

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E DESPORTOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO  
E REABILITAÇÃO

Jean da Silva Carvalho

**EFEITOS TARDIOS DE CORRER UMA MEIA-MARATONA SOBRE A  
CINEMÁTICA DE CORREDORES**

Santa Maria, RS, Brasil

2023

**Jean da Silva Carvalho**

**EFEITOS TARDIOS DE CORRER UMA MEIA-MARATONA SOBRE A  
CINEMÁTICA DE CORREDORES**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências do Movimento e Reabilitação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências do Movimento e Reabilitação**

Orientador: Prof. Dr. Felipe Pivetta Carpes

Santa Maria, RS, Brasil

2023

---

© 2023

Todos os direitos autorais reservados a Jean da Silva Carvalho. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

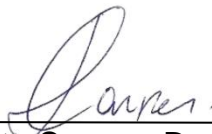
E-mail: [jeancarvalhourg@gmail.com](mailto:jeancarvalhourg@gmail.com)

**Jean da Silva Carvalho**

**EFEITOS TARDIOS DE CORRER UMA MEIA-MARATONA SOBRE A CINEMÁTICA DE  
CORREDORES**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós- Graduação em Ciências do Movimento e Reabilitação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Ciências do Movimento e Reabilitação**.

Aprovado em 14 de Fevereiro de 2023:



---

**Felipe Pivetta Carpes, Doutor (UNIPAMPA)**

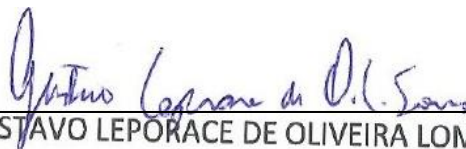
(Presidente/Orientador)



---

**ELIANE CELINA GUADAGNIN**

Doutora (Biocinética)



---

**GUSTAVO LEPORACE DE OLIVEIRA LOMELINO SOARES**

Doutor (Biocinética)

Santa Maria, RS  
2023

## **AGRADECIMENTOS**

O presente é o melhor momento de oportunidade para aprender, crescer e nos tornar melhor que antes. Nesse breve percurso de muito trabalho agradeço a Deus por ter a chance de galgar mais essa etapa na vida e dar mais alguns passos adiante na carreira profissional e acadêmica.

Obrigado Felipe Pivetta Carpes pela experiência em me orientar e dedicar parte do seu tempo em me acompanhar nesses anos de aprendizado mútuo. Pelo profissionalismo e atenção com teus alunos de graduação e pós-graduação. E acima de tudo pela parceria, compreensão em ensinar e construir muito conhecimento para extrair o meu melhor. Por instigar esse olhar a pesquisa e aprofundamento na biomecânica do movimento. E também por ser um incentivador das práticas esportivas.

As instituições de ensino, Universidade Federal de Santa Maria por ofertar o programa de Ciências do Movimento e Reabilitação e proporcionar uma vivência muito rica nesse período de mestrado, e a Universidade Federal do Pampa pela estrutura, equipamentos disponibilizados e por estar de portas abertas nos recebendo como eternos aprendizes.

Ao Grupo de Pesquisa em Neuromecânica Aplicada (GNAP), pela colaboração nesses anos de pesquisa. Bem como aos colegas de grupo por partilhar horas de estudo e bons momentos nessa convivência.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior) pelo auxílio com a bolsa de estudos.

Aos colegas de pesquisa Andressa Lemos e Gabrielly Martins que se dispuseram a me auxiliar durante as coletas de dados.

Ao Marcos Kunzler que me auxiliou de modo direto com olhares precisos e experiência para fazer as coisas darem certo.

À Karine Stoelben pelo auxílio e orientação no caminho do processamento dos dados.

Ao Conrado Torres pela cooperação na fase de análise dos resultados.

Aos professores Eliane Guadagnin e Gustavo Leporace por aceitarem o convite para a qualificação do projeto de pesquisa e defesa desta dissertação.

À minha família, meus pais Jorge e Sônia e minha irmã Giorgia que entendem e apoiam essa dedicação aos estudos e caminho trilhado na busca por uma educação e formação de qualidade.

À minha namorada Mariana Barreto pelo companheirismo, por estar presente comigo nas melhores horas e também nas mais improváveis, por estar me incentivando, pela paciência, por compreender o funcionamento desse período e até me ajudar a refletir sobre os estudos.

Ao Fernando Ceccon por me aconselhar e trocar uma ideia amiga sempre que necessário.

Sem deixar de mencionar meu agradecimento imenso e merecido a todos os corredores que participaram do nosso estudo e também dispuseram de tempo e energia para concluir as etapas do experimento (Ben-hur, Cláudia, Dioser, Emerson, Éderson, Hércules, Jéssica, Joana, Jordão, Leandro, Marco, Paulo, Ricardo, Renata, Tatiane, Vinícius e Yago).

A todos que foram imprescindíveis para que eu pudesse evoluir, amadurecer e que somaram de alguma forma, torcendo ou vibrando, nesse caminho.

*“Somos o que fazemos repetidamente.  
Excelência, então, não é um ato, mas um  
hábito.”*

*Aristóteles*

## RESUMO

### EFEITOS TARDIOS DE CORRER UMA MEIA-MARATONA SOBRE A CINEMÁTICA DE CORREDORES

AUTOR: Jean da Silva Carvalho

ORIENTADOR: Prof. Dr. Felipe Pivetta Carpes

Esforços em alta intensidade e envolvendo ações musculares excêntricas são comuns indutores de dor muscular de início tardio (DMIT). A DMIT pode prejudicar, mesmo de modo transitório, a produção de força, amplitudes de movimento, rigidez muscular e articular, e o conforto durante a realização de movimentos. Em corredores, esses efeitos poderiam alterar a cinemática da corrida, prejudicando o desempenho e aumentando a presença de fatores de risco para lesões. É comum a realização de sessões de treino regenerativo em dias seguintes à esforços de alta intensidade. Neste estudo, investigamos se existem efeitos tardios de uma competição simulada de meia-maratona sobre a cinemática tridimensional (3D) da corrida. Participaram do estudo 15 corredores (11 homens, 4 mulheres) com experiência competitiva e com idade média  $\pm$  desvio padrão de  $36 \pm 9$  anos. Eles correram uma meia-maratona simulada na rua buscando o melhor tempo individual. Eles foram submetidos a avaliações pré e pós meia-maratona envolvendo anamnese, medidas antropométricas, escalas de esforço e recuperação percebidas, limiar de dor por pressão, e avaliação cinemática 3D da corrida em esteira. Durante a meia-maratona foram registrados dados da temperatura ambiente, umidade relativa do ar, velocidade do vento, distância total, elevação, tempo final de prova, velocidade, percepção de esforço e frequência cardíaca. A partir de nossos principais resultados interpretamos que a demanda de exercício intenso em uma competição simulada de meia-maratona gera dano muscular, refletindo na presença de dor muscular tardia evidenciada pela maior sensibilidade nos limiares de dor por pressão. Observamos que na cinemática da corrida após a meia-maratona acentuam-se algumas características pré-existentes na técnica de corrida de cada participante, como assimetrias nos membros inferiores, maiores amplitudes e aumentos no movimento do tronco e maior tempo de contato com o solo. Em conclusão, após correr uma meia-maratona e apresentar características de DMIT indicando dano muscular os corredores apresentaram um efeito adaptativo no perfil da movimentação do tronco que podem indicar efeitos negativos sobre o desempenho em maior período de corrida e acentuar determinados fatores de risco de lesão.

**Palavras chaves:** Biomecânica. Corrida de rua. Desempenho. Dor muscular tardia. Corredores.



## ABSTRACT

### DELAYED EFFECTS OF RUNNING A HALF-MARATHON ON RUNNING KINEMATICS

AUTHOR: Jean da Silva Carvalho  
SUPERVISOR: Prof. Dr. Felipe Pivetta Carpes

High-intensity efforts involving eccentric muscle actions are common source of delayed-onset muscle soreness (DOMS). A DOMS condition can impair, even in a transitory way, force production, range of motion, muscle and joint stiffness, and comfort during movement performance. In runners, these effects could alter running kinematics, impairing performance, and/or increasing the presence of risk factors for injuries. Since regenerative training sessions are common on days following a high-intensity effort. In this study, we investigate whether there are delayed effects of a simulated half-marathon competition on the three-dimensional (3D) running kinematics. The study included 15 runners (11 men, 4 women) with competitive experience and mean  $\pm$  standard deviation age of 36 years  $\pm$  9 years old. They ran a half-marathon to achieve their personal best time. Pre and post the running they were submitted to evaluations involving anamnesis about sports practice, anthropometric measurements, responses to effort scales, perceived recovery, pressure pain threshold, and a 3D kinematic evaluation of running on a treadmill. During the half-marathon, relative air humidity and wind speed, total distance, elevation, finish time, speed, effort perception and heart rate were monitored. According to our results, we interpret that the demand for high-intensity exercise in a half-marathon causes muscle damage, reflected in the presence of delayed muscle soreness, evidenced by the greater sensitivity noted in the pain thresholds due to pressure in musculature. Regarding the 3D running kinematics, we observed that after the half-marathon, some pre-existing characteristics in the running technique are accentuated, such as asymmetries in the lower limbs, greater range of motion and asymmetry in trunk movement and longer contact times. In conclusion, after running a half-marathon and experiencing DOMS indicating muscle damage, runners change their running technique some movement profiles that might indicate negative effects on performance and injury risk factors can be accentuated.

**Keywords:** Biomechanics. Jogging. Performance. Delayed onset muscle soreness. Runners.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Desenho experimental.....	28
Figura 2 – Representação da identificação do contato inicial (linha azul sólida) e da saída dos dedos (linha azul pontilhada) do membro preferido (em azul semitransparente).....	32
Figura 3. Detalhamento do percurso da meia-maratona.....	33
Figura 4. Representação das assimetrias na amplitude de movimento articular na fase de apoio entre membros em determinadas articulações e planos.....	45
Figura 5. Representação do comportamento angular do membro preferido (P) e não preferido (NP) pré e pós, com os respectivos finais da fase de apoio indicados pelas linhas verticais tracejadas.....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variáveis teóricas e operacionais.....	34
Tabela 2: Características dos corredores e corredoras.....	37
Tabela 3: Dados individuais de desempenho na meia-maratona dos corredores.....	39
Tabela 4: Resultados de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento no dia da competição simulada.....	40
Tabela 5: Resultados de limiar de dor por pressão (LDP), dor relatada na escala visual numérica e pontos na escala de percepção de recuperação (ERP) pré e pós realização da meia-maratona simulada.....	41
Tabela 6: Ângulos do tronco, quadril, joelho e tornozelo no contato inicial	42
Tabela 7: Duração de fases da corrida.....	43
Tabela 8: Amplitude angular de tronco, quadril, joelho e tornozelo na fase de apoio, nos três planos de movimento.....	44

## Sumário

1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1 QUALIFICAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA .....	13
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	16
1.2 OBJETIVOS .....	18
1.2.1 OBJETIVO GERAL .....	18
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
1.3 JUSTIFICATIVA .....	18
1.4 HIPÓTESE .....	19
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	21
2.1 CINEMÁTICA DA CORRIDA .....	21
2.2 EFEITOS AGUDOS DA CORRIDA PROLONGADA NA CINEMÁTICA DE CORREDORES .....	22
2.3 EFEITOS TARDIOS DA CORRIDA PROLONGADA NA CINEMÁTICA DE CORREDORES .....	25
2.4 ANÁLISE CRÍTICA DA LITERATURA .....	26
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	27
3.1 PARTICIPANTES .....	27
3.2 DESENHO EXPERIMENTAL .....	27
3.3 AVALIAÇÃO ANTROPOMÉTRICA .....	29
3.4 AVALIAÇÃO DA DOR .....	29
3.5 AVALIAÇÃO CINEMÁTICA TRIDIMENSIONAL .....	30
3.6 COMPETIÇÃO SIMULADA DE MEIA-MARATONA .....	32
3.7 AVALIAÇÃO DO ESTADO DE RECUPERAÇÃO .....	33
3.8 VARIÁVEIS DE INTERESSE .....	34
3.9 PROCESSAMENTO DE DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	35
4. RESULTADOS .....	36
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PARTICIPANTES .....	36
4.2 DESCRIÇÃO DA COMPETIÇÃO SIMULADA DE MEIA-MARATONA ....	38
4.3 CINEMÁTICA DA CORRIDA .....	42
4.3.1 Ângulos de contato inicial .....	42
4.3.2 Características temporais .....	43
4.3.3 Amplitude de movimento na fase de apoio .....	44
4.3.4 Assimetrias na amplitude de movimento na fase de apoio .....	45

4.3.5 Comportamento angular ao longo do ciclo de passada.....	45
5. DISCUSSÃO .....	47
6. CONCLUSÃO .....	54
7. REFERÊNCIAS .....	56
APÊNDICES .....	68
ANEXOS.....	72

## APÊNDICES

Apêndice A: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	69
Apêndice B: Anamnese.....	71

## **Anexos**

Anexo A: Escala Visual Numérica (NRS).....	73
Anexo B: Plug and Gait full body model.....	74
Anexo C: Escala de Borg.....	75
Anexo D: Escala de Recuperação Percebida (ERP).....	76

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 QUALIFICAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

A corrida de rua é um esporte popular, de fácil acesso (Nikolaidis and Knechtle, 2022) e que promove benefícios à saúde (Kozlovskaia et al., 2019). As competições de corrida de rua de meio-fundo e fundo, em distâncias que variam de 5 km a 42 km ganham destaque no aumento do número de competições e participações. As meias-maratonas são corridas de 21 km populares e tem um calendário variado. A disponibilidade dessas provas com o passar do tempo faz muitas pessoas mudar a prática recreacional para uma experiência mais desafiadora em competições mais longas.

Uma meia-maratona se caracteriza como uma prova longa e rápida ao mesmo tempo, além de ser um ótimo desafio acima das provas de 10 km e ser um antecessor as provas mais longas, de maratona. Os quenianos tem prestígio nas colocações mais altas do pódio, além de predomínio de participações nas provas internacionais entre homens e mulheres (Nikolaidis, Onywera, & Knechtle, 2017). Considerando como referência temporal o ano de 2022, no feminino a atual recordista mundial é Letesenbet Gidey (Etiópia) com 1 hora 02 minutos e 52 segundos, enquanto no masculino o atual recordista é Jakob Kiplimo (Uganda), com 57 minutos e 31 segundos. A nível nacional, a detentora do recorde brasileiro é Silvana Pereira com 1 hora 11 minutos e 15 segundos, e no masculino é Marilson Santos, com 59 minutos e 33 segundos. No cenário estadual, do Rio Grande do Sul, a competição mais tradicional entre os gaúchos é a meia-maratona internacional de Porto Alegre.

A corrida competitiva tem configurações de prova contrarrelógio que gera um custo de fadiga neuromuscular em altas intensidades, onde adaptações tardias são refletidas na técnica de execução, produção de força, potência, e redução na capacidade de recuperação (Collins, Pearcey, Buckle, Power, & Button, 2018). Existem parâmetros cinemáticos no decorrer de uma meia-maratona que podem ser sinais de fadiga e até indicar riscos para lesões como aumentos na variabilidade da coordenação segmentar no plano frontal e/ou transversal (T. L. Chen et al., 2020). Ao longo de uma corrida prolongada em esteira a capacidade de dissipar o impacto diminui e o comportamento



pode ser associado com um aumento na rigidez de flexão do joelho e maior eversão do tornozelo (Weir, Willwacher, Trudeau, Wyatt, & Hamill, 2020). Assim como em outro estudo com avaliação da corrida em esteira a amplitude de movimento (ADM) em conjunto da velocidade angular do joelho e do pé no contato com o solo foram afetados de forma negativa (Sheerin, Reid, & Besier, 2019).

A capacidade dos membros inferiores em absorver impacto pode ser manipulada e afetar a velocidade de corrida através da frequência e comprimento das passadas (Baggaley et al., 2020). Esses são exemplos de algumas condições que modulam a demanda neuromuscular, especialmente de quadríceps e flexores plantares no controle dos movimentos e geração de propulsão durante a corrida. Em linha geral, a fadiga neuromuscular tem maiores repercussões na técnica de execução dos movimentos conforme aumenta a duração (Giandolini et al., 2016).

Embora conhecer os efeitos agudos da fadiga, durante o exercício, seja importante, poucos estudos consideram a existência de efeitos tardios, como a magnitude ou a persistência de adaptações sobre a cinemática da corrida. A corrida envolve o recrutamento de diferentes músculos do corpo e depende diretamente da ação integrada de cadeias de movimentos das articulações. Podemos destacar na fase de absorção de cargas, as ações musculares excêntricas com o quadríceps (Hamner and Delp, 2013). Essa é uma característica que pode determinar a presença de dor muscular de início tardio (DMIT), comum em corredores de fundo, após um esforço por tempo longo (Teixeira, Lunardi, da Silva, Lopes, & Carvalho, 2016).

Em protocolo de exercício em corredoras com dano muscular excêntrico dos extensores e flexores do joelho, o comprimento do passo diminuiu, a frequência de passos aumentou e a ADM das articulações do joelho e tornozelo diminuiu 48 h pós-exercício, quando as atletas foram avaliadas em velocidade mais rápida (Tsatalas et al., 2013). Ao avaliar a marcha após indução de DMIT em diferentes velocidades houve maior flexão do joelho durante a fase de apoio e menor ADM do joelho durante a fase de balanço (Tsatalas et al., 2010). Estes estudos ilustram adaptações que podem repercutir na técnica de marcha e corrida com potencial para influenciar

importantes parâmetros na eficiência do movimento e também em fatores de risco para aumento de sobrecargas.

Ao ser instaurado um quadro de DMIT, estratégias ativas como corridas submáximas são utilizadas como parte do processo de recuperação após um exercício extenuante. Treinadores prescrevem essas corridas com intuito de reduzir a sensação de dor tardia (Wiewelhove et al., 2016). A linha temporal de presença de DMIT associada ao dano estrutural nos tecidos musculares surge poucas horas após o exercício e repercutem por até 72 h (Armstrong, 1984). Considerando a condição de dano muscular quantificada por marcadores bioquímicos, a creatina quinase (CK) permaneceu elevada no pós partida em jogadores de rúgby e foram necessários 5 dias de atividade modificada para atingir a recuperação completa, sugerindo um período de 48 h para a homeostase endócrina pós-competição (McLellan, Lovell, & Gass, 2010). Em exercício de indução de dano muscular com contrações excêntricas máximas no quadríceps ao comparar a recuperação ativa no ciclismo e na corrida, foram observados efeitos benéficos do ciclismo sobre o dano muscular e a dor (de Azevedo Franke et al., 2021). O efeito da recuperação ativa após protocolo de esforço, pode ser explicado pelo aumento do fluxo sanguíneo no tecido muscular, que facilita a remoção de resíduos metabólicos e contribui para a redução da dor muscular (Sanudo et al., 2020).

Embora essas alterações agudas em parâmetros bioquímicos, fisiológicos e biomecânicos sejam descritos em diferentes condições, não há evidências claras sobre a interação no contexto de um exercício multiarticular e que envolve impacto, como a corrida. A presença de dano muscular é confirmada através de indicadores sanguíneos após exercícios com predomínio de ações excêntricas, enquanto análises cinemáticas indicam redução na ADM da articulação do joelho nas fases de apoio e balanço, acompanhada por aumento de rotação pélvica e diminuição da inclinação pélvica durante caminhada e corrida (Paschalis et al., 2007).

Como visto, a maioria dos estudos consideram principalmente aspectos fisiológicos ou parâmetros espaço-temporais que são relacionados a economia de corrida, ao passo que características como a cinemática tridimensional da corrida e suas relações com a recuperação após exercício são menos conhecidas. A análise cinemática 3D permite avaliar os movimentos em

diferentes planos anatômicos simultaneamente e assim descrever características técnicas, considerando variáveis espaciais e temporais, além de determinar com precisão ângulos articulares e permitir uma visão mais aprofundada dos movimentos combinados.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A dor muscular de início tardio (DMIT) é causada principalmente por exercícios físicos realizados com predomínio de ações musculares excêntricas ou técnicas de execução não habituais de exercício, como aumentos abruptos na carga de exercícios (Douglas, Pearson, Ross, & McGuigan, 2017). Os sintomas da DMIT incluem menor capacidade de gerar força muscular, restrição de movimento, rigidez, edema e alterações nas articulações, fatores determinantes que comprometem o desempenho esportivo (Heiss et al., 2019).

A corrida prolongada gera fadiga e possui importante participação de ações musculares excêntricas. Aumentos em marcadores de dano muscular, como a CK e medidas de DMIT foram observados em corredores após conclusão de uma meia- maratona (Lynn et al., 2018). Corredores em condição de fadiga tem a capacidade de absorção de impacto reduzida, devido a mudanças na aceleração e posicionamento dos segmentos, com diferenças na ADM articular e na posição relativa (Mizrahi, Verbitsky, Isakov, & Daily, 2000). A origem do processo de fadiga pode ocorrer por alterações metabólicas nos músculos, ou ter origem central, em virtude da redução ou falha do sistema nervoso central em enviar os comandos motores para ativação adequada (Diefenthaler and Vaz, 2008)

As competições de meia-maratonas também tem componentes extenuantes, pelo fato de demandas prolongadas de execução, elevada intensidade do exercício e alta demanda de ações musculares excêntricas (Bird, Linden, & Hawley, 2014). É comum a ocorrência de DMIT em membros inferiores (Burnett, Smith, Smeltzer, Young, & Burns, 2010). A presença de DMIT nos membros inferiores durante a corrida em declive em intensidades correspondentes a 70, 80 e 90 % do VO<sub>2</sub> máximo, resultou em maiores ADM de tornozelo e joelho no plano sagital, além de afetar negativamente a economia de movimento em intensidades maiores de VO<sub>2</sub> avaliadas pós 48 h e

120 h (T. C. Chen, Nosaka, Lin, Chen, & Wu, 2009). Em 48 h após um protocolo de repetições excêntricas até a falha em extensores do joelho, na cinemática do plano sagital houve redução na ADM para a flexão do joelho (Paquette, Peel, Schilling, Melcher, & Bloomer, 2017). No contato inicial do pé, os corredores precisam lidar com a força de reação do solo, que pode se caracterizar como uma força de impacto produzindo uma onda de choque transmitida ao longo do corpo. Essas forças são também percebidas por receptores sensoriais nos diferentes tecidos moles, informando o sistema nervoso central e auxiliando na geração de ajustes motores para melhor dissipação das forças (Nigg and Wakeling, 2001).

Movimentos em diferentes planos e aspectos de coordenação são afetados pela DMIT. Após 48 h de completar exercícios em protocolo de saltos até a exaustão, foram observados aumentos na pré-ativação do músculo quadríceps afim de compensar a tolerância ao impacto, maior rigidez e menor flexão do joelho na fase de apoio durante a corrida em esteira (Morio, Nicol, Barla, Barthelemy, & Berton, 2012). Esse resultado é relevante, porque no plano sagital muitos estudos indicam redução da ADM (Paschalis, et al., 2007; Sheerin, et al., 2019; Tsatalas, et al., 2010) e além disso, movimentos em outros planos podem ter comportamentos diferentes, como por exemplo, maior instabilidade do quadril como ocorre em um aumento do movimento de drop pélvico (Zeitoune et al., 2020) e menor capacidade de produzir força (Heiss, et al., 2019).

Parece bastante definido que a fadiga exerce efeitos associados com dano muscular e DMIT que influenciam características da cinemática da corrida, tais como as amplitudes dos movimentos. Contudo, não parece claro qual o efeito dessa condição de DMIT induzida pela fadiga sobre o mesmo movimento cíclico de uma corrida prolongada. Em nosso estudo, o interesse foi investigar as características cinemáticas relacionadas com a técnica de corrida após uma meia-maratona em ritmo de competição. Com o pressuposto que corredores utilizam a estratégia de treinos de recuperação ativa, com uma corrida de menor intensidade e baixa duração após a competição. Nessa condição e com presença de DMIT, poderia a cinemática de corrida ser alterada? Se existem alterações, elas se apresentariam a ponto de ilustrar um

desvio na técnica de execução ou fatores de risco de lesão? Quais perspectivas direcionam a um melhor planejamento dos treinos?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar se existem efeitos tardios de uma competição simulada de meia-maratona sobre a cinemática 3D da corrida.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a cinemática tridimensional de corredores pré e pós correr uma meia-maratona.
- Determinar a magnitude de dor muscular de início tardio depois de correr uma meia-maratona.
- Investigar se há relação e/ou dependência entre mudanças na cinemática de corrida e desempenho na meia-maratona.
- Quantificar assimetrias em parâmetros cinemáticos pré e pós correr uma meia-maratona.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

O estudo da técnica de corrida é importante, pois além da corrida ser um esporte popular, os praticantes sofrem pela incidência de lesões (Francis, Whatman, Sheerin, Hume, & Johnson, 2019). Embora muitas lesões sejam de origem multifatorial e resultado da prática crônica (Ferber and Macdonald, 2014), algumas lesões podem acontecer por alterações agudas na técnica, o que neste estudo hipotetizamos que possa acontecer em função da fadiga e dor muscular de início tardio resultante de uma competição simulada.

Especialmente no esporte amador, estratégias de recuperação que tenham baixo custo são comuns. Além disso, muitos corredores não possuem orientação ou acompanhamento de um professor de educação física que atue como treinador (Boullosa et al., 2020). Sendo assim, a vivência prática com o

esporte permite afirmar que muitos corredores assumem a estratégia de uma sessão de corrida mais curta como forma de auxiliar na recuperação pós-exercício. Realizar um exercício na fase aguda após um evento que tenha causado fadiga é de fato uma boa estratégia de recuperação (Hwang, Moon, Heine, & Yang, 2022). Diferentes formas de intervenção de baixa intensidade como caminhar (Akinci, Zenginler Yazgan, & Altinoluk, 2020), pedalar (de Azevedo Franke, et al., 2021) ou nadar (Takahashi, Ishihara, & Aoki, 2006) apresentam efeitos benéficos ao retorno das atividades. A recuperação ativa, em comparação com técnicas passivas, possui muitas vantagens fisiológicas, como um restabelecimento mais rápido da frequência cardíaca, menos dor muscular e redução de subprodutos metabólicos (Crowther, Sealey, Crowe, Edwards, & Halson, 2017). No entanto, não é claro quais alterações acontecem na técnica de execução do gesto esportivo.

Uma avaliação cinemática tridimensional possibilita diagnosticar alterações nas características de movimento e identificar desvios nas características do gesto motor que possam também ilustrar fatores de risco de lesão (Merriault, Dupuis, Boutteau, Vasseur, & Savatier, 2017). Dessa forma, conhecer as adaptações pós exercício e na fase aguda de recuperação, considerando a cinemática da corrida, é importante para prover informações que tenham aplicação prática para treinadores e que auxiliem na tomada de decisões, buscando a prevenção de lesões e melhora de aspectos funcionais da prática.

Conforme já citado e embora existam contribuições sobre aspectos fisiológicos (Morawetz et al., 2020; Tokinoya et al., 2020), é necessário mapear os efeitos tardios e não apenas a descrição de efeitos ao longo da corrida e técnica de execução. As investigações não retratam um eventual contexto após uma sessão extenuante de forma clara e os efeitos na continuidade do treinamento nas valências técnicas, quando os corredores carecem de suporte.

#### 1.4 HIPÓTESE

Após a realização de uma corrida prolongada competitiva, corredores apresentarão adaptações tardias na cinemática da corrida refletidas no padrão de movimento (redução de amplitudes de movimento no plano sagital,

aumentos de movimentos em outros planos, menor comprimento de passada e alteração nas relações angulares entre as articulações do membro inferior que influenciam a absorção de impacto) e por consequência, podem indicar efeitos negativos sobre a técnica de corrida.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção apresenta uma revisão narrativa de artigos selecionados a partir da base MEDLINE e usando a ferramenta de busca PUBMED. Foram buscados artigos a partir da combinação das palavras chaves: meia-maratona, dor muscular de início tardio, dano muscular, corrida regenerativa, corrida em esteira e cinemática da corrida. A pesquisa foi realizada entre o período de janeiro de 2021 e dezembro 2022. Foram considerados artigos que incluíssem estudos com seres humanos, sendo priorizados artigos originais publicados em periódicos nos últimos 5 anos. Quando relevante, outros estudos citados nas listas de referências foram incluídos com o objetivo de permitir apresentar um estado da arte sobre algumas das variáveis de maior interesse para nosso estudo e também para inclusão de algumas referências publicadas fora do período estipulado, mas que são obras de reconhecida importância.

### 2.1 CINEMÁTICA DA CORRIDA

A cinemática da corrida permite investigar aspectos relacionados tanto com o desempenho, quanto a fatores de risco para lesão (T.L. Chen, 2022; Ferber, 2014). Em provas de fundo os atletas de elite correm com velocidade média de 20 km/h e cadência de aproximadamente 180 passos por minuto (Lieberman, Warrener, Wang, & Castillo, 2015). Em geral, os movimentos da corrida realizados com maior amplitude de movimento no plano sagital são mais associados com desempenho, por resultarem em progressão à frente, ao passo que movimentos em planos não sagitais são discutidos muito mais em termos de suas associações com sobrecargas articulares e riscos de lesão (de David, Carpes, & Stefanyshyn, 2015).

As características cinemáticas também influenciam a economia de corrida, que é maior nos corredores de longa distância, devido a melhor aproveitamento de ações musculares excêntricas, utilização de energia elástica e membros inferiores mais rígidos (Li, Newton, Shi, Sutton, & Ding, 2021). A análise 3D de corredores permite observar que o aumento da velocidade acarreta mudanças nos momentos articulares de joelho e tornozelo nos planos sagital e frontal (de David, et al., 2015).



A cinemática das diferentes articulações, especialmente dos membros inferiores, é considerada um importante componente do estudo da técnica e prevenção de lesões. A mecânica da articulação do joelho no plano frontal, por exemplo, é considerada fator chave na avaliação de atletas com dor patelofemoral (Sakaguchi, Shimizu, Yanai, Stefanyshyn, & Kawakami, 2015). Com estatísticas indicando maior prevalência de dores e lesões em mulheres do que em homens, diferenças entre os sexos, na cinemática do quadril nos planos frontal e transversal, também são destacadas na avaliação tridimensional de corredores (Almonroeder and Benson, 2017).

Contudo, precisamos considerar que existem mudanças angulares que são resultado da tentativa de adaptação, como o comprimento do passo e passada. Corredores podem alterar o comprimento do passo, combinado com mudanças na frequência de passadas, para diminuir o impacto durante a corrida (Heiderscheit, Chumanov, Michalski, Wille, & Ryan, 2011). Essa estratégia parece ser efetiva durante uma corrida prolongada de meia-maratona (Garcia-Perez, Perez-Soriano, Llana Belloch, Lucas-Cuevas, & Sanchez-Zuriaga, 2014).

Para a análise do movimento os sistemas 3D que quantificam a posição espacial dos segmentos são considerados as ferramentas de melhor validade (Olson, Chebny, Willson, Kernozek, & Straker, 2011; Sorenson, Kernozek, Willson, Ragan, & Hove, 2015). Alternativas empregando medidas bidimensionais podem ser encontradas na literatura, com algumas limitações importantes, considerando a articulação alvo na análise (Maykut, Taylor-Haas, Paterno, DiCesare, & Ford, 2015; Reinking et al., 2018).

## 2.2 EFEITOS AGUDOS DA CORRIDA PROLONGADA NA CINEMÁTICA DE CORREDORES

A corrida prolongada nas distâncias de meia-maratona (21.097,5 m) ou maratona (42.195,00 m) parece alterar de forma aguda diferentes componentes biomecânicos. Em avaliações com a pressão plantar foi evidenciado o aumento da carga sob as regiões do metatarso, na análise da cinética com aumento na força de reação do solo e aumento na aceleração de impacto, enquanto na cinemática de corredores ocorrem aumentos na frequência do passo e

passada, redução na amplitude de passada e tempo de voo (Kim, Mirjalili, & Fernandez, 2018). Contudo, a sobrecarga articular em corredoras, identificada através da avaliação tridimensional, pode ser causada por um aumento do ângulo do valgo dinâmico do joelho, onde a adução do quadril foi correlacionada com a eversão do tornozelo durante a corrida em esteira (Zeitoune, et al., 2020).

Ao passo que também pode estar relacionado com o processo de fadiga induzida em corridas de longas distâncias. Foi observado em corrida contrarrelógio com duração de 1 hora, redução da rigidez da perna, aumento da variabilidade do passo, aumento do tempo de contato e redução no tempo de voo durante o ciclo da corrida (Garcia-Pinillos et al., 2020). Ao longo de uma corrida de 10 km em intensidade submáxima ao comparar os períodos inicial e final declínios no controle neuromuscular em corredores recreacionais e amadores foram identificados no plano frontal como aumentos angulares na adução do quadril, abdução do joelho e eversão do tornozelo (Willwacher, Sanno, & Bruggemann, 2020).

Em relação ao impacto, parâmetros de aceleração mensurados na tibia aumentam ao longo de uma corrida mantida em alta intensidade, correspondente ao limiar de lactato, por 20 minutos, enquanto a cinemática da articulação do quadril e joelho não tiveram mudanças significativas (Reenalda, Maartens, Burke, & Gruber, 2019). Esse comportamento particular das forças de impacto e a cinemática possivelmente afetam a atenuação de choque por mecanismos mais passivos, compensando parte da carga sendo absorvida por diferentes musculaturas.

Os efeitos da corrida prolongada sobre a cinemática de corredores são variáveis e a experiência dos corredores e o nível de treinamento ao longo do tempo pode influenciar o desempenho dos corredores. Quando ângulos articulares foram registrados em corredores experientes e iniciantes, no início e no final de uma corrida até exaustão, ambos os grupos mostraram aumento no pico de inclinação anterior pélvica e na amplitude de movimento de rotação pélvica, registrados na fase de contato com o solo. Os corredores iniciantes ainda apresentaram maior inclinação do tronco e maior flexão plantar do tornozelo durante a fase de balanço (Maas, De Bie, Vanfleteren, Hoogkamer, & Vanwanseele, 2018).

No decorrer de uma corrida prolongada em esteira, mudanças podem ser causadas e diferentes estratégias são adotadas para a absorção da carga de impacto (Weir, et al., 2020). Há mudanças na mecânica de aterrissagem do pé que podem desencadear efeitos na cinemática de outras articulações como joelho e quadril, e provocar maior inclinação do tronco, aumentando as ações musculares excêntricas, mais evidentes em flexores plantares devido à maior inclinação da tibia para a frenagem e desaceleração da carga, com maior tempo de contato do pé com o solo (Jewell, Boyer, & Hamill, 2017).

O aumento da frequência de passada e diminuição do comprimento de passada resultou na modificação da magnitude de oscilação vertical do centro de massa, magnitude da força de reação do solo, atenuação de choque e capacidade de absorver a carga nas articulações do quadril, joelho e tornozelo (Schubert, Kempf, & Heiderscheit, 2014). Além disso, em uma corrida de 10 km parece ocorrer uma diminuição na eficiência mecânica associada com aumento da assimetria no deslocamento do centro de massa (Melo et al., 2020). Em condições mais severas poderiam ocorrer alterações mais agudas na técnica de corrida. No entanto, é difícil identificar os instantes da ocorrência dos ajustes. Corredores ao competir em corrida prolongada e esforço submáximo, em avaliação na esteira apresentaram ao final da corrida aumentos angulares em eversores do tornozelo e rotações internas de tibia e joelho (Dierks, Davis, & Hamill, 2010).

Os estudos discutidos permitem ter uma ideia geral das principais adaptações cinemáticas e cinéticas que ocorrem durante uma corrida prolongada. As adaptações observadas podem estar associadas a condições de dor muscular tardia, mas isso não foi abordado pelos estudos. Ainda que esses estudos indicando mudança em características da cinemática, na magnitude das forças envolvidas, mudanças na forma como ações musculares excêntricas são requeridas sugeriram que o esforço prolongado resulte em dor tardia, potenciais efeitos tardios não foram investigados. Estes estudos não permitem estimar se os efeitos observados durante a instalação da fadiga em uma competição são similares e podem influenciar o desempenho em sessões futuras de exercício.

### 2.3 EFEITOS TARDIOS DA CORRIDA PROLONGADA NA CINEMÁTICA DE CORREDORES

Um efeito tardio da corrida prolongada pode ser a presença de dor muscular de início tardio (DMIT), que ocorre principalmente de 12 a 48 h após o exercício (Bird, et al., 2014). Durante corridas longas em esforço prolongado, acontecem micro lesões nas fibras musculares e os processos inflamatórios são instaurados associados com presença de dor, e aumentos ocorrem na atividade da CK, evidência amplamente aceita como marcador indireto de dano muscular (Tojima, Noma, & Torii, 2016). Estudos prévios mostram que a DMIT não necessariamente incapacita, mas pode comprometer a produção de movimentos, por diminuir a capacidade de produção de força (Collins, et al., 2018), reduzir amplitudes de movimento (T. C. Chen, et al., 2009), aumentar a rigidez muscular e articular (Weir, et al., 2020).

Há contínuo interesse em entender como os efeitos de DMIT podem ser minimizados e/ou otimizados no processo de recuperação do indivíduo. A cinemática da corrida avaliada após 24 h e 48 h teve comportamento alterado após indução de dano muscular em extensores de joelho através de repetições de ações musculares excêntricas até a falha com menor flexão do joelho (Paquette, et al., 2017). Expor os atletas a um terreno em declive em esteira pode gerar DMIT, nos dias seguintes de 24 h à 72 h, foi identificado redução na força isométrica dos extensores do joelho, aumento na atividade de CK e consumo de oxigênio (T. C. Chen, Nosaka, & Tu, 2007). Os efeitos no consumo de oxigênio também afetam a economia de movimento, diminuída em condições de DMIT (T. C. Chen, et al., 2007).

A DMIT também pode repercutir de maneira diferente sobre a cinemática das articulações e de acordo com a intensidade do esforço. A DMIT afeta musculaturas importantes recrutadas durante a corrida, tanto para a flexão quanto na extensão de articulações do quadril, joelho e tornozelo. Em mulheres treinadas 24 h após exercício repetitivo de subir e descer degraus a dorsiflexão de tornozelo foi maior durante a corrida em alta intensidade. Já em intensidades moderadas a fortes, a amplitude de flexão do joelho foi menor (Satkunskiene, Stasiulis, Zaicenkoviene, Sakalauskaite, & Rauktys, 2015). Ainda a magnitude dos efeitos da DMIT sobre variáveis relacionadas com a

técnica e desempenho de corrida pode depender do nível técnico do corredor (Tsatalas, et al., 2013).

Embora os efeitos tardios de um exercício para a indução de DMIT sejam abordados, notamos que a maioria dos estudos induz DMIT de uma forma, mas avalia os efeitos de outra. Muitas vezes a indução é para uma musculatura específica com protocolos que não envolvem o movimento da corrida e os efeitos são avaliados durante a corrida. Apesar das informações, esse tipo de abordagem, em nossa análise, apresenta uma limitação considerável, pois são condições em que existem diferenças na ativação muscular, nível de força requerida, amplitudes, velocidade de execução, coordenação, sinergias musculares e até mesmo podem afetar a técnica natural de execução do movimento.

## 2.4 ANÁLISE CRÍTICA DA LITERATURA

É notável o crescimento no número de pesquisas relacionadas ao desempenho e performance de corredores. Todavia, nem todas descrevem ou retratam o ambiente da realidade em que a prática acontece. Em suma, a maioria dos estudos revisados sobre uma condição de indução à dor muscular de início tardio e seus efeitos na corrida denotam modificações fisiológicas e bioquímicas em detrimento do exercício físico. Essas características são importantes, mas são resultantes de adaptações e utilizadas para monitorar a recuperação da homeostase fisiológica. Não é claro se existe uma “homeostase” também para parâmetros biomecânicos. Para investigar isto, é necessário conhecer mais sobre os efeitos tardios do exercício sobre a técnica de execução da corrida. Consideramos que isso pode começar a ser mais bem compreendido com um estudo exploratório sobre a cinemática da corrida. Esse tipo de informação é capaz de auxiliar na prescrição do treinamento, na seleção e implementação de estratégias de recuperação pós-exercício.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 PARTICIPANTES**

Foram avaliados corredores homens e mulheres com experiência competitiva. O grupo de participantes foi formado por conveniência a partir do contato direto com clubes de corrida na comunidade. Todos os participantes assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido (apêndice A) antes de iniciar as avaliações. Para participação no estudo os corredores deveriam ter idade entre 20 e 50 anos, treinar regularmente há pelo menos um ano, com frequência semanal de pelo menos três vezes na semana, ter completado ao menos uma meia-maratona no último ano com tempo de conclusão entre 1 h 20 min e 2 h 20 min, não ter experimentado quadro recente de DMIT pela corrida nos membros inferiores e não possuir lesão que pudesse prejudicar o desempenho da corrida. Todos os participantes recrutados concluíram as etapas da pesquisa, não sendo necessária a exclusão de participantes que não completassem algum teste ou que desistissem de forma voluntária. Este estudo foi aprovado pelo comitê de ética da instituição (CAAE 76274117.4.0000.5323).

#### **3.2 DESENHO EXPERIMENTAL**

A figura 1 ilustra o desenho experimental do estudo. A participação envolveu três dias. Na avaliação pré (72 horas antes da meia-maratona) os participantes foram ao Laboratório de Neuromecânica da Universidade Federal do Pampa onde responderam uma anamnese (apêndice B), realizada em questionário impresso incluindo questões sobre a prática de corrida e rotina de treinamento. Logo após foram submetidos a avaliação antropométrica, avaliação da dor e avaliação cinemática tridimensional da corrida em esteira. Com base nas avaliações prévias foram então convidados para participar do desafio contrarrelógio de cumprir a distância de uma meia-maratona. Na avaliação pós (48 horas seguintes à meia-maratona), cada participante retornou ao laboratório para ser reavaliado.

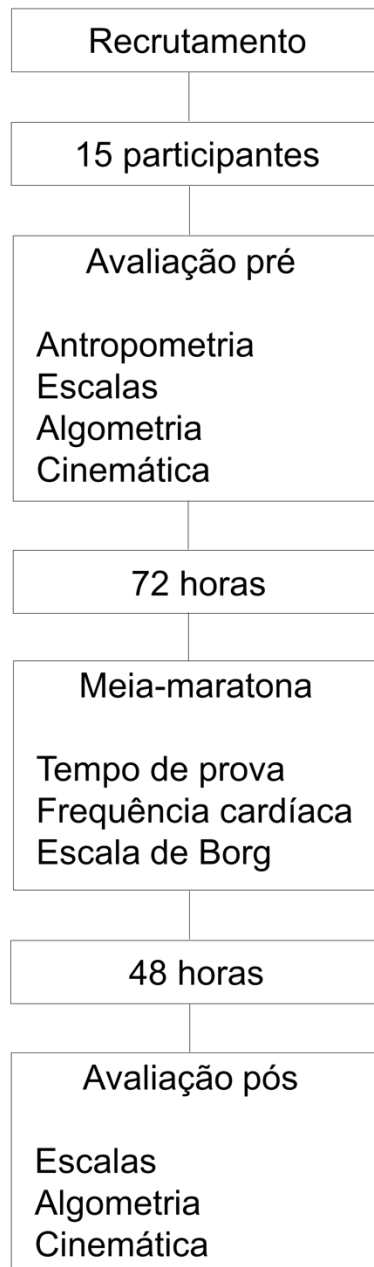


Figura 1. Desenho experimental.

### 3.3 AVALIAÇÃO ANTROPOMÉTRICA

Na avaliação antropométrica foram aferidas a massa corporal, a estatura e medidas corporais necessárias na reconstrução de movimentos no sistema tridimensional, tais como distância entre as espinhas ilíacas anteriores, diâmetro articular de tornozelo (distância em mm entre maléolo medial e lateral), diâmetro articular de joelho (distância em mm entre côndilo medial e lateral) e comprimento do membro inferior (distância entre a espinha ilíaca anterossuperior e o maléolo medial). Para as medidas de massa corporal e estatura foi utilizado uma balança mecânica com estadiômetro (Welmy), enquanto as medidas de diâmetros ósseos e articulares foram feitas com uso de um paquímetro (Cescorf).

### 3.4 AVALIAÇÃO DA DOR

A dor muscular de início tardio (DMIT) foi quantificada de duas formas. Inicialmente foi avaliada a dor percebida pelo participante usando uma escala visual numérica de 10 pontos, onde o valor de 0, na extremidade esquerda, representava a ausência de dor e o valor de 10, na extremidade direita, representava a pior experiência de dor (anexo A). Para a avaliação da dor percebida os corredores foram posicionados em decúbito dorsal, sendo solicitado que mantivessem os músculos relaxados. O participante era questionado sobre a sensação de dor percebida como um todo (Corder, Newsham, McDaniel, Ezekiel, & Weiss, 2016).

Logo após, a DMIT também foi avaliada pelo limiar de dor por pressão, considerando respostas ao estímulo de pressão mecânica (Kelly-Martin, Doughty, Garkavi, & Wasserman, 2018) nas regiões medial do músculo vasto lateral esquerdo e na porção média do músculo deltoide do membro superior esquerdo. Para definir o ponto de avaliação da dor no quadríceps foi medida a distância entre a espinha ilíaca anterossuperior e a borda superior da patela, registrado com marcador semipermanente o ponto medial do músculo vasto lateral (Blazevich, Gill, & Zhou, 2006). A região do deltoide não exercitada, serviu como uma medida de controle de identificação da sensibilidade da dor.



O limiar de dor por pressão foi verificado com o participante posicionado em decúbito dorsal em uma maca, sendo solicitado que mantivesse a musculatura relaxada enquanto o avaliador pressionava lentamente os pontos de medida com um algômetro digital (Instrutherm – Dinamômetro digital portátil - modelo DD-200), com resolução de 0,05 N e equipado com uma ponteira do tipo ponta chata. O algômetro foi posicionado perpendicularmente à superfície da pele e pressionado apenas uma vez sobre a pele (Koo, Guo, & Brown, 2013). O participante foi previamente instruído a avisar o avaliador quando a sensação de pressão deixasse de ser desconfortável e comece a ser dolorosa, quando então a pressão aplicada, em N/cm<sup>2</sup>, foi registrada.

### 3.5 AVALIAÇÃO CINEMÁTICA TRIDIMENSIONAL

Durante a avaliação cinemática foi utilizado um sistema tridimensional de análise de movimentos (Vicon Motion Systems, Oxford, Reino Unido) com 15 câmeras infravermelho (Bonita B10) e taxa de amostragem de 200 Hz registrando dados de posição com o software Nexus 2.1.2. O sistema foi configurado e calibrado para emprego do modelo *Plug-in Gait Full Body* adaptado (anexo B). Os corredores foram orientados a usar roupas leves e confortáveis, de preferência justas e sem material que pudesse causar reflexão da luz infravermelha das câmeras, também foram instruídos quanto a utilizar o mesmo calçado que seria utilizado na meia-maratona e repetidos na avaliação pós 48 h. Foram posicionados 23 marcadores reflexivos no corpo do participante, bilateralmente, nos seguintes locais: espinha ilíaca anterossuperior, na espinha ilíaca póstero-superior, na parte lateral do fêmur, no epicôndilo lateral do joelho, na parte lateral e frontal superior da tibia, no maléolo lateral, na cabeça do segundo metatarso e no calcâneo; unilateralmente na vértebra C7, na vértebra T10, na junção das clavículas, no processo xifoide do esterno e na escápula direita. Os marcadores posicionados bilateralmente na parte lateral do fêmur e da tibia serviram para identificar os lados direito e esquerdo do corpo, sendo o marcador do lado direito posicionado em um nível superior ao lado esquerdo. A partir dos dados de posição obtidos com a análise cinemática, foi determinada a frequência de

passadas, o comprimento de passo e os ângulos articulares nos planos sagital, frontal e transversal para o tronco e as articulações do quadril, joelho e tornozelo. Medidas angulares no instante do contato inicial do pé com o solo, e a amplitude de movimento durante a execução do ciclo de passada também foram determinados. Os dados de posição foram submetidos a um filtro Butterworth passa baixa de quarta ordem com frequência de 6 Hz. Os dados cinemáticos foram pré-processados com o software Vicon Nexus para capturar toda a fase de caminhada, processar quaisquer pontos de marcação ausentes e eliminar quaisquer pontos de marcação imprecisos ou mesmo duplicados.

A avaliação da cinemática da corrida foi feita em uma esteira motorizada (Gait Trainer, BIODEX, USA) e configurada com 1% de inclinação para simular a resistência encontrada na rua (Seki, Kyrolainen, Sugimoto, & Enomoto, 2020). Os corredores tiveram um período de aquecimento de 5 minutos caminhando na esteira e logo após a velocidade alvo para a corrida foi administrada e sustentada por 15 minutos, onde ocorreram as gravações dos dados cinemáticos durante 30 segundos no minuto 1, 5, 10 e 15 da corrida e levamos em conta a média das gravações feitas nos minutos 5, 10 e 15. Consideramos o ciclo de 20 passadas consecutivas nas análises cinemáticas, onde é observado em um intervalo de 95% de confiança que os valores no contato inicial são mais estáveis (Riazati, Caplan, & Hayes, 2019). A velocidade foi correspondente a 60 % da mediana do melhor tempo obtido pelos atletas até o momento na distância de meia-maratona. Durante a corrida na esteira, os participantes tiveram o monitoramento da percepção de esforço (Anexo C), verificada logo após o instante em que a gravação dos dados cinemáticos foi feita, ou seja, nos minutos 1, 5, 10 e 15 em conjunto do registro da frequência cardíaca relatado pelos participantes que esteve monitorada durante todo o protocolo na esteira.

Para extração das variáveis cinemáticas e temporais foram identificados os pontos de contato inicial do calcanhar e de saída dos dedos, através, respectivamente, do marcador do maléolo lateral e segundo metatarso. O contato inicial foi definido como o ponto em que a velocidade vertical do marcador do calcanhar alcançou valores menores que 5% dos valores máximos para cada teste. A saída dos dedos foi definida como o ponto em que a velocidade vertical do marcador do segundo metatarso assumiu valores

maiores que 5% do valor máximo para cada teste. A passada foi então definida como o intervalo entre os contatos iniciais em cada membro. A fase de apoio foi definida como o período entre o contato inicial e a próxima saída dos dedos (figura 2).

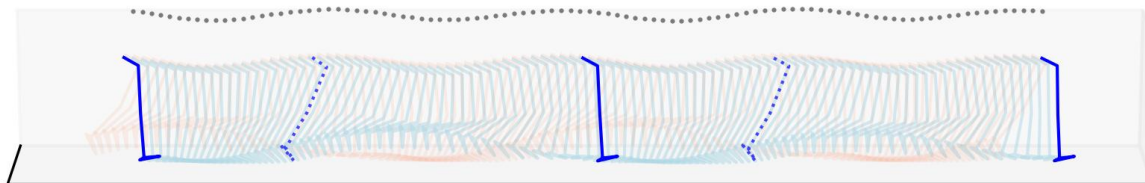


Figura 2 – Representação da identificação do contato inicial (linha azul sólida) e da saída dos dedos (linha azul pontilhada) do membro preferido (em azul semitransparente). O membro não preferido (linha vermelho semitransparente) e o marcador em C7 (ponto cinza) estão representados na figura para contextualização. Os membros inferiores estão representados pelos marcadores posicionados no membro inferior e nas cristas ilíacas anteriores e posteriores.

### 3.6 COMPETIÇÃO SIMULADA DE MEIA-MARATONA

A meia-maratona contrarrelógio teve a distância total de 21.095 metros. O trajeto planejado foi em terreno aberto com ganho total de elevação de 73 m, conforme ilustra o mapa do trajeto (Figura 3). A corrida foi monitorada por meio de um relógio com sistema GPS que registrou a frequência cardíaca, distância, tempo de prova, velocidade e posição espacial gravados a cada segundo (Forerunner 235, Garmin Inc., EUA). Essas informações foram utilizadas para caracterizar o desempenho dos corredores na simulação da competição contrarrelógio.

Os corredores foram orientados a realizar a meia-maratona de forma individual e buscando obter o seu melhor tempo pessoal. O horário de início da corrida foi o mais semelhante possível para todos os participantes, preferencialmente no turno da manhã, para evitar efeitos de temperatura extremas sobre o desempenho. Os dados de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento dos dias das corridas foram registradas de acordo com o instituto nacional de meteorologia (<https://portal.inmet.gov.br/>). Os corredores tiveram o acompanhamento de um mesmo avaliador para monitorar a percepção de esforço usando a escala (Borg, 1982) relatada verbalmente nos quilômetros 1, 5, 10, 15 e 21. O avaliador também forneceu apoio com aporte de água quando solicitado, *ad libitum*, acompanhando o participante de

bicicleta, sempre posicionado cerca de pelo menos 3 metros atrás do atleta para não exercer influência sobre o ritmo ou a própria experiência da prática da corrida e sem estímulos verbais sobre o desempenho.

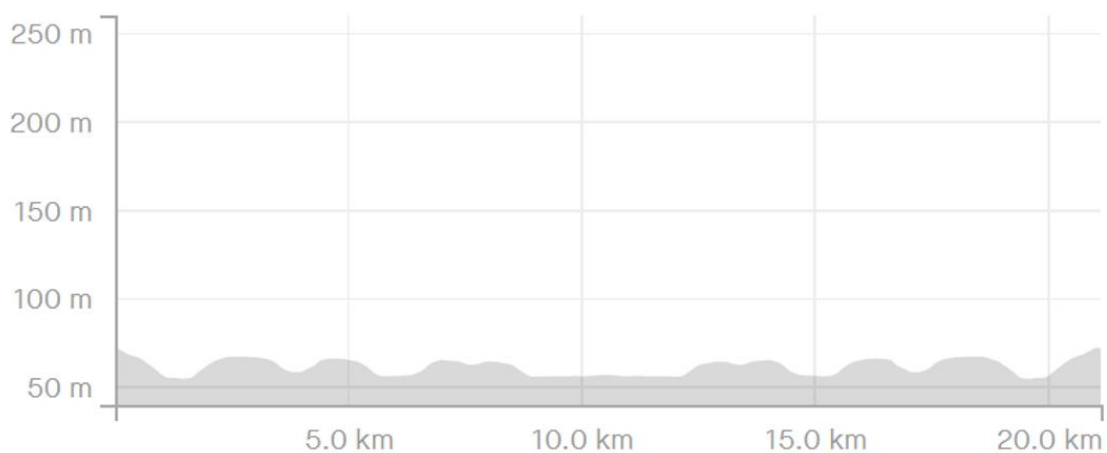
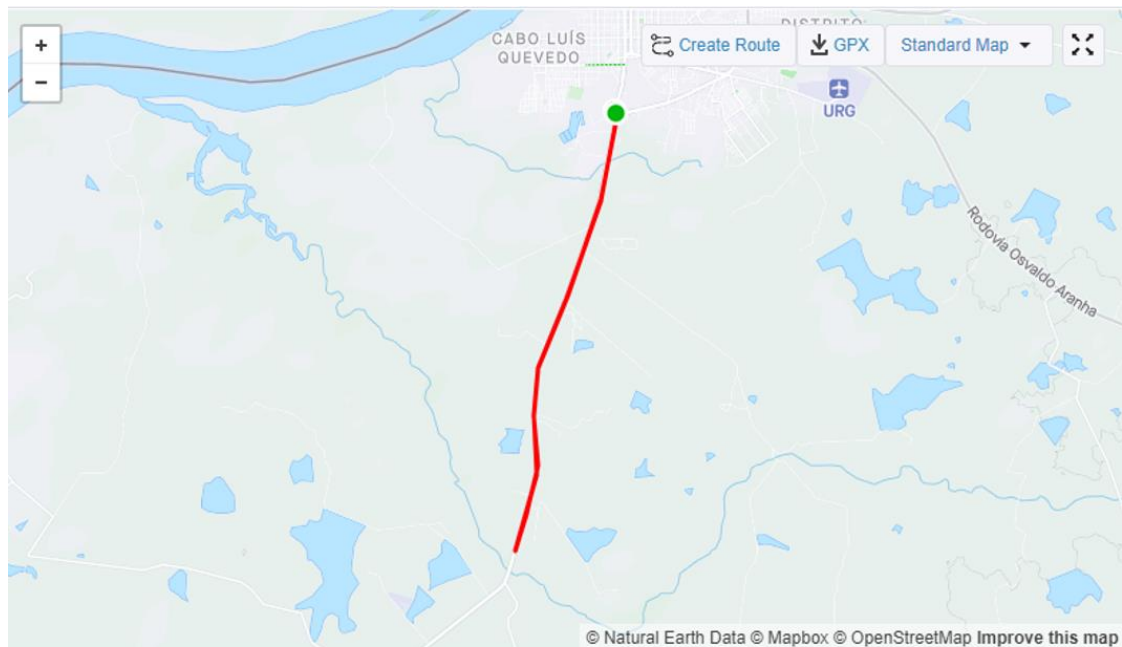


Figura 3. Detalhamento do percurso da meia-maratona. Na parte superior, a região em que a distância de uma meia-maratona foi percorrida. Na parte inferior, a variação de elevação (em metros) ao longo da corrida.

### 3.7 AVALIAÇÃO DO ESTADO DE RECUPERAÇÃO

No laboratório a escala foi apresentada no dia pré meia-maratona, para familiarização e no período após às 48 h de competição simulada, os corredores responderam a uma escala de recuperação percebida (Laurent et

al., 2011) (Anexo D). Os corredores receberam instruções padronizadas para interpretação da escala com a verbalização da leitura sobre os pontos presentes, considerando que 0 indicava não recuperado, 5 moderadamente recuperado, e 10 totalmente recuperado.

### 3.8 VARIÁVEIS DE INTERESSE

As variáveis do estudo são classificadas como teóricas e operacionais com base em Volpato (Volpato, 2007). Na tabela 1 descrevemos os conjuntos de variáveis que nossos experimentos permitiram quantificar.

Tabela 1. Variáveis teóricas e operacionais.

Variável teórica	Variável operacional
Caracterização dos corredores	Sexo
	Idade
	Massa corporal
	Estatura
	Tempo de experiência com corrida
	Melhor tempo prévio em meia-maratona.
Técnica de corrida	Ângulos articulares nos planos sagital, frontal e transversal.
	Comprimento de passada
	Largura do passo
	Frequência de passada
Intensidade de corrida	Velocidade média de corrida
	Frequência cardíaca
	Pontuação na escala de Borg.
Dor muscular tardia	Pontuação na Escala Visual Numérica (NRS),
	Limiar de dor por pressão (N/cm <sup>2</sup> )
Recuperação pós exercício	Pontuação na Escala de Recuperação Percebida (ERP)

kg: quilogramas; cm: centímetros; m: metros; ms: milissegundos; N: Newton; bpm: batimentos por minuto.

### 3.9 PROCESSAMENTO DE DADOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA

A distribuição dos dados foi avaliada através do teste de Shapiro-Wilk. As variáveis de caracterização do desempenho na distância da meia-maratona apresentaram distribuição normal. A frequência cardíaca e a percepção de esforço foram comparadas ao longo dos quilômetros 1, 5, 10, 15 e 21 com uma análise de variância para medidas repetidas com post-hoc de Tukey.

Dentre os dados cinemáticos, tivemos os dados temporais e boa parte dos dados angulares demonstrando distribuição não-paramétrica. Os dados cinemáticos estão apresentados como mediana [intervalo interquartilico]. O efeito do fator dia (pré e pós meia-maratona) e membro inferior (preferido e não-preferido) foram analisados através de análise de variância para medidas repetidas de dois fatores, tendo em vista a robustez da técnica frente a dados com distribuição não-normal (Blanca, Alarcon, Arnau, Bono, & Bendayan, 2017; Schmider, Ziegler, Danay, Beyer, & Bühner, 2010). Quando necessário, análises *post-hoc* foram conduzidas através de testes de Wilcoxon, sempre com correção de Bonferroni para comparações múltiplas.

O comportamento angular em cada articulação e eixo foi avaliado através de análise de variância para medidas repetidas de dois fatores, utilizando os mesmos fatores e critérios descritos anteriormente, e aplicada através de mapeamento estatístico paramétrico, do original em inglês *statistic parametric mapping* (Pataky, 2010). Eventuais análises post-hoc foram realizadas através de testes não-paramétricos de permutação adequados para análise de sinais (Nichols and Holmes, 2002) com correção de Bonferroni para comparações múltiplas.

O valor *alpha* foi definido como 5% para todas as análises estatísticas. Os procedimentos de análise dos dados e a confecção das figuras dos resultados foram feitos em rotinas especialmente desenvolvidas para o projeto em linguagem Python 3.0 e também usando uma aplicação para análises estatísticas e confecção de gráficos (Prisma, GraphPad Software, Inc., San Diego, CA).

## **4. RESULTADOS**

### **4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PARTICIPANTES**

Participaram deste estudo corredores do sexo masculino e feminino. Os 15 participantes que completaram todas as fases do estudo têm suas principais características apresentadas na tabela 2.

A idade dos corredores variou de 22 a 50 anos, sendo todos homogêneos em termos de massa corporal e estatura. Não incluímos o sexo como um fator em nossas análises.

Todos os participantes relataram ter experiência competitiva e reportaram marcas competitivas nas distâncias de 5, 10 e 21 km. Contudo, cabe mencionar que as corredoras relataram menor tempo de experiência competitiva do que a maioria dos corredores homens. A experiência prévia foi um importante critério de inclusão para o estudo e notamos que houve uma homogeneidade nos tempos entre os diferentes atletas.

Tabela 2. Características dos corredores e corredoras.

Participantes	Sexo	Idade	Estatura (cm)	Massa corporal (kg)	Experiência (anos)	Melhores tempos (h:min:s)		
						5 km	10 km	21 km
1	Masculino	30	173	68,6	2	00:19:04	0:39:22	01:33:00
2	Feminino	31	164	54,5	8	00:23:30	00:49:40	01:52:17
3	Masculino	22	163	63	3	00:20:00	00:43:12	01:39:02
4	Feminino	43	158	53,1	7	00:23:50	00:50:00	01:46:49
5	Feminino	43	165	56,7	14	00:25:00	00:49:00	01:50:00
6	Masculino	48	167	66,5	18	00:19:00	00:39:30	01:30:00
7	Masculino	39	166	67,3	5	00:17:45	00:38:00	01:21:03
8	Masculino	34	172	68,9	20	00:15:53	00:32:20	01:14:53
9	Masculino	39	176	80,4	3	00:19:09	00:41:00	01:29:00
10	Feminino	32	173	55	1	00:26:00	00:57:00	02:20:00
11	Masculino	24	169	83,4	3	00:21:00	00:45:00	01:44:03
12	Masculino	50	171	68,5	11	00:25:00	00:50:00	01:45:00
13	Masculino	47	165	56,2	20	00:16:30	00:33:20	01:11:00
14	Masculino	34	171	70	4	00:20:59	00:39:50	01:43:10
15	Masculino	23	176	72,8	2	00:17:30	00:36:50	01:23:00
	Média	36	169	65,7	8,1	00:20:41	00:42:56	01:37:29
	DP	9	5	9,3	6,8	00:03:17	00:07:01	00:17:25
	CV (%)	25	3	14	85	16	16	18

cm: centímetros; kg: quilogramas; h: hora; min: minutos; s: segundos; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação.



## 4.2 DESCRIÇÃO DA COMPETIÇÃO SIMULADA DE MEIA-MARATONA

Durante a meia-maratona foram monitorados alguns marcadores de desempenho e que permitiram caracterizar o esforço realizado. O objetivo da simulação de competição foi fazer com que os participantes alcançassem seu melhor desempenho, com o desafio de melhorar seu recorde pessoal na distância da meia-maratona. Todos os participantes melhoraram seus indicadores de desempenho individual.

Ao analisarmos a frequência cardíaca (Tabela 3) ao longo da distância de meia-maratona observamos um efeito do tempo ( $F_{4, 56} = 18,95$ ,  $P < 0,001$ ) com a frequência cardíaca aumentando até o quilômetro 10 e depois se mantendo com valores que não diferiram entre os quilômetros 10, 15 e 21, mas permaneceram ainda maiores nos quilômetros 1 e 5. Isso denota a característica de intensidade crescente ao longo da simulação de meia-maratona.

Assim como observado para a frequência cardíaca, a percepção de esforço também mostrou um efeito do tempo ( $F_{4, 56} = 57,69$ ,  $P < 0,001$ ). No entanto, ao passo que a frequência cardíaca mostrou um comportamento de crescimento até cerca da metade do trajeto e depois se manteve sem alteração significativa e maior do que na primeira metade da distância, a percepção de esforço teve um crescimento contínuo ao longo dos instantes em que foi avaliada.

A tabela 3 também relata os dados individuais de velocidade média e tempo para completar a distância da meia-maratona.

Tabela 3. Dados individuais de desempenho na meia-maratona dos corredores.

Participantes	Frequência cardíaca (bpm)					Percepção de esforço (pontos)					Velocidade média (km/h)	Tempo (Min)
	1 km	5 km	10 km	15 km	21 km	1 km	5 km	10 km	15 km	21km		
1	156	170	169	167	172	9	11	14	17	19	13,9	90,6
2	138	149	166	168	172	7	9	12	18	20	11,8	106,5
3	164	163	176	176	182	6	8	10	12	18	13,0	96,9
4	138	135	130	147	139	8	15	15	17	18	12,0	106,5
5	154	173	174	170	163	9	11	12	12	15	11,1	114,1
6	154	146	158	152	170	8	9	15	17	19	13,9	90,8
7	140	152	150	149	151	13	14	15	15	17	13,8	91,6
8	167	174	178	176	183	15	17	18	19	19	15,7	80,7
9	168	155	173	175	180	10	14	14	16	19	13,9	90,3
10	155	165	168	175	180	7	11	13	14	15	10,1	125,1
11	145	152	159	168	176	14	16	17	19	20	12,7	97,0
12	153	170	175	165	167	10	11	12	14	16	11,7	108,3
13	145	162	170	171	172	12	13	15	16	18	16,0	79,1
14	144	164	167	178	170	13	14	15	16	17	13,0	97,0
15	155	173	176	172	165	12	13	14	16	18	15,0	84,2
Média	151	160	166	167	170	10,2	12,4	14,1	15,9	17,9	13,2	97,2
DP	10	12	13	10	12	2,8	2,7	2,1	2,2	1,6	1,7	12,8
CV (%)	6,6	7,5	7,8	6,0	7,1	27,5	21,5	14,6	13,7	8,9	12,7	13,2

bpm: batimentos por minuto; km: quilômetros; h: hora; Min: minutos; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação.

Os dados descritivos de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento para a competição simulada na rua dos participantes estão apresentados na tabela 4. As informações consideram a média entre o horário de começo e fim da meia-maratona.

Tabela 4. Resultados de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento no dia da meia-maratona simulada.

Participantes	Temperatura (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Velocidade do vento (m/s)
1	17	70	4,1
2	13	81	5
3	14	95	1,3
4	19	96	3,7
5	24	52	4,8
6	11	84	3,8
7	16	91	1,6
8	13	92	0,8
9	12	94	2,0
10	10	91	0,4
11	15	95	4,6
12	14	83	3,4
13	15	94	2,9
14	10	86	4,7
15	22	69	5,5
Média	15	85	3,2
DP	4	12,5	1,6
CV (%)	27	14,8	50,9

°C: graus Celsius; m: metros; s: segundos; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação.

Antes e depois da meia-maratona os corredores foram avaliados quanto ao limiar de dor por pressão no vasto lateral, percepção de dor muscular e percepção de recuperação. Os resultados individuais são detalhados na tabela 5. O limiar de dor por pressão apresentou menor magnitude na medida após a meia-maratona ( $P < 0,01$ ), indicando que os participantes estavam menos

toleráveis a dor por pressão. Isto permite inferir sobre a presença de dor muscular de início tardio. Por outro lado, a percepção de dor relatada não diferiu entre a medida pré e pós ( $P = 0,148$ ). O relato de dor foi classificado como: dor leve (1 a 3 pontos), dor moderada (4 a 7 pontos) ou dor intensa (8 a 10 pontos) (Reed and Van Nostran, 2014). O relato para a escala de recuperação percebida se mostrou semelhante, não diferiu entre o período pré e pós meia-maratona ( $P = 0,312$ ), considerando que 0 indica não recuperado, 5 moderadamente recuperado, e 10 totalmente recuperado.

Tabela 5. Resultados de limiar de dor por pressão (LDP), dor relatada na escala visual numérica e pontos na escala de percepção de recuperação (ERP) pré e pós realização da meia-maratona simulada.

Participante	Pré			Pós		
	LDP (N/cm <sup>2</sup> )	Dor relatada (pontos)	ERP (pontos)	LDP (N/cm <sup>2</sup> )	Dor relatada (pontos)	ERP (pontos)
1	53,8	0	10	36,35	4	6
2	28,4	2	8	28,2	2	8
3	80,6	1	9	77,6	5	6
4	48,8	0	10	38,1	2	10
5	80,3	1	10	71,45	1	10
6	67,1	2	8	39,9	3	8
7	48,5	4	4	42,45	3	6
8	63,7	5	4	58,5	5	4
9	68,3	6	8	54,2	3	6
10	62,7	0	10	47,35	0	10
11	47,7	3	5	38,1	3	8
12	53,4	0	10	48,35	2	9
13	46,7	3	8	28,95	3	9
14	54,6	0	8	47,05	3	7
15	53,0	0	9	30	0	4
Média	57,1	1,8	8,1	45,8#	2,6	7,4
DP	13,6	2,0	2,1	14,7	1,5	2,0
CV (%)	23,9	111,5	26,3	32,0	57,8	27,4

N: Newton; cm: centímetros; DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação.

# diferenças nas medidas obtidas entre o valor pré e pós ( $p \leq 0,01$ );

## 4.3 CINEMÁTICA DA CORRIDA

### 4.3.1 Ângulos de contato inicial

Quando analisamos a cinemática no instante do contato inicial com o solo, observamos efeitos significativos do fator membro no ângulo do tronco nos planos frontal ( $F_{1,14} = 5,33$ ;  $p = 0,036$ ;  $\eta^2_p = 0,09$ ) e transverso ( $F_{1,14} = 4,62$ ;  $p = 0,049$ ;  $\eta^2_p = 0,05$ ). Contudo, não identificamos diferenças individuais entre os membros no plano sagital. Não observamos efeito significativo dos fatores analisados nos ângulos do quadril, joelho e tornozelo no contato inicial (Tabela 6).

Tabela 6. Ângulos do tronco, quadril, joelho e tornozelo no contato inicial.

	Momento	Perna de contato	Planos		
			Sagital (°)	Frontal (°)	Transverso (°)
Tronco	Pré	Não-preferida	6,46 [9,04]	-2,08 [2,92]	-12,09 [4,93]
		Preferida	6,66 [8,45]	-2,94 [1,93]	-14,55 [6,34]
	Pós	Não-preferida	6,12 [8,19]	-1,89 [3,28]#	-13,4 [3,59]
		Preferida	7,41 [6,97]	-3,28 [2,99]#	-14,71 [4,62]
Quadril	Pré	Não-preferida	34,6 [7,54]	3,94 [3,08]	-4,81 [11,83]
		Preferida	36,98 [4,53]	4,26 [4,57]	-0,45 [10,98]
	Pós	Não-preferida	32,93 [5,76]	3,01 [4,62]	-2,91 [9,49]
		Preferida	35,01 [3,24]	4,65 [6,9]	-0,05 [4,95]
Joelho	Pré	Não-preferida	10,01 [9,91]	4,07 [5,3]	-7,93 [11,62]
		Preferida	9,96 [5,6]	5,31 [5,23]	-11,07 [9,18]
	Pós	Não-preferida	7,28 [7,95]	4,52 [4,67]	-11,52 [8,74]
		Preferida	8,37 [5,81]	5,17 [4,14]	-8,14 [6,91]
Tornozelo	Pré	Não-preferida	6,54 [2,37]	-2,33 [2,09]	10,28 [11,53]
		Preferida	7,92 [3,6]	-1,45 [2,4]	5,36 [10,6]
	Pós	Não-preferida	6,65 [3,2]	-2,09 [4,2]	11,96 [15,15]
		Preferida	7,43 [5,76]	-1,35 [2,23]	5,12 [8,94]

# diferenças nas medidas obtidas entre os membros no mesmo dia ( $p \leq 0,05$ ); °: Graus.

### 4.3.2 Características temporais

Observamos efeito do fator membro na duração e na frequência de passadas ( $F_{1,14} = 15,58$ ;  $p = 0,001$ ;  $\eta^2_p < 0,01$ ; por serem numericamente equivalentes, os resultados da análise são idênticos) e do fator dia na duração da fase de apoio ( $F_{1,14} = 6,43$ ;  $p = 0,023$ ;  $\eta^2_p = 0,03$ ) em que a fase de apoio teve maior tempo no período pós meia-maratona. Observamos ainda, efeito do fator membro no deslocamento vertical ( $F_{1,14} = 4,80$ ;  $p = 0,045$ ;  $\eta^2_p < 0,01$ ), estimado pelo deslocamento do marcador da coluna vertebral (C7), sem efeito do dia ou interações. Os dados do grupo são apresentados na tabela 7.

Tabela 7 – Duração de fases da corrida.

	Perna de contato	Passada (ms)	Frequência da passada (Hz)	Fase de apoio (ms)	Deslocamento vertical (cm)
Pré	Não-preferida	733,88 [40,32] #	1,363 [0,075] #	326,67 [25,21] *	9,12 [0,84]
	Preferida	732,51 [38,7] #	1,365 [0,072] #	329,08 [37,51]	9,09 [0,90]
Pós	Não-preferida	730,11 [34,07]	1,370 [0,062]	335,09 [22,64] *	9,06 [1,16] #
	Preferida	729,11 [33,87]	1,372 [0,062]	337,67 [27,77]	8,91 [1,16] #

ms: milissegundos; Hz: Hertz; cm: centímetros. # diferenças nas medidas obtidas entre os membros no mesmo dia ( $p \leq 0,05$ ); \* diferenças nas medidas obtidas em um membro entre os dias ( $p \leq 0,05$ ).

### 4.3.3 Amplitude de movimento na fase de apoio

Não observamos efeitos significativos dos fatores dia ou membro na amplitude articular do tronco ou quadril durante a fase de apoio. No joelho e tornozelo, observamos efeito significativo do fator membro no plano transversal ( $F_{1,14} = 9,60$ ;  $p = 0,007$ ;  $\eta^2_p = 0,14$ ) com o resultados das análises post-hoc mostrados abaixo indicando menor amplitude de movimento na fase de apoio da perna preferida. Observamos ainda efeito significativo dos fatores membro e interação (membro e dia) no tornozelo, com resultados da análise post-hoc apresentados abaixo indicando assimetrias no tornozelo também para o plano sagital interagindo com o dia pré e pós a meia-maratona (tabela 8).

Tabela 8. Amplitude angular de tronco, quadril, joelho e tornozelo na fase de apoio, nos três planos de movimento.

		Perna de contato	Sagital (°)	Frontal (°)	Transverso (°)
Tronco	Pré	Não-preferida	3,58 [0,94]	5,56 [3,02]	26,95 [8,30]
		Preferida	3,57 [1,60]	5,63 [3,61]	25,66 [7,34]
	Pós	Não-preferida	4,05 [1,51]	5,92 [3,62]	25,89 [8,29]
		Preferida	3,98 [2,34]	5,98 [3,56]	25,94 [7,62]
Quadril	Pré	Não-preferida	39,34 [8,39]	11,23 [6,07]	7,56 [4,91]
		Preferida	39,07 [7,94]	11,28 [3,69]	8,67 [3,01]
	Pós	Não-preferida	39,83 [6,80]	10,63 [4,51]	8,99 [6,56]
		Preferida	39,11 [6,01]	10,83 [3,50]	8,55 [5,69]
Joelho	Pré	Não-preferida	30,94 [8,36]	3,78 [1,94]	27,99 [8,62] #
		Preferida	32,40 [5,55]	4,77 [3,27]	22,11 [3,61] #
	Pós	Não-preferida	31,96 [8,69]	4,61 [3,56]	27,39 [6,97] #
		Preferida	31,97 [6,91]	3,97 [2,33]	20,77 [5,78] #
Tornozelo	Pré	Não-preferida	37,88 [6,60] #	4,03 [2,45]	26,61 [3,19] #
		Preferida	38,10 [7,52] #	4,57 [2,13]	23,29 [8,32] #
	Pós	Não-preferida	40,32 [4,10] #	6,08 [4,61]	30,04 [9,52] #
		Preferida	36,93 [6,28] #	4,03 [1,63]	21,46 [4,69] #

# diferenças nas medidas obtidas entre os membros no mesmo dia ( $p \leq 0,05$ ); °: Graus.

#### 4.3.4 Assimetrias na amplitude de movimento na fase de apoio

Observamos assimetrias na amplitude de movimento articular durante a fase de apoio do joelho no plano transversal ( $p = 0,041$ ), assim como no tornozelo nos planos sagital ( $p = 0,035$ ) e transversal ( $p = 0,18$ ). Em todos os casos foram observadas variações em direção a valores menores, indicando um aumento desproporcional da amplitude articular do membro não-preferido (Figura 4).

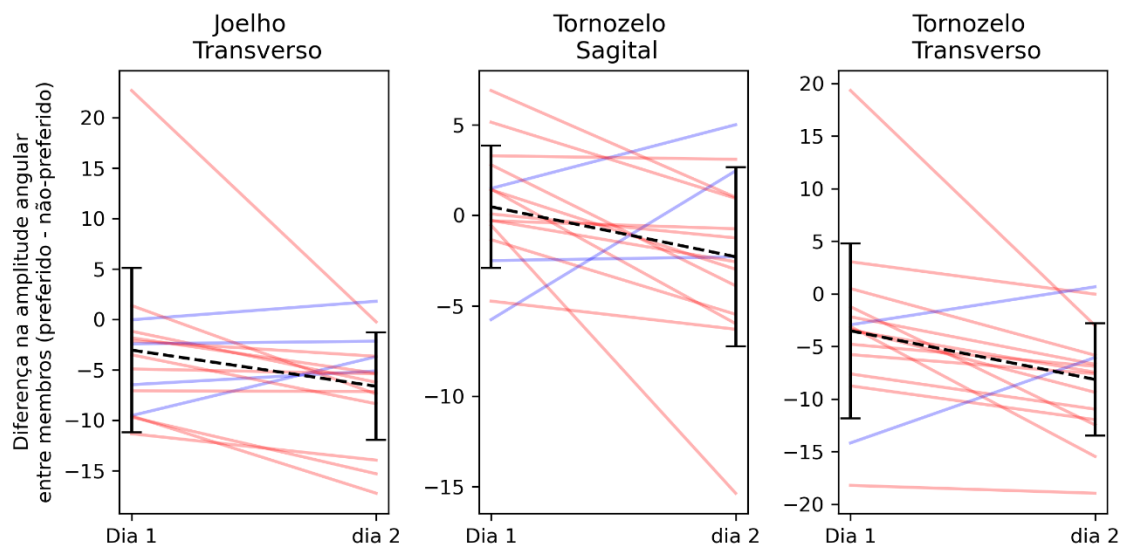


Figura 4. Representação das assimetrias na amplitude de movimento articular na fase de apoio entre membros em determinadas articulações e planos. A assimetria na amplitude angular entre membros foi calculada subtraindo o valor observado no membro preferido do membro não-preferido. As linhas em preto pontilhado indicam o comportamento médio do grupo, enquanto as linhas vermelhas e azuis indicam o comportamento de cada participante.

#### 4.3.5 Comportamento angular ao longo do ciclo de passada

Identificamos efeito significativo do fator membro no comportamento angular do tronco no plano frontal, com a análise *post-hoc* indicando valores angulares menores no membro preferido em relação ao membro não-preferido em ambos os dias (Figura 5). Observamos efeito significativo do fator dia no comportamento angular do tronco no plano transversal em um pequeno trecho



do ciclo da marcha, tendo a análise *post-hoc* indicado diferença entre os dias para o membro preferido.

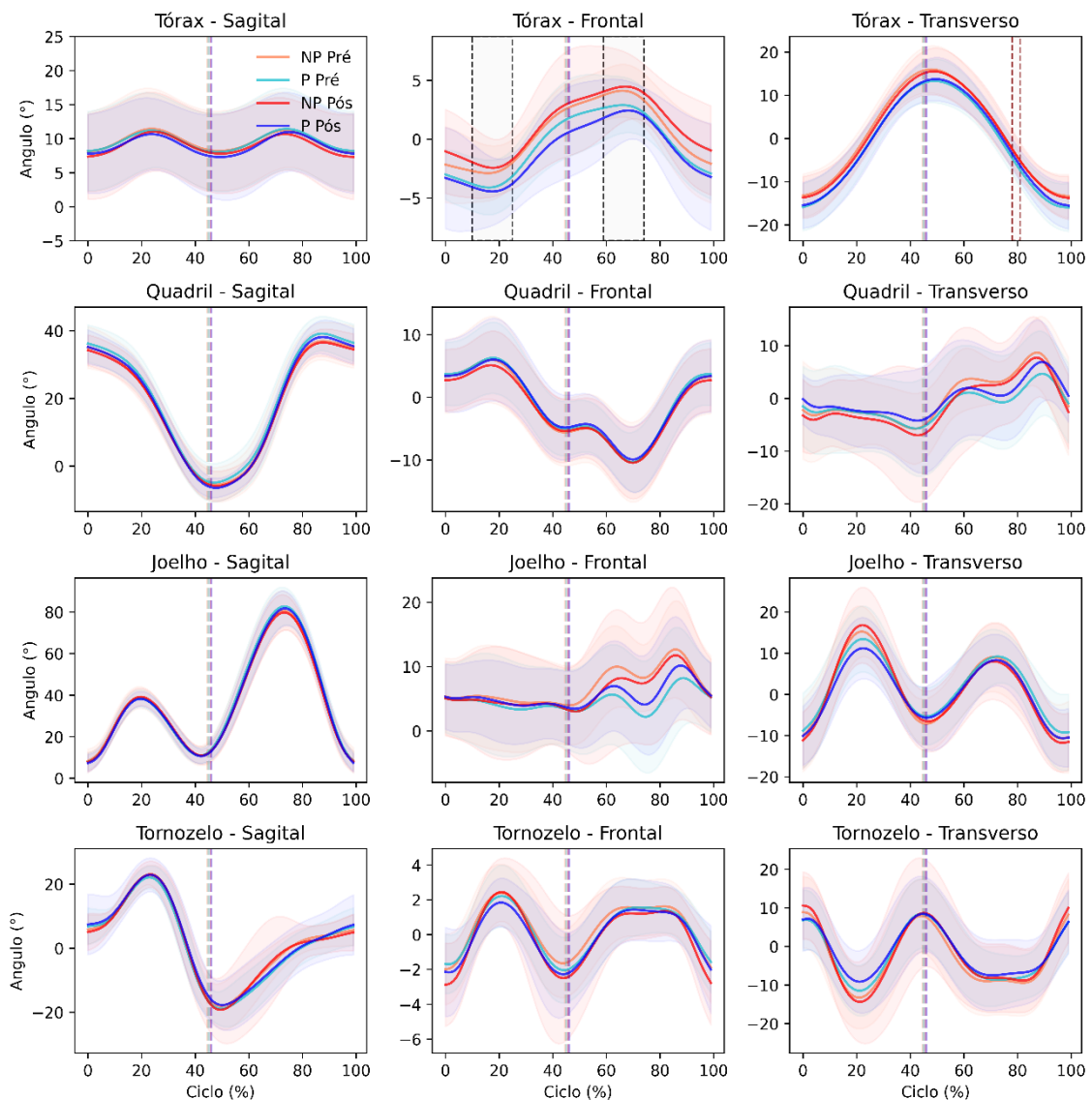


Figura 5. Representação do comportamento angular do membro preferido (P) e não preferido (NP) pré e pós, com os respectivos finais da fase de apoio indicados pelas linhas verticais tracejadas. Os ângulos estão apresentados ao longo do ciclo percentual da marcha por média (linha sólida) e desvio padrão (área sombreada). Os trechos sombreados em cinza indicam efeito significativo do fator membro e os trechos sombreados em vermelho indicam efeito significativo do fator dia.

## 5. DISCUSSÃO

Em nosso estudo, o objetivo geral foi determinar se existem efeitos tardios de uma competição simulada de meia-maratona, realizada na busca da melhor marca individual, sobre a cinemática 3D da corrida. Considerando o coletivo de resultados obtidos, interpretamos que a demanda de exercício de alta intensidade em uma competição simulada de meia-maratona causa dano muscular, refletido na presença de dor muscular tardia reduzindo limiares de dor por pressão. Contudo, os efeitos tardios da meia-maratona sobre a cinemática 3D da corrida são diversos e abrem espaço para diferentes interpretações. De modo geral, parece que ao correr novamente ainda na janela temporal de recuperação da dor muscular tardia depois de realizar uma meia-maratona em ritmo competitivo, acentuam-se algumas características cinemáticas já existentes na técnica do corredor, como amplitudes de movimento do tronco alteradas e assimétricas em planos não sagitais, maiores tempos de contato na perna preferida e alterações na cinemática do tornozelo. Uma possível interpretação prática para isso seria o fato das possíveis repercussões nos perfis de movimentos já existentes serem maximizados quando o corredor está se exercitando em condição de dor tardia. Dessa forma, a avaliação periódica da corrida, com uso da cinemática 3D é uma importante estratégia de acompanhamento de corredores, especialmente por termos mais alterações em planos de movimento que não o sagital.

Embora não tenhamos mensurado a atividade elétrica neuromuscular e as forças de reação do solo em nossos participantes, os resultados da cinemática podem suportar algumas inferências sobre mudanças na forma como o impacto é manejado na corrida após a meia-maratona. Isso denota a importância que uma avaliação cinemática tridimensional tem durante a fase de preparação e até o treinamento competitivo para otimizar o rendimento e diminuir fatores de risco para lesões.

Ao permitir quantificar características espaciais e temporais do movimento, a cinemática ajuda a compreender como os sistemas que atuam de maneira coordenada para gerar movimento estão resolvendo as adaptações motoras para um desempenho eficiente. E esses sistemas, por exemplo, neuromuscular, proprioceptivo, cognitivo, podem ser influenciados por diversos

fatores. Um primeiro fator a considerarmos é o nível competitivo dos corredores do nosso estudo e o desempenho entregue na competição de meia-maratona simulada. Experiência prévia, tempo de treinamento diário, distância e horas de treino por semana são características associadas ao desempenho de corredores (Friedrich et al., 2014). Por este motivo, no recrutamento dos participantes buscamos construir um grupo homogêneo. Quando realizando a competição simulada, os corredores apresentaram um tempo médio de conclusão de prova de 97 minutos, e que vai ao encontro de outros estudos incluindo atletas corredores recreacionais (Alvero-Cruz et al., 2019; Friedrich, et al., 2014; Nikolaidis and Knechtle, 2022). Também a idade dos participantes pode ser um ponto de questionamento. Embora a idade dos corredores tenha variado entre 22 e 50 anos, em estudo prévio foram comparados os efeitos da fadiga na cinemática da corrida de corredores jovens e corredores mais velhos e não foram encontradas diferenças que legitimassem um exercício extenuante com diferentes efeitos na cinemática em função da idade dos corredores (Borgia, Dufek, Silvernail, & Radzak, 2022).

Ainda sobre o desempenho na competição simulada, sabemos que o exercício ao ar livre pode repercutir em diferentes condições ambientes para os atletas, pois eles não correram no mesmo dia. Em relação as condições de simulação dos dias das corridas, as temperaturas apresentaram uma média de 15° C e umidade relativa do ar em torno de 85%. Esse foi um fator positivo, pois temperaturas mais baixas e a umidade relativa do ar mais alta favorecem velocidades de corrida mais rápidas. Isso foi observado para um grupo de atletas parecido com o avaliado no presente estudo, onde os atletas tinham idade entre 20 e 49 anos (Weiss et al., 2022). Apesar da velocidade média do vento ter a representação de 3,2 m/s, e parecer não ser a mais favorável, todos enfrentaram uma simulação semelhante de terreno com circuito de ida e volta, ou seja, se o vento estava a favor ou lateral em um trecho, ele estava contra ou contralateral no outro. Estratégias como a formação de um *drafting* são utilizadas no alto rendimento para favorecer a velocidade de corrida e reduzir o impacto negativo do vento, diminuindo a força de arrasto (Beaumont et al., 2021; da Silva, Kram, & Hoogkamer, 2022). Como isso não foi possível na simulação individual, é possível que a demanda do exercício tenha sido até maior do que em uma competição regular. Além disso, o aporte de água foi

feito presente durante todo o percurso, a fim de minimizar problemas associados com desidratação, fator que poderia prejudicar o desempenho e termorregulação ao longo da meia-maratona (Nikolaidis and Knechtle, 2022). Uma competição deste tipo tende a apresentar um esforço crescente. Isso foi encontrado no grupo avaliado, uma vez que o comportamento da frequência cardíaca aumentou nos quilômetros iniciais, alcançando um platô em alta intensidade, assim como relatado em estudos prévios (Billat, Palacin, Poinard, Edwards, & Maron, 2022). O esforço percebido, principalmente na reta final da meia-maratona, também foi intenso para a maioria dos corredores. Mesmo diferindo de atletas de alto rendimento, que apresentam melhor consistência no ritmo de corrida de longa distância, os resultados de ritmo são semelhantes com aumentos na parte inicial da corrida e estabilização ao longo do tempo (Oficial-Casado, Uriel, Perez-Soriano, & Priego Quesada, 2021).

Uma vez que buscamos expor os participantes a uma condição de exercício intenso, simulando competição, também esperamos que a demanda neuromuscular gerasse algum nível de dano muscular e avaliar a repercussão dessa condição na cinemática era nosso propósito. A simulação da competição não deveria causar um dano muscular incapacitante, mas um dano que fosse reflexo da fadiga envolvida no exercício e pudesse replicar o que é reportado pelos atletas após uma competição, em que geralmente acontece dor tardia. Por isso, levamos em conta avaliar a dor muscular tardia no músculo vasto lateral, um dos principais músculos envolvidos com absorção de impactos na corrida (Hamner and Delp, 2013), após 48 h da simulação da meia-maratona. Observamos assim que o limiar de dor diminuiu no período pós corrida, provavelmente pela presença do dano muscular (Satkunskiene, et al., 2015; Teixeira, et al., 2016; Tsatalas, et al., 2013).

Esperávamos que a presença do dano muscular estivesse acompanhada de uma pior percepção de recuperação, avaliada pela escala de recuperação percebida. Contudo, alguns corredores reportaram limitada recuperação no pós meia-maratona, enquanto para outros foi observada até mesmo uma melhora na recuperação percebida do que relatado anteriormente, antes de realizar a meia-maratona. É possível que as 48 horas sem exercício após a simulação da meia-maratona tenham sido maiores do que os intervalos de recuperação entre sessões de treinos regularmente considerados pelos

participantes, e por isso houve um relato de melhor recuperação. No entanto, inferimos isso a partir de conversas informais com os corredores, pois não coletamos dados específicos quanto às estratégias de recuperação empregadas antes da participação no estudo. Talvez devêssemos ter implementado um intervalo de 48 horas sem correr também antes da primeira avaliação, para reduzir essa influência. De todo o modo, talvez a utilização apenas de uma escala de recuperação não seja tão representativa para indicar a dimensão total do esforço numa corrida de longa duração e a medida de limiar de dor com um algômetro possa ajudar a quantificar e melhor direcionar a recuperação na fase aguda após competição (Koo, et al., 2013).

Para avaliar a cinemática da corrida usamos uma esteira motorizada, com configuração semelhante para todos os corredores. A familiarização com a esteira é sempre um fator de debate em estudos sobre biomecânica da corrida. Embora a literatura seja controversa quanto ao tempo de adaptação, número de sessões, velocidade de corrida e formato da sessão de corrida em esteira, consideramos que esse fator não agregou confusão aos nossos resultados, especialmente analisando a flutuação da cinemática a cada passada (Lindorfer, Kroll, & Schwameder, 2020). Quando comparamos os resultados da cinemática no contato inicial nos minutos 1, 5, 10 e 15, em ambas avaliações, observamos que o minuto 1 apresentava maior variabilidade entre os corredores. Contudo, o padrão de variabilidade observado no minuto 5 se mantinha estável ao longo dos demais minutos. Por este motivo, consideramos avaliar a média dos minutos 5, 10 e 15, observando um padrão estável em relação às características da cinemática dos corredores. Também é importante considerar que a quantidade de passadas analisadas pode influenciar a observação de um padrão estável na cinemática. Especialmente considerando a variabilidade, pelo menos 20 passadas consecutivas são necessárias para estabelecer um intervalo de 95% de confiança (Riazati, et al., 2019). Neste sentido, todos os nossos dados consideram médias de 20 passadas, ou seja, 10 passos para cada perna.

Reportamos assimetrias na corrida e buscamos interpretar estes achados em função da meia-maratona realizada 48 horas antes. Contudo, as assimetrias são altamente variáveis entre participantes e influenciadas por diversas características da corrida (Carpes, Mota, & Faria, 2010). Corredores

competitivos e recreativos são mais simétricos em maiores velocidades de corrida, enquanto corredores novatos mostram maiores assimetrias (Mo et al., 2020). Também por este motivo, consideramos uma velocidade constante e igual para todos os corredores na esteira, e que julgamos adequada considerando o critério competitivo que usamos para recrutar os participantes.

Para discutir a técnica de corrida, analisamos diferentes eventos sobre o desempenho e fatores de risco para lesão. Consideramos os ângulos articulares no instante do contato inicial e algumas variáveis temporais do ciclo de corrida. Assimétrias foram identificadas tanto pré quanto pós meia-maratona, como ficou evidenciado para a frequência e duração das passadas. A postura no instante do contato inicial na corrida pode desencadear efeitos em diferentes articulações da extremidade inferior (Jewell, et al., 2017) e também por isso as assimétrias podem influenciar aspectos como a eficiência da corrida (Melo et al., 2020a). Contudo, relacionamos aspectos sobre a eficiência dos corredores pois o deslocamento vertical do corpo aumenta a capacidade de atenuação do choque e a absorção de cargas nas articulações fica comprometida (Schubert, et al., 2014). Além de prejudicar a estabilidade (Leporace, 2021), isto também pode acarretar aumento do gasto energético (Li, et al., 2021). Dessa forma, a eficiência mecânica da corrida pode mostrar uma relação inversa com as assimétrias de movimento (Melo, et al., 2020a). No entanto investigações futuras podem explorar de maneira mais específica a estabilidade dinâmica e suas relações com assimétrias em uma condição pós corrida de longa distância como investigamos.

Considerando a sequência de eventos a partir do contato inicial, também é importante discutir como diferentes segmentos corporais podem se manifestar de maneira diferente em relação ao controle motor na corrida. Encontramos assimétrias na movimentação do tronco na avaliação pós meia-maratona. A interpretação desse resultado nos instigou a realizar algumas inferências. Observamos que no contato inicial as maiores alterações no tronco aconteceram no plano frontal e transversal, com maior inclinação lateral. Podemos propor que uma possível explicação para nossos corredores apresentarem essa maior compensação tenha sido uma menor competência muscular ou instabilidade dos músculos do *core* em função do esforço realizado durante o exercício (Finatto et al., 2018). Esses movimentos em

planos não sagitais também repercutem em termos de sobrecargas articulares e fatores de risco de lesão (de David, et al., 2015). A perda de capacidade do controle neuromuscular do tronco pode estar mais propensa a mecanismos de lesão e relacionada a comprometimento na estabilidade do joelho (Zazulak, Hewett, Reeves, Goldberg, & Cholewicki, 2007). Uma medida simples de força de abdômen poderia ter nos ajudado a melhor embasar essa hipótese, porém não avaliamos em nossos corredores. Todavia esse tipo alteração na inclinação do tronco pode ser identificado em corridas até a exaustão como um fator de menor rigidez (Maas, et al., 2018). Diferente disso, a cinemática angular das articulações de quadril, joelho e tornozelo no instante do contato inicial sugerem que, ao menos no começo do contato, os membros inferiores tiveram suas características de movimentos consistentes antes e depois da meia-maratona. Nesse sentido, é interessante notarmos que avaliamos os atletas em uma velocidade fixa de corrida. Dada a relação entre força de músculos do core e produção de movimento nos membros inferiores (Koblbauer, van Schooten, Verhagen, & van Dieen, 2014; Rivera, 2016; Sato and Mokha, 2009), talvez essa relação que propomos entre a força do core, movimentação do tronco e a cinemática dos membros inferiores poderia mostrar desdobramentos adicionais se os corredores fossem avaliados em maiores velocidades de corrida.

Uma vez que após o contato inicial na corrida, todas as características temporais da fase de apoio estarão realizadas com ações para absorver impacto e gerar propulsão. Uma condição dolorosa de quadríceps, por exemplo, poderia repercutir na fase de apoio na corrida, quando músculos como o vasto lateral são exigidos na realização de ações musculares excêntricas (Bird, et al., 2014; Hamner and Delp, 2013; Paquette, et al., 2017). Observamos que, tanto antes quanto depois da meia-maratona, havia assimetrias no tempo de contato com o solo entre os membros preferido e não-preferido. No entanto, na avaliação pós meia-maratona ficou mais evidente essa diferença na perna não-preferida, o que podemos considerar até como um fator protetivo de adaptação frente a condição de dor muscular e a busca pela frenagem do movimento. Isto pode, de certa forma, se relacionar com a inclinação do tronco no instante do contato inicial. Esse menor controle do tronco pode resultar de uma busca compensatória por conta da condição de

dor tardia pós meia-maratona gerando, talvez, uma dificuldade em lidar com uma maior inércia do tronco. Com medidas de força muscular ou ativação elétrica poderíamos apresentar maiores inferências sobre a demanda que o tronco está exercendo sobre os membros inferiores. Ainda assim, estudos prévios nos permitem sugerir a presença desse mecanismo em nossos participantes (Leporace, 2021; Zemkova, 2022). Nesse contexto, uma avaliação bidimensional, considerando apenas um eixo de movimento, poderia não ser suficiente para obter todas as informações relevantes a partir da movimentação do tronco (Maykut, et al., 2015).

Durante a fase de apoio identificamos assimetrias nos ângulos de joelho e tornozelo no plano transversal. Esses fatores são denominados de risco para lesões e tipicamente descritos como resultados de fadiga (Weir, et al., 2020; Willwacher, et al., 2020). Contudo, mesmo antes da meia-maratona essas assimetrias foram observadas nos participantes. Podemos assumir que os corredores apresentaram perfis de assimetrias de maneira consistente e robustas o suficiente para ter magnitudes similares, mesmo após uma corrida intensa (Afonso et al., 2022). Não podemos excluir a possibilidade dessas assimetrias nos planos não sagitais terem relação com o observado já no contato inicial, sugerindo uma diferença no deslocamento do tronco como indutor de ajustes na cinemática do membro inferior (Jewell, et al., 2017). Como as assimetrias diminuíram na avaliação pós meia-maratona, talvez um padrão menos assimétrico tenha emergido na busca pela melhor estabilidade na corrida (Metsavaht and Leporace, 2020), também porque para tronco e pelve as angulações ficaram preservadas mesmo após a meia-maratona.

Também avaliamos o perfil das curvas de cinemática nos três planos de movimento. O comportamento angular das curvas ao longo do ciclo da passada mostrou características consistentes e semelhantes aos resultados descritos e relatados em outros estudos (Almonroeder and Benson, 2017; de David, et al., 2015; Willwacher, et al., 2020). Quando efeitos do dia foram observados, ocorreram para a fase de balanço, o que por sua vez possui menor repercussão em termos de sobrecarga e não tem associação com absorção de impacto (Kim, et al., 2018; Reenalda, Maartens, Homan, & Buurke, 2016). De modo geral, o fato de realizar uma meia-maratona não alterou, mesmo em condição de dor tardia, as formas das curvas de cinemática. Sendo a corrida



um padrão de movimento bastante robusto, isso de certa forma era esperado, com diferenças ocorrendo especialmente em eventos particulares e em que existe maior demanda para lidar com as forças envolvidas no movimento.

Reconhecemos as limitações presentes em nosso estudo. Durante o recrutamento tivemos menor número de participantes do sexo feminino, o que não nos permitiu discutir diferenças entre homens e mulheres. A inclusão de participantes foi feita a partir de autorrelatos sobre o desempenho de corrida de rua, e a homogeneidade do desempenho poderia ser aprimorada com o uso de uma medida fisiológica complementar, com o consumo máximo de oxigênio e/ou velocidade crítica. A velocidade de corrida na avaliação em esteira foi uma variável difícil de determinar, pois existem estudos considerando a velocidade preferida, protocolos incrementais, velocidades fixas e a inclusão de mais dias de avaliação. Optamos assim por uma velocidade submáxima baseada também no ritmo de corrida reportados pelos participantes nas suas práticas, o que não permitiu discutirmos de um efeito tardio da meia-maratona pode ocorrer para a velocidade preferida. Apesar dos corredores receberem instruções prévias sobre o funcionamento da simulação, não exercemos influências sobre os hábitos da rotina pré meia-maratona, como controle nutricional, horas de sono, níveis de estresse ou até mesmo a estrutura da carga de treinamento. Não obtivemos medidas de forças de impacto para determinar se estavam alteradas durante a corrida ou até mesmo a repercussão da perda de força muscular em virtude da dor tardia ou diferente níveis de fadiga da simulação. Também não quantificamos o dano muscular tecidual. Por fim, estudos futuros podem apresentar uma análise mais profunda da cinemática, considerando, por exemplo, a relação intersegmentar dos membros inferiores.

## **6. CONCLUSÃO**

Após a meia-maratona acontecem efeitos tardios sobre a cinemática 3D da corrida que sugerem alterações nos perfis de movimento dos corredores. Ocorre maior amplitude de movimento do tronco no plano frontal e transversal, o que parece induzir adaptações e compensações na fase de apoio com maior assimetria da amplitude de movimento do tornozelo e joelho no plano sagital

além do tornozelo no plano transversal. O desempenho de uma meia-maratona buscando alto rendimento reduz os limiares de dor por pressão e podem ser percebidos aumentos na duração do tempo de contato com o solo e redução da frequência de passadas.

Como implicações práticas, sugerimos que avaliar a cinemática 3D de corredores é fundamental para observar características de movimento que ocorrem em mais de um plano para discutir aspectos sobre técnica e fatores de risco para lesão, especialmente envolvendo a movimentação do tronco. Assim destacamos a importância de avaliar parâmetros espaço temporais como tempo de apoio e frequência de passadas. Cabe considerar no plano de treinamento nos dias seguintes a uma competição que os perfis de movimento podem ficar alterados.

## 7. REFERÊNCIAS

- Afonso, J., Peña, J., Sá, M., Virgile, A., García-de-Alcaraz, A., & Bishop, C. (2022). Why sports should embrace bilateral asymmetry: a narrative review. *Symmetry*, *14*(10), p 1993.
- Akinci, B., Zenginler Yazgan, Y., & Altinoluk, T. (2020). The effectiveness of three different recovery methods on blood lactate, acute muscle performance, and delayed-onset muscle soreness: a randomized comparative study. *J Sports Med Phys Fitness*, *60*(3), pp. 345-354. doi:10.23736/S0022-4707.19.10142-9 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31684705>
- Almonroeder, T. G., & Benson, L. C. (2017). Sex differences in lower extremity kinematics and patellofemoral kinetics during running. *J Sports Sci*, *35*(16), pp. 1575-1581. doi:10.1080/02640414.2016.1225972 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27571504>
- Alvero-Cruz, J. R., Carnero, E. A., Giraldez Garcia, M. A., Alacid, F., Rosemann, T., Nikolaidis, P. T., & Knechtle, B. (2019). Cooper Test Provides Better Half-Marathon Performance Prediction in Recreational Runners Than Laboratory Tests. *Front Physiol*, *10*, p 1349. doi:10.3389/fphys.2019.01349 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31749711>
- Armstrong, R. B. (1984). Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Med Sci Sports Exerc*, *16*(6), pp. 529-538. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6392811>
- Baggaley, M., Vernillo, G., Martinez, A., Horvais, N., Giandolini, M., Millet, G. Y., & Edwards, W. B. (2020). Step length and grade effects on energy absorption and impact attenuation in running. *Eur J Sport Sci*, *20*(6), pp. 756-766. doi:10.1080/17461391.2019.1664639 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31549912>
- Beaumont, F., Legrand, F., Bogard, F., Murer, S., Vernede, V., & Polidori, G. (2021). Aerodynamic interaction between in-line runners: new insights on the drafting strategy in running. *Sports Biomech*, pp. 1-16. doi:10.1080/14763141.2021.2006295 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/34872462>
- Billat, V., Palacin, F., Poincard, L., Edwards, J., & Maron, M. (2022). Heart Rate Does Not Reflect the %VO<sub>2</sub>(max) in Recreational Runners during the Marathon. *Int J Environ Res Public Health*, *19*(19)doi:10.3390/ijerph191912451 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36231750>
- Bird, S. R., Linden, M., & Hawley, J. A. (2014). Acute changes to biomarkers as a consequence of prolonged strenuous running. *Ann Clin Biochem*, *51*(Pt

- 2), pp. 137-150. doi:10.1177/0004563213492147 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24000373>
- Blanca, M. J., Alarcon, R., Arnau, J., Bono, R., & Bendayan, R. (2017). Non-normal data: Is ANOVA still a valid option? *Psicothema*, 29(4), pp. 552-557. doi:10.7334/psicothema2016.383 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29048317>
- Blazevich, A. J., Gill, N. D., & Zhou, S. (2006). Intra- and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo. [Comparative Study]. *J Anat*, 209(3), pp. 289-310. doi:10.1111/j.1469-7580.2006.00619.x Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16928199>
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, 14(5), pp. 377-381. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7154893>
- Borgia, B., Dufek, J. S., Silvernail, J. F., & Radzak, K. N. (2022). The effect of fatigue on running mechanics in older and younger runners. *Gait Posture*, 97, pp. 86-93. doi:10.1016/j.gaitpost.2022.07.249 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35914388>
- Boullosa, D., Esteve-Lanao, J., Casado, A., Peyre-Tartaruga, L. A., Gomes da Rosa, R., & Del Coso, J. (2020). Factors Affecting Training and Physical Performance in Recreational Endurance Runners. *Sports (Basel)*, 8(3)doi:10.3390/sports8030035 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32183425>
- Burnett, D., Smith, K., Smeltzer, C., Young, K., & Burns, S. (2010). Perceived Muscle Soreness in Recreational Female Runners. *Int J Exerc Sci*, 3(3), pp. 108-116. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27182336>
- Carpes, F. P., Mota, C. B., & Faria, I. E. (2010). On the bilateral asymmetry during running and cycling - a review considering leg preference. *Phys Ther Sport*, 11(4), pp. 136-142. doi:10.1016/j.ptsp.2010.06.005 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21055708>
- Chen, T. C., Nosaka, K., Lin, M. J., Chen, H. L., & Wu, C. J. (2009). Changes in running economy at different intensities following downhill running. *J Sports Sci*, 27(11), pp. 1137-1144. doi:10.1080/02640410903062027 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19714546>
- Chen, T. C., Nosaka, K., & Tu, J. H. (2007). Changes in running economy following downhill running. *J Sports Sci*, 25(1), pp. 55-63. doi:10.1080/02640410600718228 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17127581>
- Chen, T. L., Wong, D. W., Wang, Y., Tan, Q., Lam, W. K., & Zhang, M. (2020). Changes in segment coordination variability and the impacts of the lower limb across running mileages in half marathons: Implications for running

- injuries. *J Sport Health Sci* doi:10.1016/j.jshs.2020.09.006 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32992036>
- Collins, B. W., Pearcey, G. E. P., Buckle, N. C. M., Power, K. E., & Button, D. C. (2018). Neuromuscular fatigue during repeated sprint exercise: underlying physiology and methodological considerations. *Appl Physiol Nutr Metab*, 43(11), pp. 1166-1175. doi:10.1139/apnm-2018-0080 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29701482>
- Corder, K. E., Newsham, K. R., McDaniel, J. L., Ezekiel, U. R., & Weiss, E. P. (2016). Effects of Short-Term Docosahexaenoic Acid Supplementation on Markers of Inflammation after Eccentric Strength Exercise in Women. *J Sports Sci Med*, 15(1), pp. 176-183. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26957941>
- Costello, J. T., Baker, P. R., Minett, G. M., Bieuzen, F., Stewart, I. B., & Bleakley, C. (2015). Whole-body cryotherapy (extreme cold air exposure) for preventing and treating muscle soreness after exercise in adults. *Cochrane Database Syst Rev*(9), p CD010789. doi:10.1002/14651858.CD010789.pub2 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26383887>
- Crowther, F., Sealey, R., Crowe, M., Edwards, A., & Halson, S. (2017). Team sport athletes' perceptions and use of recovery strategies: a mixed-methods survey study. *BMC Sports Sci Med Rehabil*, 9, p 6. doi:10.1186/s13102-017-0071-3 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28250934>
- da Silva, E. S., Kram, R., & Hoogkamer, W. (2022). The metabolic cost of emulated aerodynamic drag forces in marathon running. *J Appl Physiol* (1985), 133(3), pp. 766-776. doi:10.1152/jappphysiol.00086.2022 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35834628>
- de Azevedo Franke, R., Rodrigues, R., Geremia, J. M., Teixeira, B. C., Boeno, F., Rabello, R., . . . Lima, C. S. (2021). Moderate intensity cycling is better than running on recovery of eccentric exercise-induced muscle damage. *Phys Ther Sport*, 50, pp. 65-73. doi:10.1016/j.ptsp.2021.04.004 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33932873>
- de David, A. C., Carpes, F. P., & Stefanyshyn, D. (2015). Effects of changing speed on knee and ankle joint load during walking and running. *J Sports Sci*, 33(4), pp. 391-397. doi:10.1080/02640414.2014.946074 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25105739>
- Diefenthaler, F., & Vaz, M. A. (2008). Aspectos relacionados à fadiga durante o ciclismo: uma abordagem biomecânica. *Revista brasileira de medicina do esporte*, 14, pp. 472-477.
- Dierks, T. A., Davis, I. S., & Hamill, J. (2010). The effects of running in an exerted state on lower extremity kinematics and joint timing. *J Biomech*,

43(15), pp. 2993-2998. doi:10.1016/j.jbiomech.2010.07.001 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20663506>

Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., & McGuigan, M. (2017). Eccentric Exercise: Physiological Characteristics and Acute Responses. *Sports Med*, 47(4), pp. 663-675. doi:10.1007/s40279-016-0624-8 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27638040>

Ferber, R., & Macdonald, S. (2014). Running mechanics and gait analysis.

Finatto, P., Silva, E. S. D., Okamura, A. B., Almada, B. P., Storniolo, J. L. L., Oliveira, H. B., & Peyre-Tartaruga, L. A. (2018). Pilates training improves 5-km run performance by changing metabolic cost and muscle activity in trained runners. *PLoS One*, 13(3), p e0194057. doi:10.1371/journal.pone.0194057 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29561907>

Francis, P., Whatman, C., Sheerin, K., Hume, P., & Johnson, M. I. (2019). The Proportion of Lower Limb Running Injuries by Gender, Anatomical Location and Specific Pathology: A Systematic Review. *J Sports Sci Med*, 18(1), pp. 21-31. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30787648>

Friedrich, M., Rust, C. A., Rosemann, T., Knechtle, P., Barandun, U., Lepers, R., & Knechtle, B. (2014). A Comparison of Anthropometric and Training Characteristics between Female and Male Half-Marathoners and the Relationship to Race Time. *Asian J Sports Med*, 5(1), pp. 10-20. doi:10.5812/asjms.34175 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24868427>

Garcia-Perez, J. A., Perez-Soriano, P., Llana Belloch, S., Lucas-Cuevas, A. G., & Sanchez-Zuriaga, D. (2014). Effects of treadmill running and fatigue on impact acceleration in distance running. *Sports Biomech*, 13(3), pp. 259-266. doi:10.1080/14763141.2014.909527 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25325770>

Garcia-Pinillos, F., Carton-Llorente, A., Jaen-Carrillo, D., Delgado-Floody, P., Carrasco-Alarcon, V., Martinez, C., & Roche-Seruendo, L. E. (2020). Does fatigue alter step characteristics and stiffness during running? *Gait Posture*, 76, pp. 259-263. doi:10.1016/j.gaitpost.2019.12.018 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31881479>

Giandolini, M., Vernillo, G., Samozino, P., Horvais, N., Edwards, W. B., Morin, J. B., & Millet, G. Y. (2016). Fatigue associated with prolonged graded running. *Eur J Appl Physiol*, 116(10), pp. 1859-1873. doi:10.1007/s00421-016-3437-4 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27456477>

Hamner, S. R., & Delp, S. L. (2013). Muscle contributions to fore-aft and vertical body mass center accelerations over a range of running speeds. *J*

*Biomech*, 46(4), pp. 780-787. doi:10.1016/j.jbiomech.2012.11.024  
Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23246045>

- Heiderscheit, B. C., Chumanov, E. S., Michalski, M. P., Wille, C. M., & Ryan, M. B. (2011). Effects of step rate manipulation on joint mechanics during running. *Med Sci Sports Exerc*, 43(2), pp. 296-302. doi:10.1249/MSS.0b013e3181ebedf4 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20581720>
- Heiss, R., Lutter, C., Freiwald, J., Hoppe, M. W., Grim, C., Poettgen, K., . . . Hotfiel, T. (2019). Advances in Delayed-Onset Muscle Soreness (DOMS) - Part II: Treatment and Prevention. *Sportverletz Sportschaden*, 33(1), pp. 21-29. doi:10.1055/a-0810-3516 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30865998>
- Hwang, J., Moon, N. R., Heine, O., & Yang, W. H. (2022). The ability of energy recovery in professional soccer players is increased by individualized low-intensity exercise. *PLoS One*, 17(6), p e0270484. doi:10.1371/journal.pone.0270484 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35771850>
- Jewell, C., Boyer, K. A., & Hamill, J. (2017). Do footfall patterns in forefoot runners change over an exhaustive run? *J Sports Sci*, 35(1), pp. 74-80. doi:10.1080/02640414.2016.1156726 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27003185>
- Kelly-Martin, R., Doughty, L., Garkavi, M., & Wasserman, J. B. (2018). Reliability of modified adheremeter and digital pressure algometer in measuring normal abdominal tissue and C-section scars. *J Bodyw Mov Ther*, 22(4), pp. 972-979. doi:10.1016/j.jbmt.2018.02.017 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30368344>
- Kim, H. K., Mirjalili, S. A., & Fernandez, J. (2018). Gait kinetics, kinematics, spatiotemporal and foot plantar pressure alteration in response to long-distance running: Systematic review. *Hum Mov Sci*, 57, pp. 342-356. doi:10.1016/j.humov.2017.09.012 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28947176>
- Koblbauer, I. F., van Schooten, K. S., Verhagen, E. A., & van Dieen, J. H. (2014). Kinematic changes during running-induced fatigue and relations with core endurance in novice runners. *J Sci Med Sport*, 17(4), pp. 419-424. doi:10.1016/j.jsams.2013.05.013 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23790535>
- Koo, T. K., Guo, J. Y., & Brown, C. M. (2013). Test-retest reliability, repeatability, and sensitivity of an automated deformation-controlled indentation on pressure pain threshold measurement. *J Manipulative Physiol Ther*, 36(2), pp. 84-90. doi:10.1016/j.jmpt.2013.01.001 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23499143>

- Kozlovskaja, M., Vlahovich, N., Rathbone, E., Manzanero, S., Keogh, J., & Hughes, D. C. (2019). A profile of health, lifestyle and training habits of 4720 Australian recreational runners-The case for promoting running for health benefits. *Health Promot J Austr*, 30(2), pp. 172-179. doi:10.1002/hpja.30 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30972899>
- Laurent, C. M., Green, J. M., Bishop, P. A., Sjøkvist, J., Schumacker, R. E., Richardson, M. T., & Curtner-Smith, M. (2011). A practical approach to monitoring recovery: development of a perceived recovery status scale. *J Strength Cond Res*, 25(3), pp. 620-628. doi:10.1519/JSC.0b013e3181c69ec6 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20581704>
- Leporace, G. (2021). Variables associated with knee valgus in male soccer.
- Li, F., Newton, R. U., Shi, Y., Sutton, D., & Ding, H. (2021). Correlation of Eccentric Strength, Reactive Strength, and Leg Stiffness With Running Economy in Well-Trained Distance Runners. *J Strength Cond Res*, 35(6), pp. 1491-1499. doi:10.1519/JSC.0000000000003446 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31809458>
- Lieberman, D. E., Warrener, A. G., Wang, J., & Castillo, E. R. (2015). Effects of stride frequency and foot position at landing on braking force, hip torque, impact peak force and the metabolic cost of running in humans. *Journal of Experimental Biology*, 218(Pt 21), pp. 3406-3414. doi:10.1242/jeb.125500 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26538175>
- Lindorfer, J., Kroll, J., & Schwameder, H. (2020). Familiarisation of novice and experienced treadmill users during a running session: Group specific evidence, time and individual patterns. *Hum Mov Sci*, 69, p 102530. doi:10.1016/j.humov.2019.102530 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31739233>
- Lynn, A., Garner, S., Nelson, N., Simper, T. N., Hall, A. C., & Ranchordas, M. K. (2018). Effect of bilberry juice on indices of muscle damage and inflammation in runners completing a half-marathon: a randomised, placebo-controlled trial. *J Int Soc Sports Nutr*, 15, p 22. doi:10.1186/s12970-018-0227-x Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29743826>
- Maas, E., De Bie, J., Vanfleteren, R., Hoogkamer, W., & Vanwanseele, B. (2018). Novice runners show greater changes in kinematics with fatigue compared with competitive runners. *Sports Biomech*, 17(3), pp. 350-360. doi:10.1080/14763141.2017.1347193 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28730917>
- Maykut, J. N., Taylor-Haas, J. A., Paterno, M. V., DiCesare, C. A., & Ford, K. R. (2015). Concurrent validity and reliability of 2d kinematic analysis of



frontal plane motion during running. *Int J Sports Phys Ther*, 10(2), pp. 136-146. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25883862>

- McLellan, C. P., Lovell, D. I., & Gass, G. C. (2010). Creatine kinase and endocrine responses of elite players pre, during, and post rugby league match play. *J Strength Cond Res*, 24(11), pp. 2908-2919. doi:10.1519/JSC.0b013e3181c1fcb1 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20703171>
- Melo, C. C., Carpes, F. P., Vieira, T. M., Mendes, T. T., de Paula, L. V., Chagas, M. H., . . . Andrade, A. G. P. (2020a). Correlation between running asymmetry, mechanical efficiency, and performance during a 10 km run. *J Biomech*, 109, p 109913. doi:10.1016/j.jbiomech.2020.109913 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32807324>
- Melo, C. C., Carpes, F. P., Vieira, T. M., Mendes, T. T., de Paula, L. V., Chagas, M. H., . . . Andrade, A. G. P. (2020b). Correlation between running asymmetry, mechanical efficiency, and performance during a 10km run. *J Biomech*, 109, p 109913. doi:10.1016/j.jbiomech.2020.109913 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32807324>
- Merriau, P., Dupuis, Y., Bouteau, R., Vasseur, P., & Savatier, X. (2017). A Study of Vicon System Positioning Performance. *Sensors (Basel)*, 17(7)doi:10.3390/s17071591 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28686213>
- Metsavaht, L., & Leporace, G. (2020). Current trends in the biokinetic analysis of the foot and ankle. *Journal of the Foot & Ankle*, 14(2), pp. 191-196. doi:10.30795/jfootankle.2020.v14.1189 Retrieved from <https://jfootankle.com/JournalFootAnkle/article/view/1189>
- Mizrahi, J., Verbitsky, O., Isakov, E., & Daily, D. (2000). Effect of fatigue on leg kinematics and impact acceleration in long distance running. *Human movement science*, 19(2), pp. 139-151.
- Mo, S., Lau, F. O. Y., Lok, A. K. Y., Chan, Z. Y. S., Zhang, J. H., Shum, G., & Cheung, R. T. H. (2020). Bilateral asymmetry of running gait in competitive, recreational and novice runners at different speeds. *Hum Mov Sci*, 71, p 102600. doi:10.1016/j.humov.2020.102600 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32174449>
- Morawetz, D., Blank, C., Koller, A., Arvandi, M., Siebert, U., & Schobersberger, W. (2020). Sex-Related Differences After a Single Bout of Maximal Eccentric Exercise in Response to Acute Effects: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Strength Cond Res*, 34(9), pp. 2697-2707. doi:10.1519/JSC.0000000000002867 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30908366>

- Morio, C., Nicol, C., Barla, C., Barthelemy, J., & Berton, E. (2012). Acute and 2 days delayed effects of exhaustive stretch-shortening cycle exercise on barefoot walking and running patterns. *Eur J Appl Physiol*, 112(8), pp. 2817-2827. doi:10.1007/s00421-011-2242-3 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22124522>
- Nichols, T. E., & Holmes, A. P. (2002). Nonparametric permutation tests for functional neuroimaging: a primer with examples. *Hum Brain Mapp*, 15(1), pp. 1-25. doi:10.1002/hbm.1058 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11747097>
- Nigg, B. M., & Wakeling, J. M. (2001). Impact forces and muscle tuning: a new paradigm. *Exerc Sport Sci Rev*, 29(1), pp. 37-41. doi:10.1097/00003677-200101000-00008 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11210446>
- Nikolaidis, P. T., & Knechtle, B. (2022). Participation and performance characteristics in half-marathon run: a brief narrative review. *J Muscle Res Cell Motil* doi:10.1007/s10974-022-09633-1 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36326961>
- Nikolaidis, P. T., Onywera, V. O., & Knechtle, B. (2017). Running Performance, Nationality, Sex, and Age in the 10-km, Half-Marathon, Marathon, and the 100-km Ultramarathon IAAF 1999-2015. *J Strength Cond Res*, 31(8), pp. 2189-2207. doi:10.1519/JSC.0000000000001687 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28731980>
- Oficial-Casado, F., Uriel, J., Perez-Soriano, P., & Priego Quesada, J. I. (2021). Effect of marathon characteristics and runners' time category on pacing profile. *Eur J Sport Sci*, 21(11), pp. 1559-1566. doi:10.1080/17461391.2020.1838621 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/33106120>
- Olson, T. J., Chebny, C., Willson, J. D., Kernozek, T. W., & Straker, J. S. (2011). Comparison of 2D and 3D kinematic changes during a single leg step down following neuromuscular training. *Phys Ther Sport*, 12(2), pp. 93-99. doi:10.1016/j.ptsp.2010.10.002 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21496772>
- Paquette, M. R., Peel, S. A., Schilling, B. K., Melcher, D. A., & Bloomer, R. J. (2017). Soreness-related changes in three-dimensional running biomechanics following eccentric knee extensor exercise. *Eur J Sport Sci*, 17(5), pp. 546-554. doi:10.1080/17461391.2017.1290140 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28276912>
- Paschalis, V., Giakas, G., Baltzopoulos, V., Jamurtas, A. Z., Theoharis, V., Kotzamanidis, C., & Koutedakis, Y. (2007). The effects of muscle damage following eccentric exercise on gait biomechanics. *Gait Posture*, 25(2), pp. 236-242. doi:10.1016/j.gaitpost.2006.04.002 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16714113>

- Pataky, T. C. (2010). Generalized n-dimensional biomechanical field analysis using statistical parametric mapping. *Journal of biomechanics*, 43(10), pp. 1976-1982.
- Reed, M. D., & Van Nostran, W. (2014). Assessing pain intensity with the visual analog scale: a plea for uniformity. *J Clin Pharmacol*, 54(3), pp. 241-244. doi:10.1002/jcph.250 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24374753>
- Reenalda, J., Maartens, E., Buurke, J. H., & Gruber, A. H. (2019). Kinematics and shock attenuation during a prolonged run on the athletic track as measured with inertial magnetic measurement units. *Gait Posture*, 68, pp. 155-160. doi:10.1016/j.gaitpost.2018.11.020 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30481697>
- Reenalda, J., Maartens, E., Homan, L., & Buurke, J. H. J. (2016). Continuous three dimensional analysis of running mechanics during a marathon by means of inertial magnetic measurement units to objectify changes in running mechanics. *J Biomech*, 49(14), pp. 3362-3367. doi:10.1016/j.jbiomech.2016.08.032 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27616268>
- Reinking, M. F., Dugan, L., Ripple, N., Schleper, K., Scholz, H., Spadino, J., . . . McPoil, T. G. (2018). Reliability of Two-Dimensional Video-Based Running Gait Analysis. *Int J Sports Phys Ther*, 13(3), pp. 453-461. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30038831>
- Riazati, S., Caplan, N., & Hayes, P. R. (2019). The number of strides required for treadmill running gait analysis is unaffected by either speed or run duration. *J Biomech*, 97, p 109366. doi:10.1016/j.jbiomech.2019.109366 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31604569>
- Rivera, C. E. (2016). Core and Lumbopelvic Stabilization in Runners. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 27(1), pp. 319-337. doi:10.1016/j.pmr.2015.09.003 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26616187>
- Sakaguchi, M., Shimizu, N., Yanai, T., Stefanyshyn, D. J., & Kawakami, Y. (2015). Hip rotation angle is associated with frontal plane knee joint mechanics during running. *Gait Posture*, 41(2), pp. 557-561. doi:10.1016/j.gaitpost.2014.12.014 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25572723>
- Sanudo, B., Bartolome, D., Tejero, S., Ponce-Gonzalez, J. G., Loza, J. P., & Figueroa, A. (2020). Impact of Active Recovery and Whole-Body Electromyostimulation on Blood-Flow and Blood Lactate Removal in Healthy People. *Front Physiol*, 11, p 310. doi:10.3389/fphys.2020.00310 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32372971>
- Satkunskiene, D., Stasiulis, A., Zaicenkoviene, K., Sakalauskaite, R., & Rauktys, D. (2015). Effect of Muscle-Damaging Eccentric Exercise on Running Kinematics and Economy for Running at Different Intensities. *J*

- Strength Cond Res*, 29(9), pp. 2404-2411.  
doi:10.1519/JSC.0000000000000908 Retrieved from  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25774624>
- Sato, K., & Mokha, M. (2009). Does core strength training influence running kinetics, lower-extremity stability, and 5000-M performance in runners? *J Strength Cond Res*, 23(1), pp. 133-140.  
doi:10.1519/JSC.0b013e31818eb0c5 Retrieved from  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19077735>
- Schmider, E., Ziegler, M., Danay, E., Beyer, L., & Bühner, M. (2010). Is it really robust? Reinvestigating the robustness of ANOVA against violations of the normal distribution assumption. *Methodology: European Journal of Research Methods for the Behavioral and Social Sciences*, 6(4), p 147.
- Schubert, A. G., Kempf, J., & Heiderscheidt, B. C. (2014). Influence of stride frequency and length on running mechanics: a systematic review. *Sports Health*, 6(3), pp. 210-217. doi:10.1177/1941738113508544 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24790690>
- Seki, K., Kyrolainen, H., Sugimoto, K., & Enomoto, Y. (2020). Biomechanical factors affecting energy cost during running utilising different slopes. *J Sports Sci*, 38(1), pp. 6-12. doi:10.1080/02640414.2019.1676527 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31603027>
- Sheerin, K. R., Reid, D., & Besier, T. F. (2019). The measurement of tibial acceleration in runners-A review of the factors that can affect tibial acceleration during running and evidence-based guidelines for its use. *Gait Posture*, 67, pp. 12-24. doi:10.1016/j.gaitpost.2018.09.017 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30248663>
- Sorenson, B., Kernozek, T. W., Willson, J. D., Ragan, R., & Hove, J. (2015). Two- and Three-Dimensional Relationships Between Knee and Hip Kinematic Motion Analysis: Single-Leg Drop-Jump Landings. *J Sport Rehabil*, 24(4), pp. 363-372. doi:10.1123/jsr.2014-0206 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25658442>
- Takahashi, J., Ishihara, K., & Aoki, J. (2006). Effect of aqua exercise on recovery of lower limb muscles after downhill running. *J Sports Sci*, 24(8), pp. 835-842. doi:10.1080/02640410500141737 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16815777>
- Teixeira, R. N., Lunardi, A., da Silva, R. A., Lopes, A. D., & Carvalho, C. R. (2016). Prevalence of Musculoskeletal Pain in Marathon Runners Who Compete at the Elite Level. *Int J Sports Phys Ther*, 11(1), pp. 126-131. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26900507>
- Tojima, M., Noma, K., & Torii, S. (2016). Changes in serum creatine kinase, leg muscle tightness, and delayed onset muscle soreness after a full marathon race. *J Sports Med Phys Fitness*, 56(6), pp. 782-788. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25665742>

- Tokinoya, K., Ishikura, K., Ra, S. G., Ebina, K., Miyakawa, S., & Ohmori, H. (2020). Relationship between early-onset muscle soreness and indirect muscle damage markers and their dynamics after a full marathon. *J Exerc Sci Fit*, 18(3), pp. 115-121. doi:10.1016/j.jesf.2020.03.001 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32351588>
- Tsatalas, T., Giakas, G., Spyropoulos, G., Paschalis, V., Nikolaidis, M. G., Tsaopoulos, D. E., . . . Koutedakis, Y. (2010). The effects of muscle damage on walking biomechanics are speed-dependent. *Eur J Appl Physiol*, 110(5), pp. 977-988. doi:10.1007/s00421-010-1589-1 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20668871>
- Tsatalas, T., Giakas, G., Spyropoulos, G., Sideris, V., Lazaridis, S., Kotzamanidis, C., & Koutedakis, Y. (2013). The effects of eccentric exercise-induced muscle damage on running kinematics at different speeds. *J Sports Sci*, 31(3), pp. 288-298. doi:10.1080/02640414.2012.729135 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23046390>
- Volpato, G. L. (2007). *Bases teóricas para redação científica*
- Weir, G., Willwacher, S., Trudeau, M. B., Wyatt, H., & Hamill, J. (2020). The Influence of Prolonged Running and Footwear on Lower Extremity Joint Stiffness. *Med Sci Sports Exerc*, 52(12), pp. 2608-2614. doi:10.1249/MSS.0000000000002416 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32496368>
- Weiss, K., Valero, D., Villiger, E., Scheer, V., Thuany, M., Cuk, I., . . . Knechtle, B. (2022). The Influence of Environmental Conditions on Pacing in Age Group Marathoners Competing in the "New York City Marathon". *Front Physiol*, 13, p 842935. doi:10.3389/fphys.2022.842935 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35774288>
- Wiewelhove, T., Raeder, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M., & Ferrauti, A. (2016). Effect of Repeated Active Recovery During a High-Intensity Interval-Training Shock Microcycle on Markers of Fatigue. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(8), pp. 1060-1066. doi:10.1123/ijsp.2015-0494 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26999645>
- Willwacher, S., Sanno, M., & Bruggemann, G. P. (2020). Fatigue matters: An intense 10 km run alters frontal and transverse plane joint kinematics in competitive and recreational adult runners. *Gait Posture*, 76, pp. 277-283. doi:10.1016/j.gaitpost.2019.11.016 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31884254>
- Zazulak, B. T., Hewett, T. E., Reeves, N. P., Goldberg, B., & Cholewicki, J. (2007). Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: a prospective biomechanical-epidemiologic study. *Am J Sports Med*, 35(7), pp. 1123-1130. doi:10.1177/0363546507301585 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17468378>

Zeitoune, G., Leporace, G., Batista, L. A., Metsavaht, L., Lucareli, P. R. G., & Nadal, J. (2020). Do hip strength, flexibility and running biomechanics predict dynamic valgus in female recreational runners? *Gait Posture*, 79, pp. 217-223. doi:10.1016/j.gaitpost.2020.05.006 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32442897>

Zemkova, E. (2022). Strength and Power-Related Measures in Assessing Core Muscle Performance in Sport and Rehabilitation. *Front Physiol*, 13, p 861582. doi:10.3389/fphys.2022.861582 Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/35586718>

## **APÊNDICES**

## Apêndice A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)



### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE) Grupo de Pesquisa em Neuromecânica Aplicada (GNAP) - UNIPAMPA

Esse termo de consentimento, cuja cópia lhe foi entregue, é parte de um processo de consentimento informado de um projeto de pesquisa no qual você está sendo convidado a participar. Este termo deve lhe dar uma ideia sobre o que se trata o projeto, e o que sua participação envolverá. Se desejar mais detalhes sobre o estudo ou informação não incluída, sinta-se livre para solicitar. Por favor, leia atentamente esse termo, a fim de que você entenda o objetivo desse projeto, e o seu envolvimento como sujeito participante. O investigador tem o direito de encerrar o seu envolvimento nesse estudo, caso se faça necessário, se você não estiver apto a realizar as atividades no momento da avaliação, ou se a comunicação entre o pesquisador e você se torne ineficaz. De igual forma, você pode retirar o seu consentimento em participar a qualquer momento se assim desejar.

O projeto de pesquisa: “EFEITOS TARDIOS DE CORRER UMA MEIA-MARATONA SOBRE A CINEMÁTICA DE CORREDORES”, o convida para participar deste estudo, que será realizado pelo Grupo de Neuromecânica Aplicada (GNAP) da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). Sua participação envolve 2 visitas ao laboratório de neuromecânica da UNIPAMPA durante aproximadamente 1 hora e 30min, em dias e horários de sua disponibilidade. Será feita uma anamnese individual com questões sobre a prática esportiva, medidas antropométricas, saltos verticais e da força de contato no solo durante o salto (impacto), e através da utilização de câmeras infravermelhas será feita a avaliação da biomecânica de movimento durante a corrida em esteira ergométrica. E ainda será realizada uma prova de corrida de rua prolongada na distância de 21.095 em formato contrarrelógio em ambiente aberto. O projeto de pesquisa tem como objetivo determinar alterações biomecânicas na técnica de corrida após uma competição de longa duração.

Os participantes do estudo terão assistência dos pesquisadores durante a realização do projeto no intuito de minimizar quaisquer riscos a sua saúde física, mental ou social. Os participantes serão recomendados a relatar qualquer desconforto que possam sentir, ou qualquer mal-estar que possam experimentar. O principal benefício em sua participação voluntária será o recebimento dos resultados dos testes, que serão gratuitos, e fornecerão importantes informações sobre características de aterrissagem, impulsão e técnica de corrida servindo de base para seus treinamentos,



visto que as ferramentas de avaliação não estão disponíveis na grande maioria das escolas esportivas. Indiretamente, sua contribuição vai ajudar para ampliar o conhecimento no tema e promover técnicas voltadas ao treinamento e prevenção de lesões. Todas as informações obtidas como parte desse estudo permanecerão confidenciais e sua identidade não será revelada. Para confirmar sua participação, assine as duas vias deste termo, sendo que uma permanecerá em seu poder e outra ficará com o pesquisador responsável pelo projeto.

Os horários podem ser agendados por telefone, email ou pessoalmente, sendo possível a disponibilidade de carona para ir ao campus e também para retornar, bastando combinar com os pesquisadores o dia, horário e o endereço.

Eu \_\_\_\_\_ estou ciente das informações acima e concordo em participar do projeto de pesquisa: Efeitos tardios de correr uma meia-maratona sobre a cinemática de corredores , por livre e espontânea vontade.

Caso deseje maiores informações contate: Felipe P Carpes (Fone – (55) 996612010 – felipecarpes@gmail.com).

Caso deseje contatar o CEP/Unipampa: Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Pampa (Fone – (55) 3413 4321, Ramal: 2289 - cep@unipampa.edu.br.) O CEP/Unipampa fica no Prédio Administrativo da Unipampa – Campus Uruguaiana, sala 23. (As ligações para os telefones de contato podem ser feitas a cobrar)

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

\_\_\_\_\_  
Assinatura Pesquisador

\_\_\_\_\_  
Nome por extenso

\_\_\_\_\_  
Nome por extenso

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

## Apêndice B- Anamnese



PROJETO: 21K

Data: \_\_\_/\_\_\_/2022

1. Nome completo: \_\_\_\_\_

2. Idade: \_\_\_\_\_ anos

3. Sexo: ( ) Masculino ( ) Feminino

4. Telefone para contato: (\_\_\_\_) \_\_\_\_\_ 5. E-mail: \_\_\_\_\_

6. Há quanto tempo você corre regularmente? \_\_\_\_\_ ano(s)

7. Em média, quantos quilômetros você corre por semana?

( ) 0 a 10 km ( ) 11 a 20 km ( ) 21 a 30 km ( ) 31 a 40 km ( ) 41 a 50 km ( ) mais de 50 km

8. Quantas vezes por semana você treina corrida? ( ) 1 ( ) 2 ( ) 3 ( ) 4 ( ) 5 ( ) 6 ( ) 7

9. Você treina em quais tipos de terreno:

( ) Na rua ( ) Na esteira ( ) Em terreno de areia ( ) Na grama ( ) Em estrada de terra

10. Você se considera:

( ) Iniciante (não participa de competições)

( ) Competidor recreacional (compete em circuitos locais)

( ) Competidor amador (compete em circuitos regionais, nacionais, internacionais)

( ) Competidor profissional (se dedica integralmente aos treinamentos e competições)

11. Você já participou de alguma competição de corrida de rua?

( ) Sim ( ) Não

12. Qual seu melhor tempo nos percursos abaixo:

5 km: \_\_\_\_\_ 10 km: \_\_\_\_\_ 21 km: \_\_\_\_\_ 42 km: \_\_\_\_\_

13. Você já teve alguma lesão depois de começar a praticar corrida? ( ) Sim ( ) Não

Informações adicionais sobre a lesão: \_\_\_\_\_

A lesão que você teve foi recente, nos últimos 6 meses? ( ) Sim ( ) Não

14. Você costuma tomar algum medicamento controlado? ( ) Sim ( ) Não

Se sim, qual? \_\_\_\_\_

15. Você costuma tomar algum medicamento anti-inflamatório? ( ) Sim ( ) Não

16. Em caso de dores musculares, como você lida com a dor e continuidade no treinamento?

( ) Continuo ( ) Descanso, espero passar ( ) Faço tratamento terapêutico e ( ) paro ( ) continuo

15. Você pratica outro tipo de exercício físico? ( ) Sim ( ) Não

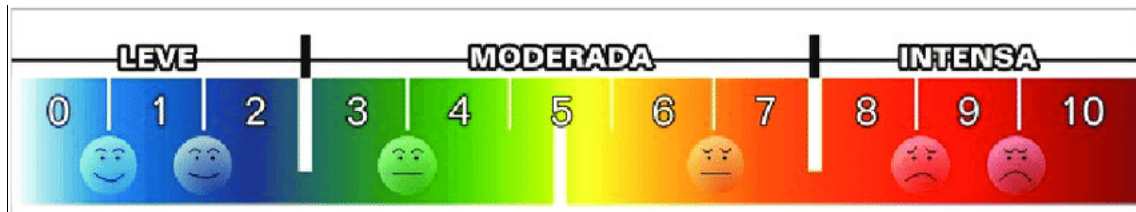
Se sim, qual? \_\_\_\_\_

16. Qual sua perna preferida? ( ) Perna esquerda ( ) Perna direita

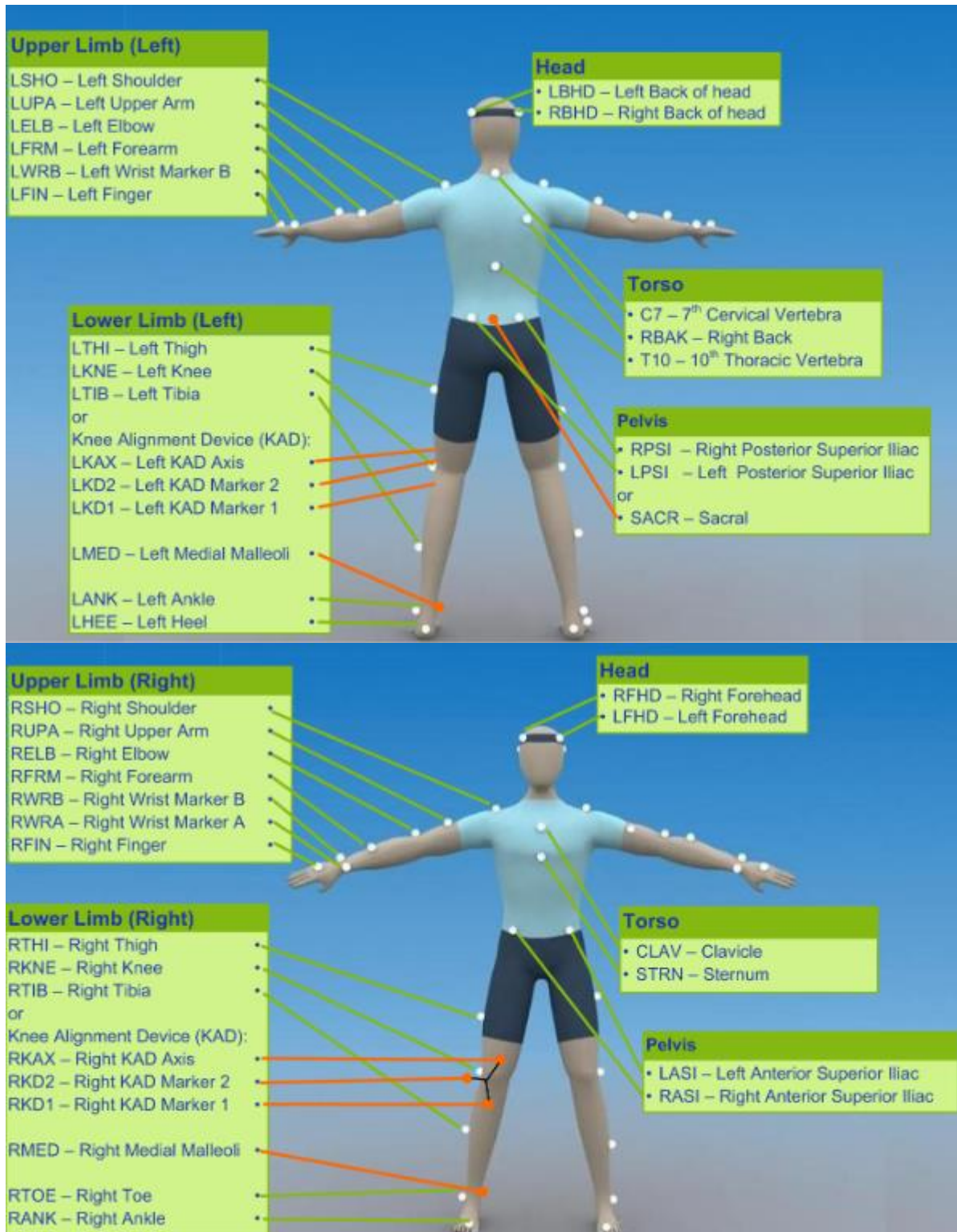
Massa Corporal: \_\_\_\_\_ kg Estatura: \_\_\_\_\_ cm

## **ANEXOS**

## Anexo A- Escala Visual Numérica (NRS)



## Anexo B: Plug and Gait full body model



## **Anexo C – Escala de Borg**

### **Escala de Esforço Percebido**

- 6 Nenhum esforço
- 7
- 8 Extremamente leve
- 9 Muito leve
- 10
- 11 Leve
- 12
- 13 Um pouco difícil
- 14
- 15 Difícil (pesado)
- 16
- 17 Muito difícil
- 18
- 19 Extremamente difícil
- 20 Esforço máximo

## Anexo D- Escala de Recuperação Percebida (ERP)

Escala de recuperação percebida

- |   |   |                     |
|---|---|---------------------|
| 10. Muito bem recuperado                        | } | Melhor que o normal |
| 9.  |   |                     |
| 8. Bem recuperado/ bem energético               |   |                     |
| 7.  | } | Normal              |
| 6. Suficientemente bem recuperado               |   |                     |
| 5. Adequadamente recuperado                     |   |                     |
| 4. Parcialmente recuperado                      | } | Menor que o normal  |
| 3.  |   |                     |
| 2. Pouco recuperado/ ainda cansado              |   |                     |
| 1.  |   |                     |
| 0. Muito pouco recuperado/ extremamente cansado |   |                     |

NUP: 23081.053514/2023-13

Prioridade: Normal

Ato de entrega de dissertação/tese

134.334 - Dissertação e tese

### COMPONENTE

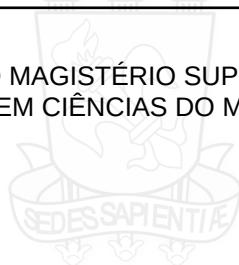
Ordem	Descrição	Nome do arquivo
1	Dissertação de mestrado (134.334)	Dissertação_JeanCarvalho_Efeitos_Tardios_de_correr_uma_meiamaratona.pdf

### Assinaturas

13/04/2023 10:44:19

LUIS ULISSES SIGNORI (PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR)

09.10.07.00.0.0 - CURSO-PROGRAMA PG EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO E REABILITAÇÃO - CPPGCMR



1960



1960

Código Verificador: 2622185

Código CRC: d0ae29f4

Consulte em: <https://portal.ufsm.br/documentos/publico/autenticacao/assinaturas.html>

