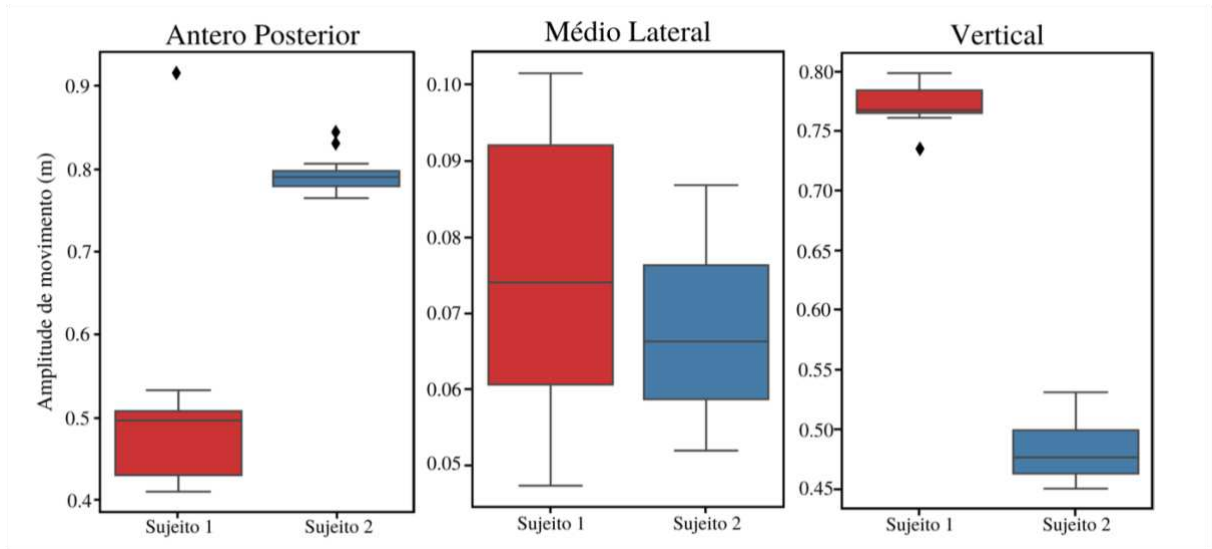


Figura 6 – Boxplot comparativo dos valores de amplitude do deslocamento do calcâneo dos sujeitos com maior suavidade (azul) e menor suavidade (vermelho) do movimento.

DISCUSSÃO

O objetivo deste estudo foi testar a correlação de variáveis biomecânicas com a suavidade do movimento do calcâneo em corredores recreacionais em uma velocidade relativa a 80% da velocidade pico. O presente estudo apresenta como diferencial a análise da suavidade do movimento em velocidade submáxima para corredores recreacionais e a tentativa de verificar características que estão relacionadas com a suavidade do movimento. Como principal resultado, temos que o tempo de fase aérea do participante é a variável com maior valor absoluto de correlação negativa, sendo classificada como uma correlação muito grande ($R = -0,78$) com a suavidade do movimento no sentido médio lateral, enquanto a massa e tempo de contato possuem correlação grande com a suavidade anteroposterior e vertical, respectivamente. Já a cadência e o pico vertical de força de reação do solo possuem uma relação moderada com a suavidade anteroposterior e vertical, respectivamente.

Segundo nossos resultados, corredores mais pesados teriam uma tendência a correr com movimentos menos suaves quando comparados a corredores mais leves. Isso pode estar relacionado com o fato de que corredores com menor massa teriam uma necessidade reduzida em gerar forças de reação do solo verticais (ZHANG, S.; LI; LI, 2021) enquanto isso, especulamos que os mais pesados, precisam gerar maiores forças contra o solo para que possam correr fazendo com que haja um prejuízo na forma com que eles dissipem a energia, principalmente no processo de aterrissagem do pé. Corroborando com isso, o pico de força de reação do solo possui

uma relação moderada, significativa e de forma inversa com a suavidade do movimento, mostrando que é sugerido que aterrissagens mais suaves são responsáveis por um impacto reduzido indo de acordo com o proposto por Bergmann (1995) e colaboradores.

Uma das formas de se reduzir o pico vertical de força de reação do solo é correndo tentando reduzir os ruídos gerados durante o contato com o solo (PHAN *et al.*, 2017), pois quando isso ocorre, o corredor altera o padrão de movimento dos membros inferiores. Treinadores em geral podem se beneficiar de estratégias como essa para aumentarem a suavidade do movimento em corredores mais pesados. Outro exemplo da influência do padrão de movimento é que corredores com uma maior flexão de joelho, como o caso de corredores classificados com o padrão de corrida terrestre, possuem uma menor força de reação do solo (GINDRE *et al.*, 2015).

Dito isso, uma das limitações do presente estudo foi em não verificar a relação dos ângulos das articulações dos membros inferiores com a suavidade do movimento, visto que sinais de força de reação do solo mais complexos podem estar relacionados com uma perda de coordenação intersegmentar (CORTES; ONATE; MORRISON, 2014). Acreditamos que a coordenação das articulações do quadril, joelho e tornozelo estejam relacionadas com a suavidade do movimento. Contudo, essa especulação precisa ser confirmada em futuros estudos com uma análise mais aprofundada na coordenação de ângulos articulares dos membros inferiores.

Outra variável que possui uma correlação moderada com a suavidade vertical é a cadência; corredores com uma maior cadência também possuem uma corrida mais suave. Uma cadência aumentada está relacionada com uma redução no impulso de frenagem e com um menor pico de impacto (ADAMS *et al.*, 2018). Dessa forma, quanto maior a cadência, menor será o pico vertical de impacto e dessa forma indo de acordo com nossos achados. Juntamente com o aumento da cadência, temos um menor tempo de fase aérea e tempo de contato que também estão relacionados com uma maior suavidade.

Menores tempos de contato com o solo são benéficos tanto para a velocidade máxima de corrida e para a economia de corrida (NUMMELA; KERÄNEN; MIKKELSSON, 2007). Durante a transição da fase aérea para o contato é gerado uma parada abrupta do movimento, causando assim uma diminuição na suavidade do movimento (HOGAN; STERNAD, 2007), uma vez que a suavidade do movimento é também mensurada como um número cumulativo de acelerações e desacelerações

abruptas (GHASEMLOONIA *et al.*, 2017). Visto que a cadência, o tempo de fase aérea e o tempo de contato estão mecanicamente interligados (PARADISIS, GIORGOS P.; COOKE, 2001), é esperado que a suavidade apresente relação com as três variáveis. Dito isso, ainda são necessárias mais evidências sobre maneiras de aprimorar a suavidade do movimento. Como outras variáveis biomecânicas, é provável que aumentar a suavidade do movimento requer um ajuste de volumes, intensidades, tipos de exercícios e recuperação (KIELY; PICKERING; COLLINS, 2019).

Vários estudos investigaram a suavidade em diferentes movimentos (CHOI *et al.*, 2014; ERTEL *et al.*, 2021; GHASEMLOONIA *et al.*, 2017) e os valores obtidos por esses são dependentes da tarefa que está sendo executada. Tarefas como alcançar ponto a ponto possuem pontuações para a suavidade em torno de -1.6 pontos de suavidade (BALASUBRAMANIAN *et al.*, 2015). Além desta tarefa, outro estudo que analisou a suavidade do movimento da mão direita em idosos comparados aos de jovens, foram encontrados valores de -12.55 pontos de suavidade para os jovens e de -17.97 pontos para os idosos (GULDE; HERMSDÖRFER, 2018). Esses baixos valores de suavidade devem-se ao fato de que quanto maiores forem as magnitudes de frequência dos diferentes movimentos, maior será o aumento do comprimento do arco do perfil de frequência (SINGH *et al.*, 2021). Em nossos resultados, para a corrida, os valores ficaram entre -16 e -4 pontos dependendo do plano analisado.

Até onde nós sabemos, o presente estudo é o primeiro a relacionar variáveis mecânicas com a suavidade do movimento em corredores recreacionais. A medida de suavidade da corrida pode ser usada como uma métrica global em que o corredor pode se basear para realizar ajustes na mecânica da corrida sem precisar quantificar cada variável em específico, visto que melhorando a métrica de suavidade, irá gerar alterações nas outras variáveis, junto a isso, é necessário ficar atento para intervenções como retreinamento da marcha em corredores, pois alterando variáveis como a cadência, é provável que gere mudanças na suavidade da corrida desse corredor até que o mesmo acostume com o novo padrão de movimento. Porém, com o acompanhamento da suavidade, especulamos que essa ambientação pode se tornar mais rápida.

Uma das limitações do presente estudo foi em avaliar os participantes durante a corrida em esteira. É possível que o terreno influencie no comportamento das variáveis biomecânicas e na suavidade do movimento. Por isso, é interessante que, no futuro, corredores sejam avaliados durante a corrida na rua, visto que é o ambiente

em que mais realizam seus treinos. Outro ponto é a baixa quantidade de tempo em que o participante foi submetido às análises. Em vista disso, sugerimos que em futuros estudos que seja levado em consideração o tempo de prova do participante, pois a fadiga causada em decorrência do longo tempo de corrida é responsável por reduzir a suavidade (CORTES; ONATE; MORRISON, 2014; ERTEL *et al.*, 2021) e pode influenciar também o comportamento das variáveis estudadas. Futuras pesquisas nessa área podem explorar estratégias de treinamento específicas para melhorar a suavidade do movimento e, conseqüentemente, otimizar o desempenho e prevenir lesões nessa população.

CONCLUSÃO

Este estudo forneceu insights importantes sobre a relação entre as variáveis biomecânicas e a suavidade do movimento em corredores recreacionais. Nossos resultados destacam as primeiras perspectivas sobre os fatores que influenciam a suavidade do movimento em diferentes direções: anteroposterior, vertical e médio lateral. Observamos que a massa corporal está associada à suavidade da corrida no sentido anteroposterior e vertical, enquanto a cadência está relacionada à suavidade no sentido vertical. Além disso, identificamos que o pico de força vertical de reação do solo está associado à suavidade no eixo anteroposterior, o tempo de contato com a suavidade no eixo vertical e o tempo de fase aérea com a suavidade no eixo médio lateral. Essas descobertas contribuem para uma melhor compreensão da natureza da suavidade do movimento e fornecem implicações teóricas importantes para o aprimoramento da técnica de corrida em corredores recreacionais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação buscou encontrar formas mais simples de se quantificar variáveis que estão relacionadas com o desempenho em corredores recreacionais sem que seja necessário expô-los a protocolos de altas intensidades. Com isso, foi observado que para prever a velocidade pico, baseando-se em variáveis adquiridas em velocidade submáxima, o tempo de contato é uma variável crítica. Porém, não deve ser levado em consideração somente esta, pois ela explica 36% da velocidade pico. Assim, quando se visa aumentar a velocidade pico, é necessário que os atletas e treinadores trabalhem outras variáveis em conjunto, com especial atenção ao tempo de contato.

No segundo estudo da presente dissertação, foi a suavidade do movimento o escopo da investigação. A suavidade do movimento também está relacionada com forças externas, ou seja, corredores com movimentos mais suaves tendem a ter menores forças verticais de reação do solo, massa, tempo de contato e de fase aérea e maior cadência, baseado em nossas presentes evidências, e em combinação com os achados anteriores referentes à suavidade do movimento, nós propomos que correr com uma maior suavidade de movimento é uma estratégia interessante para alterar o padrão de movimento do corredor baseando-se em apenas uma métrica. Esses achados podem ser de grande importância no aprimoramento de dispositivos, como relógios inteligentes em geral, podendo também ser uma métrica usada para o retreinamento de marcha/corrída. Com isso, atletas e treinadores podem modificar certos aspectos da técnica da corrida dependendo dos objetivos do treinamento, baseando-se na métrica da suavidade do movimento. Dessa forma, a suavidade do movimento pode ser uma alternativa para avaliações de corredores recreacionais na ausência de um laboratório pois as medidas de suavidade podem ser obtidas com a utilização de acelerômetros, possibilitando assim ser quantificada em qualquer ambiente.

Em ambos os estudos, podemos observar a importância de algumas variáveis biomecânicas tanto na velocidade quanto na suavidade do movimento. Dentre elas, destacamos o tempo de contato e o tempo de fase aérea que exercem influência considerável em ambas as variáveis. Por isso, o treinador, ao propor um programa de retreinamento de corrida, é necessário prudência, visto que é possível estar gerando influência em outras métricas. Dito isso, é necessário que o treinador avalie o corredor

globalmente, levando em consideração a suavidade do movimento e as variáveis citadas nos estudos.

REFERÊNCIAS

ADAMS, D. *et al.* Altering cadence or vertical oscillation during running: Effects on running related injury factors. *International Journal of Sports Physical Therapy*, v. 13, n. 4, p. 633–642, ago. 2018.

ALVERO-CRUZ, J. R. *et al.* Prediction of Performance in a Short Trail Running Race: The Role of Body Composition. *Frontiers in Physiology*, v. 10, 16 out. 2019.

BALASUBRAMANIAN, S. *et al.* On the analysis of movement smoothness. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, v. 12, p. 112, 2015.

BERGMANN, G. *et al.* Influence of shoes and heel strike on the loading of the hip joint. *J. Biomechanics*, v. 28, n. 7, p. 817–827, 1995.

BOBBERT, H. M. F.; SCHAMHARDT, C.; NICK, B. M. Calculation of Vertical Ground Reaction Force Estimates During Running From Positional Data. *Journal of Biomechanics*, v. 24, p. 1095–1105, 1991.

BONNAERENS, S. *et al.* Relationship between duty factor and external forces in slow recreational runners. *BMJ Open Sport and Exercise Medicine*, v. 7, n. 1, 3 mar. 2021.

BRACH, J. S. *et al.* Validation of a measure of smoothness of walking. *Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*, v. 66 A, n. 1, p. 136–141, jan. 2011.

BRUGHELLI, M.; CRONIN, J.; CHAOUACHI, A. Effects of running velocity on running kinetics and kinematics. *Journal of strength and conditioning research*, v. 25, p. 933–939, 2011. Disponível em: <www.nscj-jscr.org>.

CAVANAGH, P. R.; LAFORTUNE, M. A. Ground reaction forces in distance running. *J Bmmechanics*, v. 13, p. 397–406, 1980.

CHOI, A. *et al.* Kinematic evaluation of movement smoothness in golf: relationship between the normalized jerk cost of body joints and the clubhead. *BioMedical Engineering BioMedical Engineering OnLine*, 2014. Disponível em: <<http://www.biomedical-engineering-online.com/content/13/1/20>>.

C-MOTION. *V3D Composite Pelvis*. Disponível em: <https://www.cmotion.com/v3dwiki/index.php/V3D_Composite_Pelvis>. Acesso em: 3 ago. 2021.

CORTES, N.; ONATE, J.; MORRISON, S. Differential effects of fatigue on movement variability. *Gait and Posture*, v. 39, n. 3, p. 888–893, 2014.

DA SILVA, D. F.; SIMÕES, H. G.; MACHADO, F. A. VVO₂max versus V_{peak}, what is the best predictor of running performances in middle-aged recreationally-trained runners? *Science and Sports*, v. 30, n. 4, p. e85–e92, 1 set. 2015.

DE LEVA, P. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's Segment Inertia Parameters. *Journal of Biomechanics*, v. 29, p. 1223–1230, 1996.

DE RUITER, C. J. *et al.* Running speed can be predicted from foot contact time during outdoor over ground running. *PLoS ONE*, v. 11, n. 9, 1 set. 2016.

DI MICHELE, R.; MERNI, F. The concurrent effects of strike pattern and ground-contact time on running economy. *Journal of Science and Medicine in Sport*, v. 17, n. 4, p. 414–418, 2014.

EKKEKAKIS, P.; PARFITT, G.; PETRUZZELLO, S. J. *The pleasure and displeasure people feel when they exercise at different intensities: Decennial update and progress towards a tripartite rationale for exercise intensity prescription. Sports Medicine*. [S.l: s.n.], 2011

ERTEL, C. *et al.* Foot jerk during running increases in an exerted state. *Footwear Science*, v. 13, n. S1, p. S72–S74, 2021.

FOLLAND, J. P. *et al.* Running Technique is an Important Component of Running Economy and Performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 49, n. 7, p. 1412–1423, 2017.

GHASEMLOONIA, A. *et al.* Surgical Skill Assessment Using Motion Quality and Smoothness. *Journal of Surgical Education*, v. 74, n. 2, p. 295–305, 1 mar. 2017.

GINDRE, C. *et al.* Aerial and Terrestrial Patterns: A Novel Approach to Analyzing Human Running. *International Journal of Sports Medicine*, v. 37, n. 1, p. 25–29, 28 out. 2015.

GULDE, P.; HERMSDÖRFER, J. Smoothness metrics in complex movement tasks. *Frontiers in Neurology*, v. 9, n. SEP, 12 set. 2018.

HOGAN, N.; STERNAD, D. On rhythmic and discrete movements: Reflections, definitions and implications for motor control. *Experimental Brain Research*, v. 181, n. 1, p. 13–30, jul. 2007.

HOPKINS, W. G. *et al.* *Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. Medicine and Science in Sports and Exercise*. [S.l: s.n.], jan. 2009

HRELJAC, A. Stride smoothness evaluation of runners and other athletes. *Gait and Posture*, v. 11, p. 199–206, 2000. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/gaitpost>.

JOHNSON, C. D. *et al.* Impact-Related Ground Reaction Forces Are More Strongly Associated With Some Running Injuries Than Others. *American Journal of Sports Medicine*, v. 48, n. 12, p. 3072–3080, 1 out. 2020.

JONES, A. M.; POOLE, D. C. Physiological Demands of Endurance Exercise. *Olympic Textbook of Science in Sport*, p. 43–55, 2009.

KELLER, T. S. *et al.* Relationship between vertical ground reaction force and speed during walking, slow jogging, and running. *Clinical Biomechanics*. [S.l.: s.n.], 1996.

KIELY, J.; PICKERING, C.; COLLINS, D. J. Smoothness: an Unexplored Window into Coordinated Running Proficiency. *Sports Medicine - Open*, v. 5, n. 1, 1 dez. 2019.

KING, D. L.; MCCARTNEY, M.; TRIHY, E. Initial contact and toe off event identification for rearfoot and non-rearfoot strike pattern treadmill running at different speeds. *Journal of Biomechanics*, v. 90, p. 119–122, 11 jun. 2019.

KUIPERS, H. *et al.* Effects of Stage Duration in Incremental Running Tests on Physiological Variables. *Training & Testing*, 2003.

LANFERDINI, F. J. *et al.* Physiological Predictors of Maximal Incremental Running Performance. *Frontiers in Physiology*, v. 11, 5 ago. 2020.

LETI, T. *et al.* Prediction of maximal lactate steady state in runners with an incremental test on the field. *Journal of Sports Sciences*, v. 30, n. 6, p. 609–616, mar. 2012.

MACHADO, F. A. *et al.* Incremental test design, peak “aerobic” running speed and endurance performance in runners. *Journal of Science and Medicine in Sport*, v. 16, n. 6, p. 577–582, nov. 2013.

MILNER, C. E.; PAQUETTE, M. R. A kinematic method to detect foot contact during running for all foot strike patterns. *Journal of Biomechanics*, v. 48, n. 12, p. 3502–3505, 18 set. 2015.

MOORE, I. S. *Is There an Economical Running Technique? A Review of Modifiable Biomechanical Factors Affecting Running Economy*. *Sports Medicine*. [S.l.]: Springer International Publishing. , 1 jun. 2016

MORIN, J. *et al.* Effects of altered stride frequency and contact time on leg-spring behavior in human running. *Journal of Biomechanics*, v. 40, n. 15, p. 3341–3348, 2007.

MORIN, J.-B. *et al.* A Simple Method for Measuring Stiffness During Running. *Journal of Applied Biomechanics*, v. 21, p. 167–180, 2005.

NAGAHARA, R. *et al.* Step-to-step spatiotemporal variables and ground reaction forces of intra-individual fastest sprinting in a single session. *Journal of Sports Sciences*, v. 36, n. 12, p. 1392–1401, 18 jun. 2018.

NAPIER, C. *et al.* Kinetic risk factors of running-related injuries in female recreational runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, v. 28, n. 10, p. 2164–2172, 1 out. 2018.

NOAKES, T. D.; MYBURGH, K. H.; SCHALL, R. Peak treadmill running velocity during the vo2 max test predicts running performance. *Journal of Sports Sciences*, v. 8, n. 1, p. 35–45, 1990.

NUMMELA, A.; KERÄNEN, T.; MIKKELSSON, L. O. Factors related to top running speed and economy. *International Journal of Sports Medicine*, v. 28, n. 8, p. 655–661, ago. 2007.

ORENDURFF, M. S. *et al.* A little bit faster: Lower extremity joint kinematics and kinetics as recreational runners achieve faster speeds. *Journal of Biomechanics*, v. 71, p. 167–175, 11 abr. 2018.

PARADISIS, GIORGIOS P. *et al.* Sprint mechanical differences at maximal running speed: Effects of performance level. *Journal of Sports Sciences*, v. 37, n. 17, p. 2026–2036, 2 set. 2019.

PARADISIS, GIORGOS P.; COOKE, C. B. Kinematic and postural characteristics of sprint running on sloping surfaces. *Journal of Sports Sciences*, v. 19, n. 2, p. 149–159, 2001.

PAVEI, G. *et al.* Estimates of running ground reaction force parameters from motion analysis. *Journal of Applied Biomechanics*, v. 33, n. 1, p. 69–75, 1 fev. 2017.

PESERICO, CECÍLIA SEGABINAZI; FERNANDES DA SILVA, D.; MACHADO, F. A. Peak running velocity predicts 5-km running performance in untrained men and women. *Arch Med Deporte*, v. 36, n. 6, p. 340–344, 2019.

PESERICO, CECILIA SEGABINAZI; ZAGATTO, A. M.; MACHADO, F. A. Reliability of peak running speeds obtained from different incremental treadmill protocols. *Journal of Sports Sciences*, v. 32, n. 10, p. 993–1000, 2014.

PHAN, X. *et al.* Running quietly reduces ground reaction force and vertical loading rate and alters foot strike technique. *Journal of Sports Sciences*, v. 35, n. 16, p. 1636–1642, 18 ago. 2017.

PREECE, S. J.; BRAMAH, C.; MASON, D. The biomechanical characteristics of high-performance endurance running. *European Journal of Sport Science*, v. 19, n. 6, p. 784–792, 3 jul. 2019.

RABITA, G. *et al.* Sprint mechanics in world-class athletes: A new insight into the limits of human locomotion. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, v. 25, n. 5, p. 583–594, 1 out. 2015.

RUMPF, M. C. *et al.* Kinematics and kinetics of maximum running speed in youth across maturity. *Pediatric Exercise Science*, v. 27, n. 2, p. 277–284, 1 maio 2015.

RUNNER'S WORLD. *Age Graded Calculator*. Disponível em: <<https://www.runnersworld.com/advanced/a20801263/age-grade-calculator/#>>. Acesso em: 2 ago. 2021.

SAKATA, K. *et al.* Evaluation of the age-related changes in movement smoothness in the lower extremity joints during lifting. *Gait and Posture*, v. 31, n. 1, p. 27–31, jan. 2010.

SEJNOWSKI, T. J. Making smooth moves. *Nature*, v. 394, p. 725–726, 1998.

SINGH, S. *et al.* Motion Smoothness Metrics for Cannulation Skill Assessment: What Factors Matter? *Frontiers in Robotics and AI*, v. 8, 16 abr. 2021.

SLAWINSKI, J. S.; BILLAT, V. L. Difference in mechanical and energy cost between highly, well, and nontrained runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v. 36, n. 8, p. 1440–1446, ago. 2004.

STRATTON, E. *et al.* Treadmill velocity best predicts 5000-m run performance. *International Journal of Sports Medicine*, v. 30, n. 1, p. 40–45, jan. 2009.

TARTARUGA, M. P. *et al.* The relationship between running economy and biomechanical variables in distance runners. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, v. 83, n. 3, p. 367–375, 2012.

WEYAND, P. G. *et al.* Ambulatory estimates of maximal aerobic power from foot ground contact times and heart rates in running humans. *J Appl Physiol*. [S.l.: s.n.], 2001. Disponível em: <<http://www.jap.org>>.

WEYAND, P. G. *et al.* Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J Appl Physiol*. [S.l.: s.n.], 2000. Disponível em: <<http://www.jap.org>>.

WEYAND, P. G. *et al.* The biological limits to running speed are imposed from the ground up. *Journal of Applied Physiology*, v. 108, n. 4, p. 950–961, abr. 2010.

WINTER, D. A. *Biomechanics and motor control of human movement*. [S.l.]: Wiley, 2009.

ZHANG, J. H. *et al.* How do training experience and geographical origin of a runner affect running biomechanics? *Gait and Posture*, v. 84, p. 209–214, 1 fev. 2021.

ZHANG, Q. *et al.* Not Lower-Limb Joint Strength and Stiffness but Vertical Stiffness and Isometric Force-Time Characteristics Correlate With Running Economy in Recreational Male Runners. *Frontiers in Physiology*, v. 13, 28 jun. 2022. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2022.940761/full>>.

ZHANG, S.; LI, Y.; LI, L. Running ground reaction force complexity at the initial stance phase increased with ageing. *Sports Biomechanics*, v. 20, n. 5, p. 619–628, 2021.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

“Relação das Assimetrias Bilaterais na Rigidez da Perna na Corrida e Testes Funcionais”

Prezado (a) Senhor (a):

Gostaríamos de convidá-lo (a) para participar da pesquisa **“Relação das Assimetrias Bilaterais na Rigidez da Perna na Corrida e Testes Funcionais”**, a ser realizada em Londrina-PR. O objetivo da pesquisa é **1) analisar a relação entre as assimetrias na rigidez da perna durante a corrida e assimetrias na rigidez da perna durante os agachamentos e saltos; 2) e analisar a relação entre as assimetrias na rigidez da perna na corrida e assimetrias na força durante a dinamometria isocinética**. Sua participação é muito importante e ela se daria da seguinte forma: você vai responder o questionário chamado *physical activity readiness questionnaire* (PAR-Q), para saber se você não apresenta problemas de saúde que o impossibilite de participar; seu peso e sua altura serão mensurados para a apresentação dos dados descritivos da média de todos os participantes. Os testes que você deverá realizar serão realizados em três dias diferentes. **Dia 1:** você realizará um aquecimento de 5 minutos e em seguida iniciará o protocolo de velocidade máxima a 9 km/h, com aumento de velocidade de 1 km/h a cada minuto posterior. O teste será encerrado quando atingir a exaustão, sendo destinados mais três minutos a 5 km/h como volta a calma. **Dia 2:** será realizada uma caminhada leve com duração de 5 minutos a 5 km/h. Haverá um segundo aquecimento com 50% da sua velocidade máxima e em seguida se inicia os testes. A coleta em si terá duração total de 3 minutos, sendo 1 minuto para cada percentual da velocidade máxima (70, 80 e 90%), devendo ocorrer de maneira randomizada. Após o teste, todos os participantes realizarão mais três minutos de volta a calma a 5 km/h. **Dia 3:** no terceiro dia você realizará a avaliação de força

no dinamômetro isocinético. Esse teste ocorrerá sobre uma cadeira no qual você permanecerá sentado e receberá ajustes para fixação na mesma.

Esclarecemos que sua participação é totalmente voluntária, podendo você: recusarse a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento, sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Esclarecemos, também, que suas informações serão utilizadas somente para os fins desta pesquisa e serão tratadas com o mais absoluto sigilo e confidencialidade, de modo a preservar a sua identidade.

Esclarecemos ainda, que você não pagará e nem será remunerado (a) por sua participação. Garantimos, no entanto, que todas as despesas decorrentes da pesquisa serão ressarcidas, quando devidas e decorrentes especificamente de sua participação.

Os benefícios esperados são **analisar se as possíveis assimetrias da rigidez na corrida aumentarão de acordo com o percentual da velocidade máxima, essa questão é importante pois uma diferença grande nos valores de assimetrias pode reduzir o desempenho e aumentar a sobrecarga sobre os membros inferiores, levando a possíveis lesões.** Quanto aos riscos, informamos que nossa pesquisa apresenta baixo risco, sendo que os testes serão realizados em poucos minutos e de acordo com a literatura esses valores são baixíssimos (1 lesão para cada 125 horas). **Caso algum problema mais grave ocorra, a equipe de coleta lhe levará para atendimento médico ou ligaremos para equipe de resgate.**

Caso você tenha dúvidas ou necessite de maiores esclarecimentos poderá nos contatar (**Edson Gonsales da Cruz Filho, Rua Tupiniquins, 405, Londrina-PR, Telefone: (43 99806-4627 celular), e-mail: edson-gonsales@hotmail.com**), ou procurar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Estadual de Londrina, situado junto ao LABESC – Laboratório Escola, no Campus Universitário, telefone 3371-5455, e-mail: cep268@uel.br.

Este termo deverá ser preenchido em duas vias de igual teor, sendo uma delas devidamente preenchida, assinada e entregue a você.

Londrina, ____ de _____ de 201__.

Pesquisador Responsável

RG: 128315998/SSP-PR

_____ (NOME POR EXTENSO DO PARTICIPANTE DA PESQUISA), tendo sido devidamente esclarecido sobre os procedimentos da pesquisa, concordo em participar **voluntariamente** da pesquisa descrita acima.

Assinatura (ou impressão
dactiloscópica): _____

Data: _____

Obs.: Caso o participante da pesquisa seja menor de idade, o texto deve estar voltado para os pais e deve ser incluído ainda, campo para assinatura do menor e do responsável.

ANEXOS

ANEXO A – PAR-Q

Physical Activity Readiness Questionnaire
QUESTIONÁRIO DE PRONTIDÃO PARA ATIVIDADE FÍSICA

Este questionário tem objetivo de identificar a necessidade de avaliação clínica e médica antes do início da atividade física. Caso você marque um SIM, é fortemente sugerida a realização da avaliação clínica e médica. Contudo, qualquer pessoa pode participar de uma atividade física de esforço moderado, respeitando as restrições

O PAR-Q foi elaborado para auxiliar você a se auto-ajudar. Os exercícios regularmente estão associados a muitos benefícios de saúde. Completar o PAR-Q representa o primeiro passo importante a ser tomado, principalmente se você está interessado em incluir a atividade física com maior frequência e regularidade no dia a dia.

O bom senso é o seu melhor guia ao responder estas questões. Por favor, leia atentamente cada questão e marque SIM ou NÃO.

SIM	NÃO	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1. Alguma vez seu médico disse que você possui algum cardíaco e recomendou que você só praticasse atividade física prescrição
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. Você sente dor no tórax quando pratica uma atividade
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3. No último mês você sentiu do torácica quando não estava praticando atividade física?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4. Você perdeu o equilíbrio em virtude de tonturas ou perdeu consciência quando estava praticando atividade
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5. Você tem algum problema ósseo ou articular que poderia agravado com a prática de atividades físicas?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6. Seu médico já recomendou o uso de medicamentos para da sua pressão arterial ou condição cardiovascular?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7. Você tem conhecimento de alguma outra razão física que o impeça de participar de atividades físicas?

Declaração de Responsabilidade

Assumo a veracidade das informações prestadas no questionário "PAR-Q" e afirmo liberado(a) pelo meu médico para participação em atividades físicas.

Nome do(a) participante

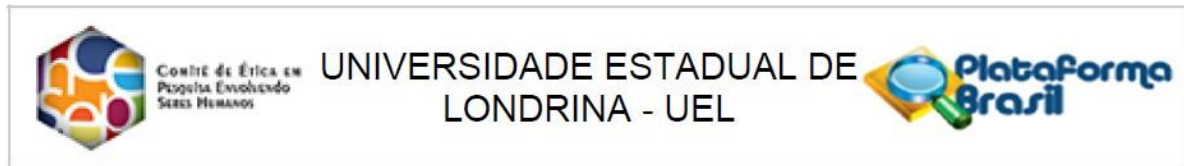
Nome do(a) responsável se menor de 18

Data

Assinatura

(Assinatura do Responsável no caso de menor de 18 anos)

ANEXO B – PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Relação das Assimetrias Bilaterais na Rigidez da Perna na Corrida e Teste Funcionais

Pesquisador: Edson Gonsales da Cruz Filho

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 97002818.8.0000.5231

Instituição Proponente: CEFE - Departamento de Educação Física

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.914.957

Apresentação do Projeto:

Trata-se de estudo observacional experimental vinculado ao Programa de Pós Graduação em Educação Física associado UEL/UEM. O estudo contará com a participação de 26 corredores recreacionais do sexo masculino com idade de 18 a 40 anos que realizarão um protocolo para determinar a velocidade máxima e outros de corrida, testes funcionais e força de membro inferior no dinamômetro isocinético. No protocolo da corrida o participante deverá correr em três velocidades individualizadas e diferentes. No protocolo dos testes funcionais serão executados 6 agachamentos e 3 saltos unilaterais, e no protocolo de força em membro inferior serão realizadas extensões e flexões de joelho em três velocidades diferentes. Como critérios de inclusão os participantes deverão possuir um volume de treino igual ou maior que 30 quilômetros por semana, no mínimo nos últimos 6 meses de prática e não apresentarem lesões neuromusculares ou alterações cardiorrespiratórias que os impossibilitem ou interfiram nas avaliações. Serão excluídos os participantes que tenham lesão frequente (últimos seis meses) nos membros inferiores ou que não atenda a algum dos critérios de inclusão. Os participantes da pesquisa serão convidados via redes sociais e também pelos próprios participantes que já tiverem realizado os testes e se sentirem à vontade para colaborar com a divulgação. Os testes ocorrerão no Laboratório de Biomecânica Aplicada do Centro de Educação Física e Esporte da Universidade Estadual de Londrina. Os participantes da pesquisa realizarão os testes durante o contra turno acadêmico, assim, já estariam na universidade nos períodos anteriores ou posteriores às análises.