

Análise postural baseada na distribuição de pressão plantar

Svitlana Dikhtyarenko

Tese para obtenção do Grau de Doutor em

Ciências do Desporto

(3º ciclo de estudos)

Orientador: Professora Doutora Maria Dulce Leal Esteves
Co-orientador: Professor Doutor Pedro Miguel Gomes Forte

Júri:

Prof. Doutor Daniel Almeida Marinho
Prof. Doutor João Paulo Vilas-Boas Soares Campos
Prof^a. Doutora Beatriz Branquinho Gomes
Prof. Doutor Pedro Alexandre Duarte Mendes
Prof. Doutor Pedro Miguel Gomes Forte

Covilhã, 29 de Outubro de 2025

Declaração de Integridade

Eu, Svitlana Dikhtyarenko, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição D3063 de 3º Ciclo/ Doutoramento em Ciências do Desporto da Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridade da Universidade Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, e que em particular atendi à exigida referência de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assim assumo na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 30 / 11 / 2025

Assinado por: **SVITLANA DIKHTYARENKO**

Num. de Identificação: 30513224

Data: 2025.11.30 18:16:43+00'00'



Dedicatória

A minha família, pelo seu apoio incondicional e pela paciência que demonstraram ao longo do caminho. Aos meus amigos, pela sua companhia e pelas palavras de incentivo. A minha irmã *in memória*, que não pode presenciar este momento, deixando uma saudade eterna. E a todos que, de alguma forma, contribuíram para que este momento fosse possível.

Aos meus orientadores que, com paciência, dedicação e sabedoria, compartilharam seus conhecimentos e inspiraram cada passo da minha jornada.

A todas as pessoas que acreditaram em mim, que me apoiaram desde início dessa jornada, celebrando todos os momentos.

Que este trabalho seja reflexo da minha dedicação, do esforço e do sonho que me acompanharam ao longo do caminho.

Sou imensamente grata por todo o conhecimento adquirido, apoio e incentivo, recebidos ao longo do caminho.

Agradecimentos

“Acreditar de chegar ao fim é já estar no meio do caminho”

Theodore Roosevelt

“O único limite para a nossa realização de amanhã serão as nossas dúvidas de hoje”

Franclin D. Roosevelt

A frase “nós somos donos dos nossos destinos” sempre foi um lembrete inspirador para mim, mas não implica em negar a importância do apoio e da colaboração dos meus orientadores, Pedro Forte e Dulce Esteves, que compartilharam seu conhecimento e acreditaram no meu potencial. A vossa dedicação e orientação foi fundamental para o meu crescimento acadêmico e profissional. Agradeço por acreditar em mim e por me incentivar a alcançar essa meta. Vossa influência positiva é algo que nunca jamais irei esquecer.

Este trabalho não seria completo se não tivesse apoio da minha querida amiga Olena, que me apoio nos bons e maus momentos, acreditando e valorizando meu potencial. O percurso nem sempre foi fácil, tentando ultrapassar os momentos difíceis, posso dizer que a tua amizade sincera fez toda a diferença.

Quero agradecer aos meus alunos, que participaram no estudo, por todas as risadas, conversas e momentos inesquecíveis que compartilhamos. Sem vocês nada disso iria acontecer, convosco não só ensinei, mas também aprendi.

Nunca poderei esquecer o apoio da minha filha e do meu marido pela paciência que tiveram comigo ao longo dos anos. Um OBRIGADA a todos.

Lista das publicações

Esta tese é composta pelas seguintes publicações (artigos):

1. **Dikhtyarenko, S.**, Forte, P., Esteves, D. (2024). Correlation between body composition variables and plantar pressure and pain level. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 26(3). <https://doi.org/10.37190/ABB-02437-2024-03>.
2. **Dikhtyarenko, S.**, Encarnação, S., Forte, P., Esteves, D. The Role of Postural and Plantar Pressure Asymmetries Predicting Pain in Aging Adults. *AIMS Biophysics*, 12(2): 144– 163. <https://doi.org/10.3934/biophy.2025009>.
3. **Dikhtyarenko, S.**, Encarnação, S., Forte, P., Esteves, D. Relationship between Baropodometric Footsteps and Chronic Pain: Effects of a Physical Activity Programmed on Posture and Chronic Pain Levels. *Artigo em revisão*.

A Investigação realizada foi ainda apresentada em congresso científico:

1. **Dikhtyarenko, S.**, Encarnação, S., Forte, P., Esteves, D. (2025) Relationship between Baropodometric Footsteps and Chronic Pain: Effects of a Physical Activity Programmed on Posture and Chronic Pain Levels. CIDESD 2025 Scientific Conference, June 5-7, 2025| University of Beira Interior, Covilhã, Portugal.

Prémios:

1. Melhor apresentação Poster - **Dikhtyarenko, S.**, Encarnação, S., Forte, P., Esteves, D. (2025) Relationship between Baropodometric Footsteps and Chronic Pain: Effects of a Physical Activity Programmed on Posture and Chronic Pain Levels. CIDESD 2025 Scientific Conference, June 5-7, 2025| University of Beira Interior, Covilhã, Portugal.

Foi ainda realizada uma investigação paralela que deu origem a uma publicação e uma apresentação em congresso científico:

Dikhtyarenko, S., Forte, P., Esteves, D. (2022) Ethical Concerns regarding Physiological Tests in Sports. *Ann Appl Physiol*, 1(1). <https://doi.org/10.52547/aapjournal.25>.

Dikhtyarenko, S., Forte, P., Esteves, D. (2022). Ethical Concerns regarding Physiological Tests in Sports. IV Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція молодих вчених «ФІЗИЧНА КУЛЬТУРА, СПОРТ ТА ЗДОРОВ'Я РІЗНИХ ГРУП НАСЕЛЕННЯ», 5 грудня 2022 року, м. Черкаси.

Resumo

A postura corporal constitui um elemento fundamental na biomecânica do corpo humano, estando associada à funcionalidade, ao equilíbrio e à prevenção de lesões musculoesqueléticas. Alterações posturais podem resultar em sobrecargas articulares e musculares, afetando negativamente a mobilidade, o desempenho motor e contribuindo para o surgimento de dor crónica. A avaliação postural é crucial na identificação de assimetrias ou desalinhamentos osteoarticulares, permitindo delinear estratégias de intervenção mais eficazes e personalizadas, orientadas para a correção dos desequilíbrios identificados. Entre os métodos de avaliação funcional existentes, a baropodometria destaca-se como uma ferramenta objetiva e sensível, capaz de quantificar a distribuição da pressão plantar durante a posição estática e dinâmica. O exercício físico, especialmente quando supervisionado e individualizado, tem sido amplamente reconhecido como uma abordagem terapêutica não farmacológica eficaz na correção das alterações posturais, contribuindo não só para a melhoria do alinhamento postural, mas também para a atenuação da sintomatologia dolorosa associada a padrões de movimento disfuncionais.

A presente tese teve como objetivos: (i) comparar os sexos e analisar a magnitude das relações entre assimetrias posturais, composição corporal e distribuição da pressão plantar; (ii) identificar variáveis de composição corporal, posturais e baropodométricas com capacidade explicativa e preditiva dos níveis de dor corporal, e (iii) analisar o impacto de um programa de exercício físico clínico na distribuição da pressão plantar, composição corporal, assimetrias posturais e percepção da dor.

O primeiro estudo vai de encontro ao primeiro objetivo. Foram avaliados 77 participantes, 53 mulheres (68,83%, 54,33 anos, \pm 19,508) e 24 homens (31,17%, 60,72 anos, \pm 16,053) com teste de baropodometria estático (plataforma 'Kinéfis Podia') e bio impedância (balança Laica PS5006). Os resultados mostram diferenças significativas para as assimetrias posturais, composição corporal e distribuição da pressão plantar. Foram encontradas correlações positivamente significativas entre a idade e a altura ($p < 0,05$) e correlações positivas entre a idade e outros fatores como o IMC, a massa gorda, a massa magra e parâmetros relacionados com os pés. Este estudo conclui que a distribuição da pressão plantar varia com o sexo e está relacionada com a composição corporal e o nível de dor.

No segundo estudo procurou-se integrar variáveis de composição corporal, alinhamento postural e distribuição da pressão plantar, usando algoritmos de *machine learning* para identificação de preditores dos níveis de dor auto reportada. A amostra constou de 52

participantes de ambos os sexos (homens: n=17, idade: 57,35 anos, \pm 16,167; mulheres: n=35, idade: 64,69 anos, \pm 18,706). Para completar o protocolo de avaliação postural, foram tiradas quatro imagens de cada participante (plano frontal, plano posterior e dois planos sagitais). Todas as imagens foram analisadas com recurso à plataforma *APECS Pro Plus* (versão 8.4.11). A dor foi avaliada através da escala numérica de avaliação da dor. Para a análise estatística foram utilizadas comparações entre grupos (teste t de Student) e algoritmos de aprendizagem automática (machine learning). Verificaram-se diferenças estatisticamente significativas entre os sexos relativamente à altura, peso, percentagem de massa magra, metabolismo basal, número do calçado, área do pé esquerdo, eixo podal e distâncias entre os centros de pressão plantar (COP) e o centro de massa corporal. Foram ainda observadas diferenças significativas no ângulo dos ombros ($p = 0,002$). A análise preditiva identificou o desvio lateral do pescoço para a esquerda e o ângulo do joelho esquerdo como variáveis preditoras dos níveis de dor relatados.

O terceiro estudo, de desenho experimental, avaliou o impacto de um programa estruturado de exercício físico clínico que consiste numa abordagem com prescrição de exercícios personalizados e monitorizados sobre os parâmetros posturais, a redistribuição da pressão plantar e os níveis de dor numa amostra de 52 adultos, mulheres: 67,3%; (n=35; 64,69 anos, \pm 18,706), homens: 32,7% (n=17; 57,35 anos, \pm 16,167). Os resultados reportam alterações significativas entre os momentos avaliados (pré e pós-intervenção) ($p < 0,05$), sugerindo que o programa de exercícios clínicos implementado teve um impacto positivo nas variáveis posturais. Os dados revelaram uma melhoria significativa nos alinhamentos posturais, uma redistribuição funcional da carga plantar e uma redução de 41% nos níveis de dor corporal auto referida após a intervenção. Adicionalmente, observou-se um ganho médio de 18% nos parâmetros baropodométricos do pé, entre eles a área de contacto e o ângulo do pé, indicando ganhos funcionais (aumento de massa magra e redução de massa gorda).

Os resultados obtidos nos três estudos parecem indicar que alterações posturais estão associadas a padrões disfuncionais de carga plantar e a níveis aumentados de dor corporal, atuando como um fator limitador da função e da qualidade de vida. A introdução de algoritmos de *machine learning* revelou-se particularmente promissora na identificação de variáveis preditoras de dor, oferecendo novas possibilidades para a individualização da intervenção a realizar. O exercício físico supervisionado, individualizado e específico mostrou-se uma intervenção eficaz e segura, com benefícios estatisticamente significativos na correção de assimetrias posturais, na modulação da distribuição plantar e na atenuação da dor musculoesquelética.

Esta tese enfatiza a importância da avaliação postural com uso da baropodometria e de desenho de programas de exercício individualizadas e supervisionadas para a correção postural, com significantes benefícios na mobilidade e qualidade de vida do indivíduo.

Palavras-Chave: pressão plantar, assimetria postural, baropodómetria, dor corporal.

Abstract

Body posture is a fundamental element in the biomechanics of the human body, being associated with functionality, balance and the prevention of musculoskeletal injuries. Postural changes can result in joint and muscle overload, negatively affecting mobility and motor performance and contributing to the onset of chronic pain. Postural assessment is crucial in identifying osteoarticular asymmetries or misalignments, allowing for the development of more effective and personalised intervention strategies aimed at correcting the identified imbalances. Among the existing functional assessment methods, baropodometry stands out as an objective and sensitive tool, capable of quantifying plantar pressure distribution during static and dynamic positions. Physical exercise, especially when supervised and individualised, has been widely recognised as an effective non-pharmacological therapeutic approach in correcting postural changes, contributing not only to improved postural alignment but also to the attenuation of painful symptoms associated with dysfunctional movement patterns.

The objectives of this thesis were: (i) to compare the sexes and analyse the magnitude of the relationships between postural asymmetries, body composition and plantar pressure distribution; (ii) to identify body composition, postural and baropodometric variables with explanatory and predictive capacity for levels of body pain, and (ii) to analyse the impact of a clinical physical exercise programme on plantar pressure distribution, body composition, postural asymmetries and pain perception.

The first study meets the first objective. Seventy-seven participants were evaluated, 53 women (68.83%, 54.33 years, \pm 19.508) and 24 men (31.17%, 60.72 years, \pm 16.053) were evaluated with static baropodometry (Kinefis Podia platform) and bioimpedance (Laica PS5006). The results show significant differences in postural asymmetries, body composition and plantar pressure distribution. Significant negative correlations were found between age and height ($p < 0.05$) and positive correlations between age and other factors such as BMI, fat mass, lean mass and foot-related parameters. This study concludes that plantar pressure distribution varies with gender and is related to body composition and pain level.

The second study sought to integrate variables of body composition, postural alignment, and plantar pressure distribution, using machine learning algorithms to identify predictors of self-reported pain levels. The sample consisted of 52 participants of both sexes (men: $n=17$, age: 57.35 years, \pm 16.167; women: $n=35$, age: 64.69 years, \pm 18.706). Pain was assessed using a numerical pain rating scale. For statistical analysis, comparisons between groups (Student's t-test) and machine learning algorithms were

used. Statistically significant differences were found between the sexes in terms of height, weight, lean mass percentage, basal metabolism, shoe size, left foot area, foot axis, and distances between the centres of plantar pressure (COP) and the centre of body mass. Significant differences were also observed in shoulder angle ($p = 0.002$). Predictive analysis identified lateral deviation of the neck to the left and left knee angle as predictors of reported pain levels.

The third study, an experimental design, evaluated the impact of a structured clinical exercise programme on postural parameters, plantar pressure redistribution and pain levels in a sample of 52 adults ($n=52$), women: 67.3% ($n=35$; 64.69 years, ± 18.706), men: 32.7% ($n=17$; 57.35 years, ± 16.167). The results report significant changes between the moments evaluated (pre- and post-intervention) ($p<0.05$), suggesting that the exercise programme implemented had a positive impact on postural variables. The data revealed a significant improvement in postural alignments, a functional redistribution of plantar load and a 41% reduction in self-reported body pain levels after the intervention. In addition, an average gain of 18% was observed in the baropodometric parameters of gait, indicating measurable functional gains with the intervention. The results obtained in the three studies seem to indicate that postural changes are associated with dysfunctional plantar load patterns and increased levels of body pain, acting as a limiting factor in function and quality of life. The introduction of machine learning algorithms proved particularly promising in identifying predictors of pain, offering new possibilities for individualising the intervention to be performed. Supervised, individualised and specific physical exercise proved to be an effective and safe intervention, with statistically significant benefits in correcting postural asymmetries, modulating plantar distribution and attenuating musculoskeletal pain.

This thesis emphasises the importance of postural assessment using baropodometry and the design of individualised and supervised exercise programmes for postural correction, with significant benefits for the individual's mobility and quality of life.

Keywords: plantar pressure, postural asymmetry, baropodometry, body pain.

Índice

Dedicatória	v
Agradecimentos	vii
Lista das publicações	ix
Resumo	xii
Abstract	xvi
Lista de Figuras	xxi
Lista de Tabelas	xxiv
Lista de Acrónimos	xxvi
Capítulo I: Introdução	1
Descrição detalhada	6
Programa de exercício físico	8
Capítulo II: Correlação entre variáveis de composição corporal e pressão plantar e nível de dor	11
Resumo	11
Introdução	11
Métodos	13
Desenho do estudo	13
Amostra	14
Distribuição da pressão plantar	14
Nível da dor	15
Análise estatística	16
Resultados	16
Discussão	22
Conclusão	24
Capítulo III: O papel das assimetrias posturais e da pressão plantar na previsão da dor em adultos idosos	25
Resumo	25
INTRODUÇÃO	26
Composição corporal (BIA)	27
Distribuição da Pressão plantar	28
Centro de Pressão (COP) e Centro de Massa (COM)	29
Nível da dor	29
METODOS	30
Desenho do estudo	30
Amostra	30
Análise Estatística	32
Descritivos e diferenciais	32
Análise exploratória de dados	32
Abordagem de “Machine learning”	32
RESULTADOS	35
Análise descritiva	35
Análise comparativa entre sexos para variáveis antropométricas, composição corporal, nível de dor e imagens baropodométricas	37
Comparações das Assimetrias Posturais entre sexos	37
Resultados de Machine Learning	38

Discussão -----	39
Conclusão -----	41
Capítulo IV: Relação entre as imagens Baropodométricas e Dor Crónica: Efeitos de um Programa de Exercício Físico na Postura e nos Níveis de Dor Crónica -----	43
Resumo -----	43
Introdução -----	44
Métodos -----	46
Desenho do estudo -----	46
Amostra -----	46
Composição corporal -----	47
Distribuição da pressão plantar -----	48
Centro de pressão e centro de massa -----	48
Ponto de pressão máxima 'M' -----	49
Nível da dor -----	53
Assimetria postural -----	53
Programa de treino -----	54
Análise estatística -----	58
Resultados -----	58
A análise descritiva das assimetrias posturais -----	60
Comparação entre momentos -----	62
Comparações para o género feminino (N = 35) -----	63
Comparações para o género masculino (N = 17) -----	64
Nível da dor -----	65
Comparações por classificações dos pés -----	65
Discussão -----	65
Limitações do estudo e direções futuras -----	67
Conclusão -----	67
Capítulo V -----	69
Discussão Geral -----	69
Capítulo VI -----	75
Conclusão -----	75
Limitações e Estudos futuros -----	76
Capítulo VII: Referências bibliográficas -----	77
Referências da introdução e da discussão -----	77
Referências do Estudo 1 -----	90
Referências do Estudo 2 -----	95
Referências do Estudo 3 -----	102
ANEXOS -----	108

Lista de Figuras

Figura 1. Escala numérica de Avaliação da dor	7
Figura 2. Mapa de calor das associações entre as variáveis avaliadas	21
Figura 3. Imagem Estática.....	28
Figura 4. Matriz de correlação entre a variável independente e a variável dependente	33
Figura 5. Grupo I	49
Figura 6. Grupo II.....	50
Figura 7. Grupo III	50
Figura 8. Grupo IV.....	51
Figura 9. Grupo V	51
Figura 10. Grupo VI.....	52
Figura 11. Grupo VII	52

Lista de Tabelas

Tabela 1. Análise descritiva e comparações da antropometria e composição corporal, nível de dor e distribuição da pressão plantar nos pés por sexo e amostra total	18
Tabela 2. Associações significativas entre antropometria, composição corporal e distribuição da pressão plantar nos pés entre os sexos	19
Tabela 3. Associações significativas entre antropometria, composição corporal e distribuição da pressão plantar entre os sexos.....	20
Tabela 4. Características mais correlacionadas com os níveis de dor corporal dos participantes	34
Tabela 5. Médias e desvios-padrão para as variáveis antropométricas, composição corporal, nível da dor, baropodometria e assimetrias posturais.....	36
Tabela 6. Valor do teste (F) e significância (p) para comparações entre sexos e variáveis antropométricas, composição corporal, nível de dor e imagens baropodométricas.....	37
Tabela 7. Comparação entre sexos para as assimetrias posturais.	38
Tabela 8. Resumo do desempenho do algoritmo de aprendizagem automática para prever pontuações de dor corporal com base no desvio esquerdo do pescoço, no índice de massa corporal e na massa magra.	39
Tabela 9. Programa de treino.	56
Tabela 10. Estatística descritiva das variáveis de composição corporal, antropométrias, nível de dor e variáveis baropodométricas.....	59
Tabela 11. Análise descritiva de assimetrias posturais.	61
Tabela 12. Comparações entre o antes e o depois da intervenção para as variáveis avaliadas.	62
Tabela 13. Comparações entre o momento pré e pós para as variáveis do gênero feminino.....	63
Tabela 14. Comparações entre pré e pós-intervenção para as variáveis do gênero masculino.....	64
Tabela 15. Comparação entre os momentos pré e pós para o grupo de classificação dos pés.....	65

Lista de Acrónimos

ACSM – American College of Sports medicine

APECS – AI Posture Evaluation System

BIA – Bioimpedance Analyzer

COM – Center of Mass

COP – Center of Pressure

M – Ponto de pressão máxima

d - Cohen classified effect sizes

Kpa – unidade padrão de pressão

n – Número natural positivo

NRSP – Numeric Pain Rating Scale

RMSE – Root Mean square error

Rp – Pearson´s correlation

Sd – Standart deviation

UBI – University of Beira Interior

VAS – Visual Analogue Scale

VRS – Verbal Rating Scale

XYZ – Eixos ortogonais

Capítulo 1

Introdução

O corpo humano ao longo do seu desenvolvimento sofre inúmeras alterações antropomórficas que influenciam a sua postura, como a estatura e massa corporal, o comprimento dos membros, IMC, os valores de composição corporal (Van Humbeeck & Krampe, 2023), ou alterações mais específicas como os níveis hormonais e sanguíneos (Magee, 2010). A avaliação postural é fundamental, tanto na eficácia do nosso desempenho no dia-a-dia, como na prevenção de dor (Du et al., 2023; Saggini et al., 2021), possíveis lesões e desequilíbrios corporais (Dakin & Bolton, 2018; Gonçalves et al., 2012). De facto, os métodos e as técnicas de análise postural têm vindo a consolidar o seu valor indiscutível na prevenção de dor e de possíveis lesões corporais (Coyler et al., 2018; Faries & Greenwood, 2007), desde os mais comuns, como a análise visual (Andreas & Johanssons, 2018), até às técnicas mais sofisticadas, que requerem a ajuda de diferentes tipos de equipamentos (Maskeliūnas et al., 2023; Pivotto et al., 2021; Singla et al., 2017).

O envelhecimento é acompanhado por uma diminuição da densidade mineral óssea (DMO) e alterações degenerativas nas estruturas da coluna vertebral, o que pode afetar a qualidade de vida (Hong et al., 2021). A perda óssea acelerada nas estruturas da coluna vertebral pode resultar em um risco aumentado de fraturas espinhais incidentais, e as alterações nas estruturas da coluna vertebral decorrentes da degeneração podem levar a um funcionamento anormal do pescoço e dor na população idosa (Hong et al., 2019).

Assim, torna-se muito importante escolher o método mais indicado para fazer a avaliação postural em cada caso, sendo a análise de Raio-X apresentada como *gold standard* (Alves et al., 2020) no caso da quantificação das assimetrias.

Ultimamente, surge uma maior variedade de técnicas sofisticadas de análise biomecânica, que nos permitem identificar sinais de desequilíbrio corporal que se refere à dificuldade em manter a postura e o equilíbrio ao ficar de pé ou caminhar, podendo causar sensação de instabilidade ou tendência de cair (Anacleto Filho et al., 2024; Roggio et al., 2024; Shakourisalim et al., 2024). A falta de equilíbrio é um sintoma que pode ter diversas causas, desde problemas no sistema vestibular (ouvido interno) a problemas neurológicos ou cardíacos e que por si podem desencadear um longo processo de adaptação do sistema músculo-esquelético (Marcoli et al., 2022; Monteiro et al., 2024; Nazrien et al., 2024; Westlake & Culham, 2006). A prática diária de uma série de exercícios de mobilidade articular e de alongamentos musculares pode auxiliar na

prevenção dos desvios posturais, podendo não só promover a diminuição dos desvios, mas também a diminuição das dores localizadas em determinadas articulações sobrecarregadas e, conseqüente, uma melhoria do estado geral de saúde e da qualidade de vida (Porto et al., 2024; Salsali et al., 2023; Zanuto & Zwarg, 2008).

Uma revisão recente da literatura revela que o número de publicações sobre estudos baropodométricos tem aumentado exponencialmente nos últimos anos, tanto em contextos clínicos como de investigação. Estima-se que, em 2010, existissem cerca de 500 publicações nesta área, número que subiu para aproximadamente 1700 em 2019 (Castro, 2019).

A baropodometria é um exame quantitativo que mede e compara a pressão exercida na região plantar dos pés, utilizando uma plataforma equipada com um elevado número de sensores. Este exame é realizado com recurso a um equipamento denominado baropodómetro, podendo ser efetuado em condições estáticas ou dinâmicas, com o indivíduo em posição ortostática (Machado et al., 2021; Padrón et al., 2023). Trata-se de uma técnica com elevado valor diagnóstico, uma vez que fornece dados visuais e objetivos sobre a distribuição da pressão plantar, os picos de pressão, áreas de risco e eventuais anomalias biomecânicas ao nível dos pés, da pélvis e da coluna vertebral (Baumfeld et al., 2017; Bricot, 2008). O baropodómetro é composto essencialmente por um hardware (plataforma com sensores de pressão e circuitos de condicionamento de sinal) e um software desenvolvido para aquisição de dados com uma frequência de amostragem adequada à avaliação postural estática e dinâmica (Baumfeld et al., 2018; Razaret et al., 2012). Este equipamento permite detetar alterações posturais através da medição da pressão exercida pelos pés sobre a plataforma. A informação recolhida é utilizada para apoiar o diagnóstico clínico e para identificar áreas em sobrecarga ou subcarga, nomeadamente os pontos anatómicos sujeitos a pressões excessivas (Baumfeld et al., 2018; Giacomozzi, 2010). Para além da avaliação da distribuição da força plantar, a baropodometria é frequentemente utilizada por podologistas no desenvolvimento de palmilhas personalizadas (Stebbins et al., 2005). Esta técnica é igualmente reconhecida como ferramenta de apoio à análise biomecânica em contexto desportivo, permitindo avaliar as cargas plantares em diferentes modalidades e identificar alterações na execução dos movimentos (Marasco, 2023; Nordin et al., 2003; Romero-Franco et al., 2015). Os relatórios obtidos através deste sistema complementam a avaliação clínica, sendo úteis em fases pré e pós-cirúrgicas, bem como em contextos de tratamento ou reabilitação (Magee, 2010; Notarnicola et al., 2018; Parisi et al., 2023).

O controlo postural, visto como é a capacidade do corpo em manter o centro de gravidade da base de sustentação em situações estáticas (Duarte, 2010). Patella et al. (2003)

demonstraram que a distribuição da carga plantar está diretamente relacionada com a postura e o equilíbrio postural. A posição vertical do corpo é considerada uma “posição de repouso e equilíbrio”, alcançada pela sinergia entre músculos agonistas e antagonistas, cuja tensão harmoniosa permite a manutenção de uma postura eficiente, com reduzido stress mecânico e fisiológico. Nas avaliações estáticas (ou “semi-estáticas”) realizadas com plataforma de força, é habitualmente utilizado um protocolo de aproximadamente 30 segundos, durante os quais o paciente permanece imóvel sobre a plataforma (Lemos et al., 2015).

Uma análise postural adequada exige um conhecimento aprofundado da anatomia do pé. Segundo Tachdjian e Chimell (2001), o pé pode ser dividido em três segmentos: tarso, metatarso e dedos. O tarso, por sua vez, compreende duas porções: o protarso (região proximal), constituído pelos dois maiores ossos do pé — calcâneo e tálus — e o mesotarso (região distal), que inclui: osso navicular, osso cuboide e 3 ossos cuneiformes: medial, intermédio e lateral. O complexo ósseo do tarso apresenta uma face superior convexa e uma face inferior côncava (D’Angelo & Fattini, 2003). A fotogrametria, frequentemente utilizada como complemento, permite identificar assimetrias posturais e quantificar a sua magnitude em graus ou centímetros (Forte et al., 2015).

Partindo do pressuposto de que um alinhamento corporal adequado promove movimentos mais eficientes e reduz a sobrecarga neuromuscular e osteoarticular (Kusabara, 2019), as más posturas podem resultar em situações de stress ósseo e muscular, inflamação e dor (Souza, 2014). Nas últimas décadas, tem-se verificado um aumento significativo do número de pessoas que vivem com dores crónicas na coluna vertebral, frequentemente associadas a alterações posturais. Os fatores relacionados com estas condições incluem trabalhos sedentários ou fisicamente exigentes, baixa aptidão física e sarcopenia (Kusabara, 2019).

A sarcopenia é definida como a perda progressiva e generalizada de massa e força muscular, resultando numa diminuição da funcionalidade física, aumento do risco de quedas e maior morbimortalidade (Rodrigues et al., 2022). Neste contexto, as intervenções não farmacológicas, como a prática regular de exercício físico, têm sido amplamente reconhecidas como estratégias eficazes na prevenção e tratamento da sarcopenia, sendo os indivíduos sedentários os mais suscetíveis (Coletti et al., 2022).

Nesse sentido, deve ser promovido o funcionamento natural do organismo, a partir do desenvolvimento da consciência postural e do alinhamento cabeça-pescoço-tronco durante as atividades do quotidiano (Minghelli, 2022; Santos, 2014). Uma má postura pode ser caracterizada pela presença de

desalinhamentos, desvios ou assimetrias na coluna vertebral e por diferenças posicionais ao nível das articulações corporais, nomeadamente na altura e alinhamento das mesmas (Duarte, 2010). Tais alterações, quando perpetuadas por hábitos posturais incorretos, podem, a longo prazo, estar na origem de problemas como o desgaste das articulações, degeneração dos discos intervertebrais e compressões nervosas (Kusabara, 2019).

Segundo um estudo de Costa (2002), citado por Paiva, Marques e Paiva (2009), a prevalência de dor musculoesquelética em jovens é de aproximadamente 28%. Este quadro álgico interfere significativamente com a qualidade de vida e o desempenho em atividades escolares e desportivas. De acordo com os mesmos autores, a prevalência de dores musculoesqueléticas pode atingir valores até 60%, sendo as regiões mais afetadas a coluna cervical, a coluna lombar e os ombros (Paiva et al., 2009).

Face ao exposto, evidencia-se uma associação entre alterações posturais — que podem ser identificadas através da análise baropodométrica — e a ocorrência de dor musculoesquelética. Uma das estratégias mais eficazes para a promoção, manutenção e correção da postura corporal é o exercício físico (Loudon, 2008; Porto et al., 2024; Xing & Popik, 2020). Este tem como objetivo complementar os cuidados médicos, contribuindo para a atenuação de sinais e sintomas de diversas condições clínicas, acelerando a recuperação e melhorando a qualidade de vida (Loudon, 2008).

A evidência científica demonstra os múltiplos benefícios do exercício físico (Walzik et al., 2024), incluindo a normalização da tensão arterial (Barone Gibbs et al., 2021), a regulação hormonal (Mennitti et al., 2024; Nieman, 2007), a estabilização dos níveis de glicemia (Santos, 2018; Shah et al., 2021), a melhoria do perfil lipídico (Doewes et al., 2023), a redução do peso corporal (Kolnes et al., 2021), o aumento da massa muscular (McLeod et al., 2024), a melhoria da mobilidade articular (Izquierdo, 2024) e a diminuição da dor articular (Ambrose & Golightly, 2015; Neuberger, 2007).

A prescrição do exercício deve ser individualizada, baseada numa avaliação abrangente da condição física, da composição corporal e da análise postural do indivíduo, de modo a garantir a eficácia e a segurança da intervenção (Lou et al., 2023; Sepehri et al., 2024; Wackerhage & Schoenfeld, 2021).

Os estudos que investigam os efeitos do exercício físico na melhoria da postura corporal e na redução da dor indicam que os benefícios decorrem de uma combinação entre fortalecimento muscular, desenvolvimento da flexibilidade e incremento da consciência

corporal (Sepehri et al., 2024). A escolha dos exercícios, a frequência das sessões de treino, a duração, a intensidade e a progressão devem obedecer aos princípios fundamentais do treino (Brito, 2020; Wackerhage & Schoenfeld, 2021). Nos últimos anos, tem-se verificado uma crescente valorização da variabilidade nos programas de treino, sendo reportado que a manipulação de variáveis como o número de séries e repetições, a velocidade de execução e a intensidade das cargas pode influenciar significativamente as adaptações fisiológicas ao exercício (Oliveira, 2020).

Objetivos do estudo

A técnica de baropodometria permite identificar e comparar diferenças na distribuição da pressão plantar entre várias zonas de cada pé, fornecendo dados relevantes sobre o equilíbrio postural e a biomecânica. Com base nesse princípio, definiram-se os seguintes objetivos para o presente estudo:

- Comparar, entre sexos, a magnitude das relações entre assimetrias posturais (avaliadas através de fotogrametria e medição de distâncias ou dimensões a partir de imagens fotográficas), composição corporal e distribuição da pressão plantar;
- Identificar variáveis de composição corporal, posturais e baropodométricas que expliquem e prevejam os níveis de dor corporal;
- Analisar de que forma um programa de exercício físico clínico influencia a distribuição da pressão plantar, a composição corporal, as assimetrias posturais e os níveis de dor corporal em indivíduos adultos.

Hipóteses do Estudo

Partindo do pressuposto de que a postura corporal, a composição corporal e os níveis de dor variam em função do sexo e da prática regular de exercício físico, e assumindo que é possível prever os níveis de dor com base em variáveis de caracterização antropométrica e morfológica, foram formuladas as seguintes hipóteses:

- Existem diferenças estatisticamente significativas entre sexos, bem como relações entre as assimetrias posturais (avaliadas por fotogrametria), a composição corporal e a distribuição da pressão plantar em indivíduos adultos (Blaszczyk et al., 2014);

- É possível identificar variáveis de composição corporal, posturais e baropodométricas com poder explicativo e preditivo dos níveis de dor corporal, recorrendo a técnicas de Machine Learning (Lee et al., 2023);
- A implementação de um programa de exercício físico clínico conduz a melhorias na distribuição da pressão plantar, na composição corporal, na correção de assimetrias posturais e na redução dos níveis de dor em indivíduos adultos (Cheng et al., 2024).

Descrição detalhada

Na prática do exercício físico torna-se fundamental o controlo das variáveis relacionadas com o centro de gravidade (COG) e o centro de pressão (COP), especialmente quando associadas à avaliação baropodométrica (Bankoff, 2006; Baumfeld et al., 2018). O COG representa um valor estimado que se refere ao ponto onde o peso total do corpo se encontra concentrado, enquanto o COP corresponde ao ponto de aplicação da força resultante exercida pela superfície de apoio sobre o corpo, podendo ser diretamente medido por meio de plataformas de pressão ou plataformas de força (Chen et al., 2021). A sua aplicação prática também difere: o COG é geralmente utilizado para analisar o efeito resultante das forças que atuam sobre o corpo ou sobre segmentos corporais (Tesio & Rota, 2019), ao passo que o COP é amplamente utilizado na avaliação do equilíbrio corporal (Nordin et al., 2003), sendo um indicador sensível da estabilidade postural (Li et al., 2020).

A literatura científica documenta a ampla utilização da análise do COP em diferentes contextos clínicos e populacionais, incluindo idosos (Araujo et al., 2011; Fujimoto et al., 2015; Langeard et al., 2024; Quijoux et al., 2021), indivíduos com vertigem posicional paroxística benigna (Lanca et al., 2013), pessoas com lombalgia crónica (Sung et al., 2024; Volpe et al., 2006) e pacientes com sequelas de acidente vascular cerebral (Kılınc et al., 2023; Tassel-Ponche et al., 2015). Para além disso, o COP pode também ser utilizado na avaliação de indivíduos saudáveis, ou na monitorização dos efeitos de intervenções farmacológicas e do uso de diferentes tipos de calçado (Aoki et al., 2024; Nordin & Frankel, 2003).

Neste contexto, a presente investigação tem como objetivo avaliar um grupo misto de participantes voluntários (sexo masculino e feminino), com idades superiores a 18 anos e características antropométricas distintas (peso e estatura). Pretende-se verificar se as alterações posturais corporais apresentam relação com os níveis de dor, em particular com a dor na região dorsal e lombar.

Para o efeito, os participantes serão submetidos a um teste estático numa plataforma baropodométrica com sensores de elevada sensibilidade, que registará a distribuição de pressões plantares durante um período entre 30 e 90 segundos, dependendo da capacidade funcional e estabilidade individual. A avaliação será realizada em posição bípede, com os braços ao longo do corpo e o olhar orientado para a frente. Os dados recolhidos serão processados pelo software Motux Estudio, permitindo a identificação da posição do ponto de pressão máxima (designado por “M”).

A localização do centro de pressão permite detetar alterações anatómicas e funcionais em toda a extremidade inferior, as quais podem interferir no alinhamento e nos padrões de movimento do pé e tornozelo. A análise da distribuição da pressão plantar ajuda a identificar desvios no alinhamento e nos padrões de movimento do pé e tornozelo que podem causar dor ou disfunção. Estas alterações biomecânicas originam a sobrecarga nos tecidos moles e estruturas ósseas, favorecendo o aparecimento de microtraumatismos cumulativos e dor músculo-esquelética, com possível comprometimento funcional (Tokars et al., 2003). Com base na análise da localização do ponto de pressão máxima, será possível categorizar os participantes em grupos de acordo com padrões semelhantes de distribuição plantar.

As alterações na distribuição da pressão plantar podem atingir magnitudes suficientemente elevadas para originar deformidades e patologias plantares progressivas (Bankoff, 2006). A baropodometria, ao permitir a recolha de dados em tempo real, contribui para a deteção precoce de instabilidade postural, fornece informações sobre a disfunção funcional responsável pelo desequilíbrio corporal e complementa o diagnóstico clínico convencional. É, por isso, considerada uma ferramenta relevante na definição do prognóstico e no acompanhamento terapêutico em diversas patologias. Possibilita ainda a identificação de alterações precoces no equilíbrio corporal em diferentes condições experimentais (por exemplo, com olhos abertos ou fechados, e em superfícies estáveis ou instáveis, Gimenez et al., 2018).

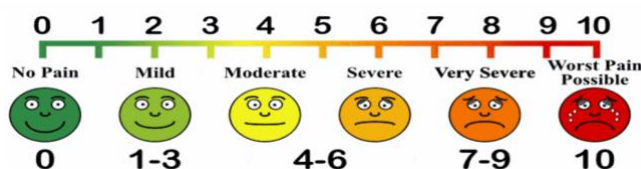


Figura 1. Escala numérica de Avaliação da dor

Para a avaliação das assimetrias posturais, foi utilizado o protocolo do sistema *APECS AI* (Avaliação e Prescrição de Exercícios para Correção da Postura), um software desenvolvido para a análise postural com base em técnicas de fotogrametria não invasivas. Este sistema permite, de forma precisa, avaliar desvios posturais e prescrever exercícios corretivos com vista à prevenção e reabilitação de alterações morfofuncionais.

A avaliação consistiu em posicionar o participante descalço diante de um fundo neutro, com os pés afastados à largura da anca e os braços relaxados ao longo do corpo. Foram recolhidas quatro imagens digitais a partir de diferentes ângulos: vistas frontal (anterior e posterior) e sagital (laterais direita e esquerda), permitindo uma análise tridimensional e abrangente da postura global do indivíduo. As imagens foram captadas a uma distância aproximada de 2,5 metros.

As fotografias obtidas foram posteriormente inseridas no software *APECS*, que, através de tecnologia de inteligência artificial, identificou automaticamente os principais pontos anatómicos de referência, analisando o alinhamento postural e a simetria entre segmentos corporais. A análise computadorizada permitiu detetar eventuais desvios ao alinhamento postural ideal, considerando como referência uma assimetria nula (0°). As assimetrias foram quantificadas em graus ($^\circ$), permitindo uma medição objetiva e padronizada das alterações posturais.

Programa de exercício clínico

Como já foi referido, os benefícios do exercício físico são amplamente reconhecidos e sustentados pela evidência científica, sendo atribuídos a este um papel determinante na promoção da saúde e bem-estar (Ekelund et al., 2024; Rebelo-Marques et al., 2018). Entre os seus efeitos mais relevantes destacam-se: a promoção do bem-estar psicológico e a redução do stress, ansiedade e sintomas depressivos; a melhoria das funções cognitivas, da autoimagem e da autoestima; a diminuição do absentismo laboral; o controlo da tensão arterial, do perfil lipídico e da glicemia; a melhoria da qualidade do sono; o controlo ponderal; o aumento da mineralização óssea em idades jovens, contribuindo para a prevenção da osteoporose e fraturas em idades mais avançadas; e ainda a prevenção e controlo de doenças crónicas (Rebelo et al., 2018).

O exercício físico consiste numa atividade sistemática e orientada com o objetivo de induzir adaptações fisiológicas (e psicológicas) positivas, promovendo a melhoria da aptidão física e da saúde sem comprometer a integridade do organismo (McGuff & Little, 2009). A par de uma intervenção baseada no conhecimento científico, o profissional de exercício deve adotar práticas seguras e individualizadas, tendo em consideração as

especificidades estruturais, articulares, musculares e fisiológicas de cada indivíduo (Fisher et al., 2014; Lou et al., 2023; Wackerhage & Schoenfeld, 2021). A incorporação destas competências permite desenvolver uma prática sustentada por evidência científica robusta, potenciando resultados eficazes e realistas (Teixeira et al., 2021).

De acordo com as diretrizes da ACSM, os adultos com idades compreendidas entre os 18 e os 64 anos devem realizar, semanalmente, pelo menos 150 a 300 minutos de atividade física aeróbica de intensidade moderada, ou entre 75 a 150 minutos de atividade aeróbica de intensidade vigorosa, ou ainda uma combinação equivalente de ambas. Além disso, recomenda-se a realização de atividades de fortalecimento muscular, envolvendo os principais grupos musculares, em dois ou mais dias por semana, uma vez que estas contribuem para benefícios adicionais à saúde e à funcionalidade física (Bull et al., 2020).

Dentro das recomendações gerais, a prescrição do exercício deve ser personalizada, adaptada de forma individualizada, tendo em conta as necessidades, capacidades, limitações e preferências de cada pessoa. Esta abordagem personalizada é fundamental para maximizar os benefícios e minimizar os riscos associados à prática de atividade física. A individualização do exercício permite ajustar a intensidade, a duração, o tipo e a frequência dos exercícios, promovendo maior adesão ao programa e melhores resultados em termos de saúde física e funcionalidade. A evidência científica demonstra que a adaptação individual do exercício é mais eficaz na melhoria da composição corporal, capacidade cardiorrespiratória e força muscular, ao mesmo tempo que reduz o risco de eventos adversos como lesões, dor ou fadiga excessiva (O'Donoghue, 2020). A individualização do exercício é particularmente relevante em populações com condições específicas, como doenças crónicas, disfunções posturais ou limitações motoras. Nestes casos, os programas generalistas podem ser contraproducentes ou até prejudiciais. Assim, a intervenção deve basear-se numa avaliação física e funcional rigorosa, seguida de uma prescrição centrada nos objetivos individuais e numa progressão segura e gradual (Bull et al., 2020).

Nesta investigação, a intervenção foi desenhada a partir de uma avaliação individual inicial que incluiu as diferentes variáveis: sexo, idade, composição corporal, histórico de prática desportiva, preferências pessoais, exigência física das atividades laborais e domésticas, objetivos e motivação, antecedentes clínicos, problemas de saúde atuais e medicação habitual (Price et al., 2018). Para além destas variáveis, foram ainda incluídas imagens baropodométricas e fotogramétricas dos participantes, permitindo uma

abordagem mais completa e integrada. Com base na localização do ponto de pressão máxima “M” (estudo 3), os participantes foram organizados em sete grupos distintos.

Após este diagnóstico, o programa de exercício clínico foi desenhado especificamente para cada pessoa com base nas recomendações internacionais de referência (Bull et al., 2020; ACSM, 2021), tendo sido implementado durante um período de 12 semanas, com duas sessões supervisionadas por semana, com uma duração entre 30 a 45 minutos cada, totalizando 24 sessões. Todas as sessões foram conduzidas pelo investigador responsável, com o objetivo de garantir a execução correta dos exercícios e a manutenção das posturas adequadas durante toda a intervenção.

Capítulo 2

Correlação entre variáveis de composição corporal e pressão plantar e nível de dor

Resumo

Numa perspectiva atual, entende-se que a postura corporal é influenciada por assimetrias individuais, contexto cultural, padrões corporais habituais, fatores etiológicos e fatores psicossociais atribuídos ao indivíduo. O esclarecimento da causa músculo-esquelética que originou a alteração postural é considerado o desafio clínico no tratamento da dor ou desconforto. Estudos recentes têm demonstrado a influência das alterações do peso corporal na distribuição da pressão plantar e da dor no pé, enfatizando a importância da compreensão dessas relações. A integração da composição corporal com a análise da pressão plantar apresenta uma oportunidade para explorar as diferenças de gênero e as suas associações com a distribuição da pressão plantar. Atualmente, existe uma falta de investigação que integre a composição corporal, a distribuição da pressão plantar e a comparação entre gêneros para elucidar a complexa interação entre estas variáveis. Assim, o principal objetivo desta investigação é avaliar a composição corporal através da BIA (bio impedância) e a distribuição da pressão plantar nos pés dos sujeitos através da análise da plataforma de pressão, com um foco específico nas comparações entre os sexos e nas associações entre estas variáveis. O estudo utilizou um desenho observacional transversal. Foram avaliados 77 participantes (n=77) com idades compreendidas entre os 18 e os 91 anos, sendo a maioria do gênero feminino (n=53, 68,83%) e 24 participantes (n=24, 31,17%) do gênero masculino. A média de idade dos participantes foi de 60,717 anos para o sexo masculino e 54,33 anos para o sexo feminino. Foram efetuados testes de baropodometria e bio impedância. Foram registadas diferenças significativas com um efeito médio apenas para os três indicadores, enquanto os restantes valores apresentaram um efeito grande. Foram encontradas correlações negativas significativas entre a idade e a altura ($p < 0,05$) e correlações positivas entre a idade e outros fatores como o IMC, a massa gorda, a massa magra e vários parâmetros relacionados com os pés, assim como a área do pé e o ângulo do pé. Os resultados deste estudo mostraram que a característica da pressão plantar diferem de acordo com o gênero e estão relacionadas com a composição corporal e o nível de dor.

Palavras-chave: Baropodometria, Bioimpedância, níveis de dor.

Introdução

A avaliação da composição corporal e da distribuição da pressão plantar é crucial para compreender os aspectos fisiológicos e biomecânicos da saúde humana (Andréoli et al., 2016). Normalmente, a composição corporal é mais fácil de avaliar através da análise de bio impedância (BIA) devido à avaliação não invasiva da composição corporal, incluindo a água corporal, a massa muscular e gorda, a gordura visceral e a taxa metabólica (Kuriyan, 2018). A BIA fornece uma estimativa exaustiva da massa gorda, da massa isenta de gordura e dos fluidos corporais, oferecendo informações valiosas para o prognóstico de doenças (Kuriyan, 2018). Além disso, foi demonstrado que a BIA produz resultados comparáveis aos da absorciometria de raios X de dupla energia, o que a torna um método fiável para a avaliação da composição corporal (Kuriyan, 2018). A evolução da investigação sobre a BIA destacou as suas diversas aplicações, que vão desde a estimativa da função fisiológica até à avaliação da composição corporal, realçando a sua importância na investigação clínica (Kuriyan, 2018).

A análise da distribuição da pressão plantar tem ganho atenção pelo seu papel na compreensão do controlo postural, da biomecânica do pé e do impacto do peso corporal na saúde do pé (Oosterlink et al., 2013). Estudos demonstraram a influência das alterações do peso corporal na distribuição da pressão plantar e na dor no pé, enfatizando a importância de compreender estas relações (Lohman, 2013). Além disso, a utilização da análise da pressão plantar estendeu-se a várias condições clínicas, tais como a deformidade do dedo do pé diabético e a síndrome da dor patelo-femoral, realçando a sua importância clínica na avaliação de distúrbios músculo-esqueléticos (Oosterlink et al., 2013). As diferenças na distribuição da pressão plantar entre os sexos têm sido objeto de interesse em vários estudos, tendo sido relatados resultados inconsistentes na literatura relativamente aos valores da pressão plantar e aos padrões de carga entre os sexos (Demirbüken et al., 2019). Por outro lado, Yamamoto e outros (Wong et al., 2007) indicaram que as mulheres têm um pico de pressão significativamente mais elevado em áreas específicas do pé em comparação com os homens, tal como detetado por um sensor de pressão plantar recentemente desenvolvido (Wong et al., 2007). No entanto, Hawrylak e Gronowska (2020) não encontraram diferenças significativas na distribuição da pressão plantar entre levantadores de peso olímpicos do sexo feminino e um grupo de controlo. Além disso, Dowling et al. (2004) estudaram o impacto da obesidade na distribuição da pressão plantar em crianças, indicando forças e pressões significativamente mais elevadas em crianças obesas em comparação com as não obesas. Dowling et al., (2004) investigaram a distribuição da pressão do pé em indivíduos com hálux valgo ligeiro e concluíram que é uma variável significativa que afeta a distribuição

da pressão plantar (Rao et al., 2011). Do mesmo modo, Gawronska e Lorkowski (2021) identificaram a deformidade do dedo do pé em martelo como uma variável significativa que afeta um aumento da distribuição da pressão plantar.

A literatura apresenta resultados variáveis sobre as diferenças na distribuição da pressão plantar entre os sexos, com alguns estudos a indicarem diferenças significativas, enquanto outros não referem disparidades significativas (Demirbüken et al., 2019). Os fatores como a obesidade, as deformações do pé e a estrutura anatômica do pé também foram identificados como influentes na distribuição da pressão plantar (Gawronska e Lorkowski, 2021). A integração da composição corporal com a análise da pressão plantar apresenta uma oportunidade para explorar as diferenças de gênero e as suas associações com a distribuição da pressão plantar. Esta abordagem abrangente pode fornecer informações valiosas sobre a interação entre a composição corporal, a biomecânica do pé e as diferenças específicas do sexo. Por esta razão, os estudos associativos podem oferecer uma compreensão abrangente das relações entre as variáveis, proporcionando uma visão holística das relações entre a composição corporal, a pressão plantar e as diferenças específicas do sexo.

Relativamente às informações acima mencionadas, existe uma falta de investigação que integre a composição corporal, a distribuição da pressão plantar e as comparações entre sexos para elucidar a complexa interação entre estas variáveis. Assim, esta investigação tem como objetivo avaliar a composição corporal através da BIA e a distribuição da pressão plantar nos pés dos sujeitos através da análise da placa de pressão, com um foco específico nas comparações entre sexos e nas associações entre estas variáveis. A hipótese é que a característica da pressão plantar difere consoante o sexo e está relacionada com a composição corporal e o nível de dor.

Métodos

Desenho do estudo

O estudo utilizou um desenho observacional transversal. Foi recrutada uma amostra de conveniência para analisar as diferenças entre homens e mulheres em termos de antropometria, composição corporal, distribuição da pressão plantar e níveis de dor. Sem intervenção, os investigadores observaram e registaram os dados num único momento, permitindo comparações entre sexos e explorando correlações entre as variáveis medidas. Este tipo de desenho permitiu uma visão instantânea das diferenças e associações presentes na amostra. O método de amostragem foi o de conveniência e a investigação foi realizada entre abril e outubro de 2023.

Amostra

A população do presente estudo era constituída por 77 (n=77) participantes de ambos os sexos. A maioria dos participantes do estudo era do sexo feminino, compreendendo 68,83% (n=53), enquanto 31,17% da amostra era do sexo masculino (n=24). A idade média dos participantes foi de 60,717 (min=28 anos, max=75) anos no sexo masculino e de 54,333 (min=18 anos, max=91 anos) anos no sexo feminino.

Todos os participantes foram submetidos a um protocolo de avaliação física, que envolveu a obtenção dos seguintes dados: altura, peso, quantidade de massa gorda, quantidade de massa magra, quantidade de água corporal, taxa metabólica basal e tamanho do calçado. Os dados foram recolhidos utilizando a balança de bio impedância LAICA PS5006 e a altura com um estadiómetro, fixado na parede (com o corpo alinhado e o olhar na horizontal).

Para garantir resultados precisos da bio impedância, seguimos o seguinte protocolo: jejum de pelo menos 2 horas antes do exame, esvaziar a bexiga antes da medição, abster-se de atividade física intensa nas 48 horas anteriores. O tamanho do calçado foi registado como valores auto reportados.

Os critérios de inclusão neste estudo foram: os participantes tinham de ter pelo menos dezoito anos de idade e estar fisicamente aptos. A fim de garantir a maior representatividade e generalização dos resultados para a população adulta em geral, optou-se por não definir um limite de idade superior. A ênfase é colocada na saúde ou capacidade funcional do participante, em vez da idade cronológica.

Os critérios de exclusão incluíram: (i) problemas ortopédicos graves (colocação de próteses, cirurgias ortopédicas recentes); (ii) problemas neurológicos (doenças que necessitassem de ingestão diária de analgésicos); (iii) doenças cardiopulmonares (pacemaker, uso de cilindros de oxigénio) e (iv) mulheres grávidas.

Todos os participantes participaram voluntariamente, assinando o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O projeto foi submetido à Comissão de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade da Beira Interior (Covilhã) e foi aprovado sob o Parecer nº CE-UBI-Pj-2023-030.

Distribuição da pressão plantar

A baropodometria tem sido amplamente utilizada na avaliação dos resultados de tratamentos, quer conservadores quer cirúrgicos, em várias patologias (Gutiérrez-Vilahu et al., 2021), dor músculoesquelética, fibromialgia e esclerose múltipla, e noutros

contextos clínicos (Walsh et al., 2017) e a análise da marcha (Cramer et al., 2018) tem sido efetuada com esta técnica. No entanto, aconselha-se cautela na interpretação dos resultados da baropodometria na prática clínica e na investigação científica (Alves et al., 2018). A fiabilidade da baropodometria na avaliação da distribuição da carga plantar tem sido demonstrada, tornando-a um instrumento valioso na determinação da pressão plantar, controlo postural e distribuição da pressão plantar em várias condições (Baumfeld et al., 2017).

A avaliação baropodométrica envolveu a utilização do baropodómetro 'Kinefis Podia', equipado com 4 tapetes, uma câmara HD Logitech e um tripé Hama, com especificações técnicas que incluem uma frequência de 800Hz, pressão máxima de 1500N/cm², 1600 sensores, resolução XY de 2,5dpi, resolução Z de 8 bits e validade de calibração (Pagé et al., 2012). O protocolo incluiu só medições estáticas (Castelo et al., 2022). A duração da avaliação variou de 8 a 15 minutos, e os dados foram analisados com o software Motux Studio, versão 1.9.69.0 (Choi et al., 2005). Os parâmetros avaliados para a distribuição da pressão plantar foram: (i) a percentagem de carga lateral (Lateral Load %) - refere-se à carga total suportada pelo pé esquerdo ou direito que é distribuída lateralmente. Este parâmetro dá uma ideia da forma como o peso é distribuído pelo pé; (ii) a pressão máxima (Maximal Pressure KPa) representa a pressão máxima sofrida pelo pé, normalmente medida em quilo Pascal (essencial para avaliar os pontos de pressão máxima e as potenciais áreas de grande tensão no pé); (iii) a área (Área cm²) indica a área de superfície do pé em centímetros quadrados (a área de contacto do pé para analisar a distribuição da pressão e a carga); (iv) o Eixo podal (Eixo podal °) refere-se ao ângulo do eixo do pé em relação ao solo (fornece informações sobre a orientação e o alinhamento do pé); (v) o I-C (mm) representa a distância entre a primeira articulação metatarso falângica e C-D a distância entre a quinta articulação metatarso falângica no pé direito até ao centro de pressão (avaliando a posição do centro de pressão em relação aos pontos anatómicos do pé).

Nível da dor

Os participantes foram avaliados com a Escala Numérica de Classificação da Dor (NRS Pain), que foi apresentada oralmente e com um instrumento físico. Numa ação de autoavaliação da dor, relataram o nível de dor ou desconforto sentido nas suas atividades diárias. A escala numérica de avaliação da dor (NRS Pain) é um instrumento amplamente utilizado para avaliar a intensidade da dor em vários contextos clínicos (Brunelli et al., 2010, Li et al., 2007). A NRS Pain demonstrou ter excelentes propriedades psicométricas, o que a torna uma medida fiável e válida da intensidade da dor (Miró et

al., 2021). Também se verificou que é sensível a alterações na intensidade da dor ao longo do tempo, demonstrando a sua capacidade de resposta na captação de flutuações nos níveis de dor (Oosterlink et al., 2013). Além disso, a NRS Pain é fácil de administrar e tem elevadas taxas de adesão, o que a torna uma escolha prática para avaliar a dor em diversas populações de doentes (Kim et al., 2016). Para além disso, a NRS Pain foi comparada com outras escalas de avaliação da dor, como a Escala Visual Analógica e a Escala de Avaliação Verbal, tendo-se verificado que apresenta um desempenho favorável em termos de equivalência de escala e administração (Hjermstad et al., 2011). Esta escala varia de 0 a 10, permite uma interpretação rápida e direta da intensidade da dor, possibilitando uma comunicação eficiente entre os doentes e os prestadores de cuidados de saúde (Palmieri et al., 2002).

Análise estatística

A estatística descritiva foi apresentada com médias, desvios-padrão, valores mínimos e máximos. Foram feitas análises exploratórias utilizando os testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene para avaliar a normalidade e homogeneidade das distribuições, respetivamente. As comparações entre grupos (sexo) e as significâncias estatísticas foram avaliadas pelo Teste T, que também avaliou o tamanho amostral. Os tamanhos de efeito foram interpretados como d de Cohen $< 0,2$ assumidos como tamanhos de efeito pequenos; d de Cohen $\approx 0,2$ a $0,5$ foram considerados como tamanhos de efeito moderados; d de Cohen $\approx 0,5$ a $0,8$ foram tamanhos de efeito médios e d de Cohen $> 0,8$ como tamanhos de efeito grandes. Os testes de correlação de Pearson (r_p) foram utilizados para verificar associações entre variáveis. Um mapa de calor representativo das correlações foi criado com o software. Todas as análises foram efetuadas utilizando o programa JASP v. 0.18.1 (Universidade de Amesterdão, Amesterdão, Países Baixos). A significância da análise foi definida como 5% para todos os testes.

Resultados

Os resultados são apresentados em três partes: descritivas, comparações entre grupos e associações entre variáveis. Os dados descritivos (médias, desvios-padrão, mínimos e máximos) referentes às comparações entre os sexos, foram apresentados na tabela 1.

Relativamente às comparações entre sexos, as diferenças significativas com efeito médio foram registadas para: H₂O % [$t = -2,101$; $p = 0,039$; $d = -0,517$], Eixo Podal do Pé Esquerdo [$t = -2,038$; $p = 0,045$; $d = -0,501$] e C-D do Pé Direito [$t = -2,346$; $p = 0,022$;

$d = -0,577$]; as diferenças significativas com efeito grande entre os grupos foram observadas para: Estatura [$t = -8,32$; $p < 0,001$; $d = -2,047$], IMC [$t = -4,234$; $p < .001$; $d = -1,042$], Massa Magra [$t = -3,723$; $p < .001$; $d = -0,916$], Metabolismo Basal [$t = -7,898$; $p < .001$; $d = -1,943$], N. do Sapato ° [$t = -11,765$; $p < .001$; $d = -2,895$], Área do Pé Esquerdo [$t = -5,412$; $p < .001$; $d = -1,332$], I-C do Pé Esquerdo [$t = -3,287$; $p = 0,002$; $d = -0,809$], Área do Pé Direito [$t = -5,911$; $p < .001$; $d = -1,454$]. A tabela 2 apresenta as comparações entre os grupos para todas as variáveis avaliadas.

As correlações entre as variáveis de composição corporal, nível de dor e distribuição da pressão plantar são apresentadas na tabela 3. Foram encontradas correlações positivamente significativas entre a idade e a altura ($p < 0,05$), indicando que, à medida que a idade aumenta, a altura tende a diminuir na amostra. Por outro lado, foram observadas correlações positivas entre a idade e outros fatores, como o índice de massa corporal (IMC), a massa gorda, a massa magra e várias métricas relacionadas com os pés. A Altura apresentou fortes correlações negativas com vários parâmetros, incluindo Peso, Metabolismo Basal, Número de Sapatos e medidas relacionadas com o pé, como Área e C-D, enfatizando a influência da altura nestas variáveis no grupo de estudo. Notavelmente, o IMC apresentou associações com a massa gorda, massa magra, percentagem de água (H_2O %), níveis de dor e várias medidas relacionadas com os pés, indicando a sua interligação com múltiplos fatores fisiológicos e relacionados com os pés. Outras correlações notáveis foram observadas entre métricas como massa gorda e percentagem de água, massa magra e número de calçados, bem como diferentes medidas relacionadas aos pés, incluindo área, I-C, eixo podal e pressões máximas no pé esquerdo e direito. O mapa de calor representativo das correlações entre as variáveis foi apresentado na figura 2. No mapa de calor, as cores púrpura e castanho mais escuras representam valores de correlação mais elevados.

Tabela 1. Análise descritiva e comparações da antropometria e composição corporal, nível de dor e distribuição da pressão plantar nos pés por sexo e amostra total.

Variáveis	Mulheres				Homens				Total			
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Idade [anos]	60.717	19.508	18	91	54.333	16.053	28	88	58.727	18.634	18	91
Altura[cm]	160.283	7.231	142	172	175.667	8.122	162	193	165.078	10.353	142	193
M1_Peso [Kg]	67.509	11.608	42.4	100	80.117	13.147	59.5	120	71.439	13.381	42.4	120
M1_IMC [Kg/M ²]	26.271	4.549	20.31	39.39	25.806	3.131	21.36	35.06	26.126	4.144	20.31	39.39
M1_Massa gorda [%]	29.46	6.828	18.4	45.7	27.337	7.365	15.1	43.2	28.799	7.021	15.1	45.7
M1_H ₂ O %	49.885	4.909	37.1	58.6	52.408	4.819	42.6	60.4	50.671	4.99	37.1	60.4
M1_Massa magra [%]	27.715	4.64	16.4	36.4	31.733	3.751	23.2	36.9	28.968	4.743	16.4	36.9
M1_Metabolismo basal [Kcal]	1252.151	126.487	1027	1588	1561.625	215.733	1133	2039	1348.61	214.124	1027	2039
Tamanho (pé) N.º	37.462	1.525	32.5	41	42.438	2.092	39	46.5	39.013	2.88	32.5	46.5
Nível da dor	6.679	2.208	2	10	6.5	2.766	2	10	6.623	2.363	2	10
M1_LF_lateral carga [%]	48.508	5.317	34.6	59.4	47.092	3.343	40.7	53.1	48.066	4.813	34.6	59.4
M1_LF_Pressão máxima [Kpa]	234.219	19.666	161.4	248.1	240.925	11.572	194.8	248.1	236.309	17.746	161.4	248.1
M1_LF_Area [cm ²]	118.34	20.314	70	166	147.417	24.94	94	198	127.403	25.58	70	198
M1_LF_Ângulo do pé [°]	6.879	5.253	-1.3	22.3	10.758	11.523	2	60.3	8.088	7.895	-1.3	60.3
M1_LF_I-C [mm]	99.025	22.48	59	171.5	116.508	19.543	71.5	149.4	104.474	22.974	59	171.5
M1_RF_Carga lateral [%]	51.492	5.317	40.6	65.4	52.908	3.343	46.9	59.3	51.934	4.813	40.6	65.4
M1_RF_Pressão máxima [KPa]	238.551	12.656	196	248.1	240.575	8.836	219	248.1	239.182	11.581	196	248.1
M1_RF_Area [cm ²]	122.226	21.742	80	171	155.708	25.686	99	199	132.662	27.691	80	199
M1_RF_Ângulo do pé [°]	9.419	4.508	0.4	21.9	10.192	5.007	3	24.8	9.66	4.65	0.4	24.8
M1_RF_C-D [mm]	92.857	19.294	51.7	144.6	103.017	12.987	63.8	126.8	96.023	18.116	51.7	144.6

Legenda: M1 (Avaliação no momento pré); IMC (Índice de Massa Corporal); H₂O % (percentagem de água corporal); LF (Pé Esquerdo); I-C (Distância entre o COP do pé esquerdo e o COP do corpo); RF (Pé Direito); C-D (Distância entre o COP do pé direito e o COP do corpo).

Tabela 2. Associações significativas entre antropometria, composição corporal e distribuição da pressão plantar nos pés entre os sexos

Variáveis	t	P	95% CI para Cohen's d		
			Cohen's d	Inferior	Superior
Idade	1.401	0.165	0.345	-0.142	0.829
Altura	-8.32	< .001	-2.047	-2.625	-1.46
M1_Peso	-4.234	< .001	-1.042	-1.549	-0.529
M1_IMC	0.454	0.651	0.112	-0.371	0.594
M1_Massa gorda (%)	1.233	0.221	0.303	-0.182	0.787
M1_H2O %	-2.101	0.039	-0.517	-1.004	-0.026
M1_Massa magra (%)	-3.723	< .001	-0.916	-1.417	-0.409
M1_Metabolismo basal	-7.898	< .001	-1.943	-2.512	-1.365
Tamanho do pé N.º	-11.765	< .001	-2.895	-3.557	-2.221
Nível da dor I	0.304	0.762	0.075	-0.408	0.557
M1_LF_Carga lateral [%]	1.199	0.234	0.295	-0.19	0.779
M1_LF_Pressão máxima [Kpa]	-1.55	0.125	-0.381	-0.866	0.106
M1_LF_Área [cm ²]	-5.412	< .001	-1.332	-1.855	-0.801
M1_LF_Ângulo do pé [°]	-2.038	0.045	-0.501	-0.989	-0.011
M1_LF_I-C [mm]	-3.287	0.002	-0.809	-1.305	-0.307
M1_RF_Carga lateral [%]	-1.199	0.234	-0.295	-0.779	0.19
M1_RF_Pressão Máxima [KPa]	-0.708	0.481	-0.174	-0.657	0.309
M1_RF_Área [cm ²]	-5.911	< .001	-1.454	-1.986	-0.915
M1_RF_Ângulo do pé [°]	-0.673	0.503	-0.166	-0.648	0.318
M1_RF_C-D [mm]	-2.346	0.022	-0.577	-1.066	-0.084

Legenda: M1 – momento pré; Nível de Dor I – momento pré; M1_LF - Carga Lateral Pé Esquerdo; M1_LF_ – Pressão Máxima Pé Esquerdo; M1_LF - Área de Contato Pé Esquerdo; M1_LF – Ângulo Podal Pé Esquerdo; M1_LF_I-C – Distância entre o COP do pé esquerdo e o COP do corpo; M1_RF – Carga Lateral Pé Direito; M1_RF – Pressão Máxima Pé Direito; M1_RF_Área do pé direito; M1_RF – Ângulo Podal Pé Direito; M1_RF – Centro de Pressão Pé Direito; M1_RF – Distância entre o COP do pé direito e o COP do corpo.

Tabela 3. Associações significativas entre antropometria, composição corporal e distribuição da pressão plantar entre os sexos.

Correlações entre variáveis		r _p	p	Correlações entre variáveis		r _p	p	Correlações entre variáveis		r _p	p
Idade [Anos]	Altura [cm]	-0.40	0.001**	M1_IMC [Kg/m ²]	M1_Massa gorda [%]	0.74	0.001**	Tamanho do pé N.º	M1_LF_I-C [mm]	0.31	0.001*
Idade [Anos]	M1_IMC [Kg/m ²]	0.32	0.001*	M1_IMC [Kg/m ²]	M1_H2O [%]	-0.54	0.001**	Tamanho do pé N.º	M1_RF_Área [cm ²]	0.66	0.001**
Idade [Anos]	M1_Massa gorda [%]	0.28	0.001*	M1_IMC [Kg/m ²]	M1_Massa magra [%]	-0.52	0.001**	Tamanho do pé N.º	M1_RF_C-D [mm]	0.26	0.001*
Idade [Anos]	M1_H2O [%]	-0.43	0.001**	M1_IMC [Kg/m ²]	Nível da dor I	0.28	0.001*	Nível da dor I	M1_LF_Ângulo do pé [°]	0.26	0.001*
Idade [Anos]	M1_Massa magra [%]	-0.42	0.001**	M1_IMC [Kg/m ²]	M1_LF_Área [cm ²]	0.28	0.001*	Nível da dor I	M1_LF_I-C [mm]	-0.27	0.001*
Idade [Anos]	M1_LF_Pressão máxima [Kpa]	-0.33	0.001*	M1_IMC [Kg/m ²]	M1_LF_I-C [mm]	0.22	0.001*	Nível da dor I	M1_RF_C-D [mm]	-0.29	0.001*
Idade [Anos]	M1_RF_Ângulo do pé [°]	0.29	0.001*	M1_IMC [Kg/m ²]	M1_RF_Área [cm ²]	0.32	0.001*	M1_LF_Carga lateral [%]	M1_LF_Pressão máxima [Kpa]	0.65	0.001**
Altura [cm]	M1_Peso [Kg]	0.58	0.001**	M1_Massa gorda [%]	M1_H2O [%]	-0.72	0.001**	M1_LF_Carga lateral [%]	M1_LF_I-C [mm]	-0.55	0.001**
Altura [cm]	M1_Massa magra [%]	0.36	0.001*	M1_Massa gorda [%]	M1_Massa magra [%]	-0.60	0.001**	M1_LF_Carga lateral [%]	M1_RF_Carga lateral [%]	-1.00	0.001**
Altura [cm]	M1_Metabolismo [Kcal]	0.72	0.001**	M1_Massa gorda [%]	Nível da dor I	0.25	0.001*	M1_LF_Carga lateral [%]	M1_RF_Maximal Pressure [KPa]	-0.50	0.001**
Altura [cm]	Tamanho do pé N.º	0.85	0.001**	M1_Massa gorda [%]	M1_LF_Pressão máxima [Kpa]	-0.26	0.001*	M1_LF_Carga lateral [%]	M1_RF_Área [cm ²]	-0.27	0.001*
Altura [cm]	M1_LF_Área [cm ²]	0.52	0.001**	M1_Massa gorda [%]	M1_RF_Área [cm ²]	0.23	0.001*	M1_LF_Carga lateral [%]	M1_RF_C-D [mm]	0.30	0.001*
Altura [cm]	M1_LF_I-C [mm]	0.39	0.001**	M1_H2O [%]	M1_Massa magra [%]	0.77	0.001**	M1_LF_Pressão máxima [Kpa]	M1_LF_Área [cm ²]	0.28	0.001*
Altura [cm]	M1_RF_Área [cm ²]	0.55	0.001**	M1_H2O [%]	Nível da dor I	-0.25	0.001*	M1_LF_Pressão máxima [Kpa]	M1_RF_Carga lateral [%]	-0.65	0.001**
Altura [cm]	M1_RF_C-D [mm]	0.33	0.001*	M1_H2O [%]	M1_LF_Pressão máxima [Kpa]	0.44	0.001**	M1_LF_Pressão máxima [Kpa]	M1_RF_Pressão máxima [KPa]	-0.36	0.001*
M1_Peso [Kg]	M1_IMC [Kg/m ²]	0.73	0.001**	M1_Massa magra [%]	Tamanho do pé N.º	0.31	0.001*	M1_LF_I-C [mm]	M1_RF_Pressão máxima [KPa]	0.30	0.001*
M1_Peso [Kg]	M1_Massa gorda [%]	0.57	0.001**	M1_Massa magra [%]	Nível da dor I	-0.33	0.001*	M1_LF_I-C [mm]	M1_RF_Área [cm ²]	0.40	0.001**
M1_Peso [Kg]	M1_H2O [%]	-0.32	0.001*	M1_Massa magra [%]	M1_LF_Pressão máxima [Kpa]	0.28	0.001*	M1_LF_I-C [mm]	M1_RF_C-D [mm]	0.61	0.001**
M1_Peso [Kg]	M1_Metabolismo [Kcal]	0.66	0.001**	M1_Massa magra [%]	M1_RF_C-D [mm]	0.23	0.001*	M1_RF_Carga lateral [%]	M1_RF_Pressão máxima [KPa]	0.50	0.001**
M1_Peso [Kg]	Tamanho do pé N.º	0.59	0.001**	M1_Metabolismo [Kcal]	Tamanho do pé N.º	0.76	0.001**	M1_RF_Carga lateral [%]	M1_RF_Área [cm ²]	0.27	0.001*
M1_Peso [Kg]	M1_LF_Área [cm ²]	0.58	0.001**	M1_Metabolismo [Kcal]	M1_LF_Área [cm ²]	0.55	0.001**	M1_RF_Carga lateral [%]	M1_RF_C-D [mm]	-0.30	0.001*
M1_Peso [Kg]	M1_LF_I-C [mm]	0.45	0.001**	M1_Metabolismo [Kcal]	M1_LF_I-C [mm]	0.26	0.001*	M1_RF_Pressão máxima [Kpa]	M1_RF_Ângulo do pé [°]	-0.23	0.001*
M1_Peso [Kg]	M1_RF_Área [cm ²]	0.64	0.001**	M1_Metabolismo [Kcal]	M1_RF_Área [cm ²]	0.56	0.001**	M1_RF_Área [cm ²]	M1_RF_Ângulo do pé [°]	-0.30	0.001*
M1_Peso [Kg]	M1_RF_C-D [mm]	0.33	0.001*	Tamanho do pé N.º	M1_LF_Área [cm ²]	0.65	0.001**	M1_LF_I-C [mm]	M1_RF_Carga lateral [%]	0.55	0.001**

*p<0.05; **p<0.001

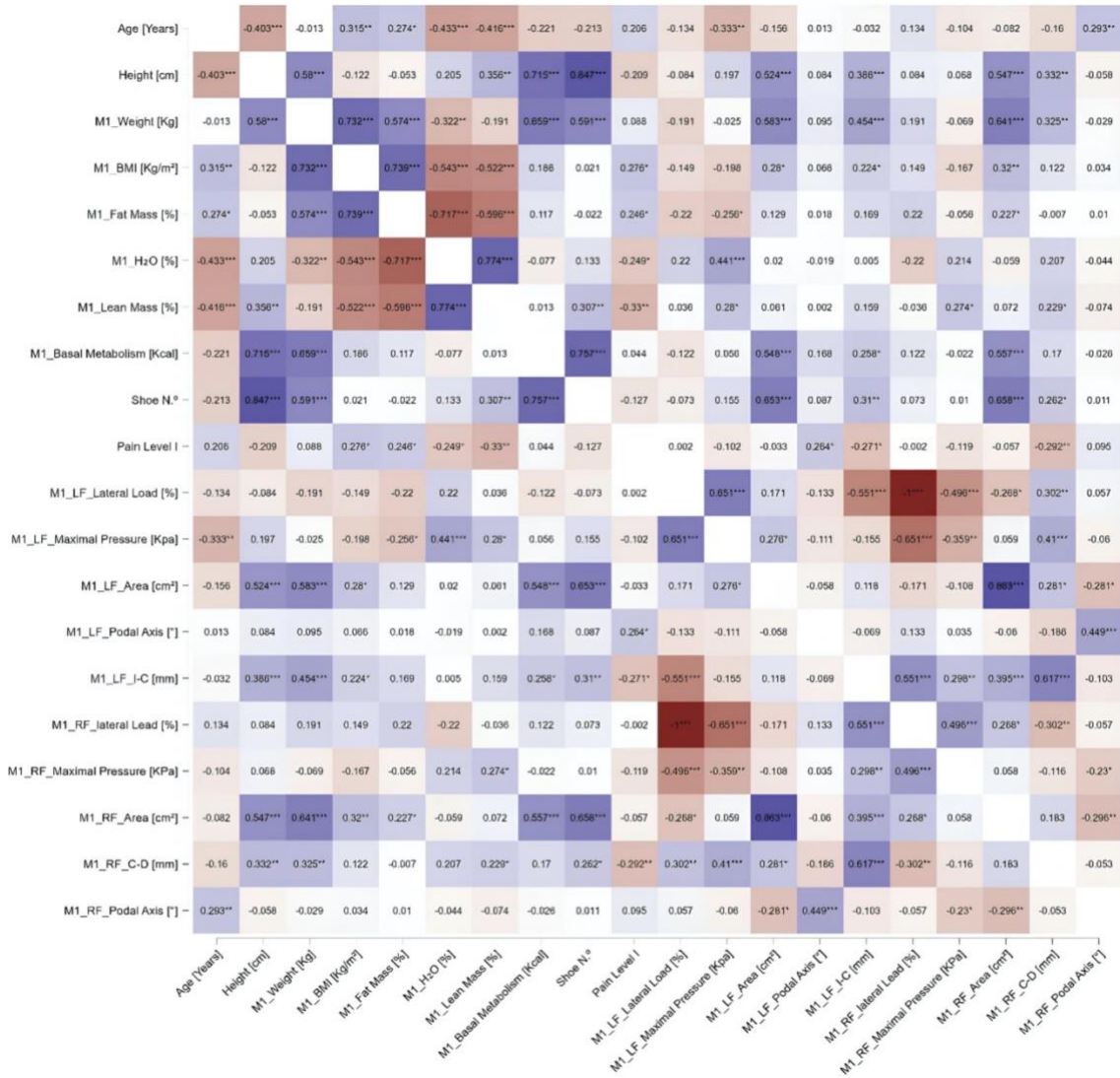


Figura 2. Mapa de calor das associações entre as variáveis avaliadas

Legenda: Age [Years] – Idade [Anos]; Height [cm] – Altura [cm]; M1_Weight [Kg] – Peso (M1) [Kg]; M1_BMI [Kg/m²] – IMC (M1) [Kg/m²]; M1_Fat Mass [%] – Massa Gorda (M1) [%]; M1_H2O [%] – Água Corporal Total (M1) [%]; M1_Lean Mass [%] – Massa Magra (M1) [%]; M1_Basal Metabolism [Kcal] – Metabolismo Basal (M1) [Kcal]; Shoe N° – N° do Calçado; Pain Level N° – Nível de Dor; M1_LF_Lateral Load [%] – Carga Lateral Pé Esquerdo (M1) [%]; M1_LF_Maximal Pressure [kPa] – Pressão Máxima Pé Esquerdo (M1) [kPa]; M1_LF_Area [cm²] – Área de Contato Pé Esquerdo (M1) [cm²]; M1_LF_Podial Axis [°] – Eixo Podal Pé Esquerdo (M1) [°]; M1_LF_CoP [mm] – Centro de Pressão Pé Esquerdo (M1) [mm]; M1_RF_Lateral Load [%] – Carga Lateral Pé Direito (M1) [%]; M1_RF_Maximal Pressure [kPa] – Pressão Máxima Pé Direito (M1) [kPa]; M1_RF_Area [cm²] – Área de Contato Pé Direito (M1) [cm²]; M1_RF_CoP [mm] – Centro de Pressão Pé Direito (M1) [mm]; M1_RF_Podial Axis [°] – Eixo Podal Pé Direito (M1) [°].

Discussão

Este estudo teve como objetivo avaliar a composição corporal e a distribuição da pressão plantar nos pés dos indivíduos através da análise da placa de pressão, com um foco específico na comparação entre sexos e nas associações entre estas variáveis. A hipótese é que as características da pressão plantar diferem consoante o sexo e estão relacionadas com a composição corporal e o nível de dor. Os resultados confirmaram a hipótese.

O presente estudo revelou diferenças significativas nas variáveis relacionadas com o pé e a composição corporal entre homens e mulheres, enfatizando os perfis fisiológicos e biomecânicos únicos de cada sexo (Hooker et al., 2020). Essas diferenças incluíram a percentagem de água, as dimensões dos pés, o IMC, a massa magra e o metabolismo basal. A literatura refere que estas variáveis podem influenciar a distribuição da pressão plantar e a função do pé (Caselli et al., 200; Henriksson et al., 2015; Taç, 2019). Os resultados também destacaram disparidades moderadas no conteúdo de água e nas dimensões do pé entre os sexos, contribuindo potencialmente para variações na biomecânica do pé e na distribuição da pressão plantar (Cheung et al., 2005). A compreensão destas diferenças pode ser um ponto de partida para o desenvolvimento de intervenções adaptadas que tenham em conta os perfis fisiológicos e biomecânicos únicos dos homens e das mulheres (Caselli et al., 200; Henriksson et al., 2015; Taç, 2019). É necessária mais investigação para compreender de forma abrangente as implicações destas diferenças na biomecânica do pé e na distribuição da pressão plantar (Cheung et al., 2005; Henriksson et al., 2015).

Com base em comparações entre os sexos, este estudo teve como objetivo avaliar a correlação entre as variáveis avaliadas. As correlações entre as variáveis nos resultados apresentados demonstram uma complexa interação entre vários fatores e o seu impacto na distribuição da pressão plantar. As correlações revelam associações significativas entre a idade, o índice de massa corporal (IMC), a massa gorda, a massa magra, o teor de água e outras variáveis com a distribuição da pressão plantar. Por exemplo, a idade apresenta correlações com o IMC, a massa gorda, o teor de água, a massa magra e vários aspetos da distribuição da pressão plantar, indicando a sua influência na biomecânica do pé (Demirbüken et al., 2019). Além disso, o peso apresenta fortes correlações com o IMC, a massa gorda, a massa magra, o metabolismo basal e vários aspetos da distribuição da pressão plantar, destacando o seu papel nas características de carga do pé (Pieh et al., 2014). Os resultados indicam também associações entre as variáveis da composição corporal, como o IMC, a massa gorda, a massa magra e o teor de água com a distribuição da pressão plantar, salientando a influência da composição corporal na biomecânica do pé (Koller et al., 2014). As correlações também revelam associações significativas entre

o número de sapatos e vários aspetos da distribuição da pressão plantar, sugerindo o potencial impacto das características do calçado nos padrões de carga do pé (Tudor-Locke et al., 2001). Além disso, os resultados demonstram correlações entre os níveis de dor e a distribuição da pressão plantar, indicando a potencial influência da dor na biomecânica do pé (Mickle et al., 2010; Pomarino, 2014; Ullen et al., 2008). Finalmente, as correlações entre as próprias variáveis de distribuição da pressão plantar, como a carga lateral, a pressão máxima e a área, fornecem informações sobre as inter-relações entre diferentes aspetos das características de carga do pé (Dowling et al., 2004).

O estudo tem várias limitações que merecem ser consideradas em futuras investigações. Em primeiro lugar, o estudo centrou-se nas diferenças nas variáveis relacionadas com o pé e a composição corporal entre homens e mulheres, mas não explorou o impacto destas diferenças em patologias ou condições específicas do pé, como a osteoartrite, as neuropatias diabéticas ou as anomalias do pé relacionadas com o AVC. Em segundo lugar, o estudo não abordou a influência da cinemática do pé e do desempenho muscular na distribuição da pressão plantar, o que é crucial para compreender os fatores biomecânicos abrangentes que afetam a função do pé. Em terceiro lugar, o estudo não se debruçou sobre os efeitos de intervenções específicas, como palmilhas de calçado ou fixadores externos, na biomecânica do pé e na distribuição da pressão plantar. Em quarto lugar, o estudo não considerou o potencial impacto da variação da altura do arco ou das propriedades mecânicas do pé na distribuição da pressão plantar e na função do pé. Estudos futuros poderiam investigar, em primeiro lugar, a interação entre a cinemática do pé, o desempenho muscular e as diferenças relacionadas com o sexo nas características do pé, a fim de proporcionar uma compreensão mais holística da distribuição da pressão plantar e da biomecânica do pé. Em segundo lugar, poderia investigar a forma como estas diferenças contribuem para o desenvolvimento e a progressão das patologias, relacionadas com desempenho do pé, fornecendo informações valiosas para intervenções adaptadas. Em terceiro lugar, a investigação futura poderia explorar a eficácia das intervenções para atenuar o impacto das diferenças relacionadas com o sexo nas características do pé e na composição corporal na distribuição da pressão plantar e na função do pé. Em quarto lugar, a investigação poderia explorar a forma como as alterações na altura do arco e nas propriedades mecânicas do pé afetam a distribuição da pressão plantar, fornecendo informações sobre potenciais intervenções dirigidas a estes fatores.

Conclusão

Este estudo fornece informações valiosas sobre as diferenças significativas nas variáveis relacionadas com o pé e a composição corporal entre homens e mulheres e as suas implicações na distribuição da pressão plantar e na biomecânica do pé. Estes resultados sublinham a importância de considerar as diferenças relacionadas com o sexo nas características do pé e na composição corporal quando se avalia a função do pé e a distribuição da pressão plantar. Por outro lado, foram observadas correlações positivas entre a idade e outros fatores como o Índice de Massa Corporal (IMC), a massa gorda, a massa magra e várias métricas relacionadas com o pé. A altura apresentou fortes correlações positivas com vários parâmetros, incluindo o peso, o metabolismo basal, o número de sapatos e as medidas relacionadas com o pé, como a área e a distância C-D, salientando a influência da altura nestas variáveis no grupo de estudo. Notavelmente, o IMC apresentou associações com a massa gorda, massa magra, percentagem de água (H₂O %), níveis de dor e várias medidas relacionadas com os pés, indicando a sua interligação com múltiplos fatores fisiológicos e relacionados com os pés. Outras correlações notáveis foram observadas entre métricas como massa gorda e percentagem de água, massa magra e número de calçados, bem como diferentes medidas relacionadas aos pés, incluindo área, distância I-C, eixo podal e pressões máximas no pé esquerdo e direito. O estudo sublinha a necessidade de intervenções personalizadas e de mais investigação para compreender de forma abrangente as implicações destas diferenças na biomecânica do pé e na distribuição da pressão plantar.

Capítulo 3

O papel das assimetrias posturais e da pressão plantar na previsão da dor em adultos

Resumo

A presente investigação procurou colmatar a ausência de uma abordagem integrada que considerasse simultaneamente a composição corporal, as assimetrias posturais, a distribuição da pressão plantar e as diferenças entre sexos, com o intuito de compreender de forma abrangente a complexa relação entre estas variáveis e os níveis de dor autoreferida.

Foi realizado um estudo observacional de desenho transversal, envolvendo uma amostra de 52 participantes de ambos os sexos. A média de idades foi de 57,35 anos nos homens e 64,69 anos nas mulheres. A dor foi avaliada através da escala numérica de avaliação da dor (Numeric Pain Rating Scale). Para a análise estatística foram utilizadas comparações entre grupos (teste t de Student) e algoritmos de aprendizagem automática (machine learning).

Verificaram-se diferenças estatisticamente significativas entre os sexos relativamente à altura, peso, percentagem de massa magra, metabolismo basal, número do calçado, área do pé esquerdo, eixo podal e distâncias entre os centros de pressão plantar (COP) e o centro de massa corporal. Foram ainda observadas diferenças significativas no ângulo dos ombros ($p = 0,002$). A análise preditiva, com recurso a algoritmos de machine learning, identificou o desvio lateral do pescoço para a esquerda e o ângulo do joelho esquerdo como variáveis preditoras dos níveis de dor relatados.

Este estudo evidencia a existência de diferenças significativas entre sexos em parâmetros baropodométricos e antropométricos, destacando o desvio cervical e o alinhamento do joelho esquerdo como potenciais preditores dos níveis de dor. Os resultados reforçam a importância de abordagens individualizadas e multidimensionais na avaliação postural e na gestão da dor musculoesquelética.

Palavras-chave: Baropodometria, Bioimpedância, Inteligência Artificial, dor corporal

INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, a avaliação postural segue uma certa padronização: observação do corpo em posição estática nos três planos do espaço: frontal, sagital e transversal, utilizando a linha gravitacional como eixo imaginário de simetria entre os segmentos corporais e o corpo em relação ao espaço (Hrysomallis e Goodman, 2001). A ligação de pontos de referência no corpo permite a realização de medidas angulares, nomeadamente em relação às curvas da coluna vertebral no plano sagital e às assimetrias no plano frontal, permitindo uma avaliação postural quantitativa (Bell et al., 2022). As inúmeras variáveis obtidas levam ao surgimento de diversos manejos, relacionados a classificações de boa postura. Esta gestão representa uma lacuna na prática clínica que tem incentivado o desenvolvimento de recursos tecnológicos e a utilização de instrumentos destinados a medir, avaliar e quantificar as alterações posturais (Bertolazzi et al., 2024). A avaliação postural por meio da digitalização da imagem do indivíduo (fotografia digital) é um método fácil, de baixo custo e não invasivo. Os conceitos da fotogrametria tornaram-se premissas fundamentais no desenvolvimento e validação de procedimentos de avaliação das deformidades posturais (Santos et al., 2009).

Para melhorar a quantificação dos dados obtidos a partir da fotogrametria e realizar avaliações mais precisas, foi desenvolvido o baropodómetro, caracterizado por ter numerosos sensores de pressão para avaliar a interação do pé com a superfície de apoio. Wojtków et al. (2018) mostraram que existe uma correlação entre a distribuição de forças na região plantar e ângulos de desvios posturais nas regiões Sacro lombar e cervo-torácica. Portanto, é possível afirmar que existe uma correlação entre a distribuição da pressão plantar e a postura de uma pessoa, considerando não apenas as características do sistema somato-sensorial, mas também dados biométricos e de composição corporal. Nesse sentido, a medida da composição corporal desempenha um papel importante no perfil postural. Normalmente, a composição corporal é mais fácil de avaliar pela análise de bio impedância (BIA) devido à avaliação não invasiva da composição corporal, incluindo água corporal, massa muscular e gorda, gordura visceral e taxa metabólica (Kuriyan, 2018). A BIA fornece uma estimativa abrangente da massa gorda, da massa sem gordura e dos fluidos corporais, oferecendo informações valiosas para o prognóstico de doenças (Kuriyan, 2018). Além disso, a BIA demonstrou produzir resultados comparáveis aos da absorciometria de raios X de dupla energia, tornando-a um método fiável para a avaliação da composição corporal (Kuriyan, 2018). A evolução da pesquisa da BIA destacou suas diversas aplicações, que vão desde a estimativa da função fisiológica até a avaliação da composição corporal, enfatizando sua importância na pesquisa clínica (Kuriyan, 2018).

De acordo com Azevedo et al. (2022), a distribuição da pressão plantar pode revelar informações importantes sobre as estruturas que compõem os pés, além de identificar alterações que podem alterar o desempenho dos pés tanto em indivíduos saudáveis quanto em pessoas com patologias. O aumento da pressão plantar pode ser um fator predisponente para o aparecimento de várias doenças ou disfunções graves, aumentando o desconforto e a dor corporal (Menz et al., 2013). As posturas anormais podem também ter o efeito contrário, causando dor e aumentando o risco de lesões desportivas. Por exemplo, os pés planos e os arcos elevados podem alterar a linha dos membros e aumentar os riscos (Dickerson et al., 2021). A baropodometria tem sido amplamente utilizada na avaliação dos resultados do tratamento, seja conservador ou cirúrgico em várias condições (Gutiérrez-Vilahué e Guerra-Balic, 2021), dor músculo-esquelética, dislexia, fibromialgia e esclerose múltipla, e outros contextos clínicos (Wong et al., 2007) e a análise da marcha (Cramer et al., 2018) tem sido feita com esta técnica. No entanto, recomenda-se cautela na interpretação dos resultados da baropodometria na prática clínica e na investigação científica (Alves et al., 2018). A fiabilidade da baropodometria na avaliação da distribuição da carga plantar foi demonstrada, tornando-a um instrumento valioso na determinação da pressão plantar, do controlo postural e da distribuição da pressão plantar em várias condições (Baumfeld et al., 2017).

O método mais utilizado para estudar os problemas posturais é a fotogrametria, que permite obter vários dados a partir das fotografias tiradas (Fortin et al., 2011). Uma análise detalhada da postura corporal permite obter um vasto número de variáveis como avaliar o alinhamento corporal, a postura da cabeça, a postura ortostática e as assimetrias (Gouveia et al., 2021; Singla e Veqar, 2017). Na maioria das vezes, lidar com grandes quantidades de dados pode ser um desafio para os investigadores resumirem e criarem aplicações práticas (Luo et al., 2019). A complexidade dos dados obtidos tem contribuído para a colaboração da inteligência artificial para verificar variáveis significativas, criando algoritmos de *Machine Learning*. De acordo com Biamonte et al. (2017), as técnicas de ML tornaram-se ferramentas poderosas para encontrar padrões nos dados obtidos, reduzindo o volume de dados.

Composição corporal (BIA)

A base da BIA é o princípio de que os tecidos do corpo têm diferentes resistências (impedâncias) à passagem de uma corrente elétrica e, ao medir as resistências que o corpo exerce sobre a corrente, a BIA estima a composição corporal dos componentes gordura, tecido magro e água, fornecendo assim uma percentagem de gordura corporal (Silva et al., 2013). Níveis elevados de gordura estão fortemente relacionados com

distúrbios metabólicos, doenças cardiovasculares e desequilíbrios posturais, evidenciando ainda mais a importância do papel da análise da composição corporal (BIA) na avaliação postural e nutricional (Eickemberg et al., 2011).

Distribuição da Pressão plantar

A avaliação baropodométrica envolveu a utilização do baropodómetro 'Kinefis Podia', equipado com 4 tapetes, uma câmara HD Logitech e um tripé Hama, com especificações técnicas que incluem uma frequência de 800Hz, pressão máxima de 1500N/cm², 1600 sensores, resolução XY de 2,5dpi, resolução Z de 8 bits e validade de calibração (Palmieri et al., 2002). O protocolo incluiu medições estáticas e dinâmicas, sendo que na primeira fase foram capturadas imagens em posição estática (Castelo et al., 2022). Este teste permite mapear quantitativamente as pressões em cada segmento da superfície plantar. Para o teste estático, os participantes foram convidados a permanecer no centro da plataforma durante 5 segundos, com os braços de cada lado do corpo numa posição natural, olhando em frente (figura 3). Para o teste dinâmico, os participantes foram convidados a caminhar descalços sobre a plataforma ao seu ritmo normal, seguindo o protocolo dos 3 passos, que requer a aterragem na plataforma no terceiro passo da marcha. A duração da avaliação variou entre 8 e 15 minutos e os dados foram analisados utilizando o software Motux Studio, versão 1.9.69.0 (Choi e Ashdown, 2010).



Figura 3. Imagem Estática

Centro de Pressão (COP) e Centro de Massa (COM)

Em termos mecânicos, um corpo humano está em equilíbrio quando a soma das forças internas e externas e os momentos dessas forças que atuam sobre ele resultam em zero (Duarte e Freitas, 2010). Assim, o corpo humano nunca está sujeito à condição de equilíbrio perfeito, oscilando constantemente mesmo quando se encontra numa posição estática. Para avaliar com precisão o controle postural, é necessário quantificar esta oscilação corporal através de variáveis como o centro de pressão (COP) e o centro de massa (COM) (Mochizuki e Amadio, 2003). A avaliação do equilíbrio estático através dos dados do COP e variáveis relacionadas (distância “I-C” entre o COP do pé esquerdo e o COP do corpo e “C-D” (distância entre o COP do pé direito e o COP do corpo)) tem sido efetuada com diversos objetivos, desde a verificação do efeito do treino até à prevenção e recuperação de lesões (Bonfim *et al.*, 2009). A posição do centro de pressão (COP) parece ser uma grandeza biomecânica interessante na análise do movimento. Esta grandeza pode ser utilizada diretamente para avaliar o equilíbrio ou a reatividade no desempenho desportivo (Bonfim *et al.*, 2009).

Nível da dor

Os participantes foram avaliados com a *Numeric Pain Rating Scale* (NPRS, figura 1), apresentada oralmente como um instrumento físico. Numa ação de autoavaliação da dor, relataram o nível de dor ou desconforto sentido nas suas atividades diárias.

Prevenir a dor no corpo é uma forma eficiente de evitar despesas extras com o tratamento medicamentoso, descarregar os sistemas de saúde e manter a qualidade de vida das pessoas, evitando a instalação de dor crónica (Mutalimov *et al.*, 2021). Neste contexto, os algoritmos de *Machine Learning* (ML) podem ser úteis para apreender informações fornecidas em diversos tipos de dados, especificamente nas ciências da saúde, onde uma previsão precisa pode antecipar resultados negativos e, assim, abordar intervenções preventivas com os pacientes (Al Kuwaiti *et al.*, 2023; Naveed, 2023; Nichols *et al.*, 2022; Unpingco, 2016). A escala numérica de avaliação da dor (NPRS) é uma ferramenta amplamente utilizada para avaliar a intensidade da dor em vários contextos clínicos (Brunelli *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2007; Michener *et al.*, 2011; Moisset *et al.*, 2022), (Figura 1). A NPRS demonstrou ter excelentes propriedades psicométricas, o que a torna uma medida fiável e válida da intensidade da dor (Miró *et al.*, 2009). Também se verificou que é sensível às alterações da intensidade da dor ao longo do tempo, demonstrando a sua capacidade de resposta para captar as flutuações dos níveis de dor (Pagé *et al.*, 2012). Além disso, a NPRS é fácil de administrar e tem elevadas taxas de adesão, o que a torna uma escolha prática para avaliar a dor em diversas populações de doentes (Kim *et al.*,

2016). Além disso, a NPRS foi comparada com outras escalas de avaliação da dor, como a Escala Visual Analógica (VAS) e a Escala de Avaliação Verbal (VRS), e verificou-se que apresenta um desempenho favorável em termos de equivalência de escala e administração (Hjermstad et al., 2011). Esta escala varia de 0 a 10, permite uma interpretação rápida e direta da intensidade da dor, possibilitando uma comunicação eficiente entre os doentes e os prestadores de cuidados de saúde (Pieh et al., 2014).

O objetivo deste estudo foi identificar variáveis significativas que contribuem para a associação entre problemas posturais, distribuição da pressão plantar e níveis de dor corporal em adultos de meia-idade e idosos, utilizando uma abordagem inovadora de *Machine Learning*. A nossa hipótese é que as características da pressão plantar e as assimetrias posturais diferem consoante o género, estão associadas à composição corporal e podem prever os níveis de dor. Tanto quanto sabemos, este estudo é único na incorporação de variáveis que permitem a identificação de assimetrias corporais durante a análise postural, com base na distribuição da pressão plantar e na composição corporal.

METODOS

Desenho do estudo

O estudo utilizou um desenho observacional transversal. Foi recrutada uma amostra de conveniência para analisar as diferenças entre homens e mulheres em termos de antropometria, composição corporal, distribuição da pressão plantar e níveis de dor. Sem intervenção, os investigadores observaram e registaram os dados num único momento, permitindo comparações entre sexos e explorando correlações entre as variáveis medidas. Este tipo de desenho permitiu uma visão instantânea das diferenças e associações presentes na amostra. O método de amostragem foi o de conveniência e a investigação foi realizada entre abril e outubro de 2023.

Amostra

A população do presente estudo era constituída por 52 (n=52) participantes de ambos os sexos. A maioria dos participantes do estudo era do sexo feminino, com 67,3% (n=35), enquanto 32,7% da amostra era do sexo masculino (n=17). A idade média dos participantes foi de 57,35 anos no sexo masculino e de 64,69 anos no sexo feminino.

Devido à complexidade do estudo, todos os participantes foram submetidos a três protocolos de avaliação: física, postural e baropodométrica. O protocolo de avaliação física permitiu obter os seguintes dados: altura, peso, quantidade de massa gorda, quantidade de massa magra, quantidade de água corporal, taxa metabólica basal e tamanho do calçado. Os dados foram recolhidos utilizando a balança de bio impedância

LAICA PS5006 e a altura com um estadiómetro portátil. Para completar o protocolo de avaliação postural, foram tiradas imagens de cada participante (plano frontal e dois planos sagitais). Todas as imagens foram analisadas com recurso à plataforma *APECS Pro Plus* (versão 8.4.11). Cada ponto corporal foi marcado com marcadores coloridos. A plataforma utilizou os seguintes pontos: Legenda: A1 - Alinhamento do corpo; A2 - Inclinação da cabeça; A3 - Alinhamento dos ombros; A4 - Alinhamento das axilas; A5 - Inclinação da caixa torácica; A6 - Ponto mais profundo do tronco; A7 - Inclinação pélvica; A8 - Ângulo do joelho direito; A9 - Ângulo do joelho esquerdo; A10 - Rotação do pé direito; A11 - Rotação do pé esquerdo; P1 - Alinhamento do corpo; P2 - Inclinação da cabeça; P3 - Alinhamento dos ombros; P4 - Alinhamento das axilas; P5 - Ponto mais profundo do tronco; P6 - Inclinação pélvica; P7 - Joelhos; P8 - Pés; R1 - Alinhamento do corpo; R2 - Deslocamento da cabeça; R3 - Ângulo do ombro; R4 - Inclinação pélvica; R5 - Joelho; R6 - Tíbia; R7 - Ângulo do pé; L1 - Alinhamento do corpo; L2 - Deslocamento da cabeça; L3 - Ângulo do ombro; L4 - Inclinação pélvica; L5 - Joelho; L6 - Tíbia; D7 - Ângulo do pé; LF (pé esquerdo); RF (pé direito); I-C: Distância entre o COP do pé esquerdo e o COP do corpo; C-D: Distância entre o COP do pé direito e o COP do corpo. No protocolo de baropodometria, apenas foram analisadas imagens estáticas. O tamanho do calçado foi registado como valores auto reportados.

Para participar neste estudo, foram definidos os seguintes critérios de inclusão: os participantes tinham de ter pelo menos dezoito anos de idade e estar fisicamente aptos, enquanto os critérios de exclusão incluíam problemas ortopédicos graves (colocação de próteses, cirurgias ortopédicas recentes), problemas neurológicos (doenças que requerem a ingestão diária de analgésicos), doenças cardiopulmonares (pacemaker, utilização de cilindros de oxigénio) e mulheres grávidas. Todos os participantes participaram voluntariamente, assinando o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O estudo foi realizado de acordo com os princípios de Helsínquia. O projeto foi submetido à Comissão de Ética para a Investigação com Seres Humanos da Universidade da Beira Interior (Covilhã), tendo sido aprovado sob o parecer n.º CE-UBI-Pj-2023-030 e o estudo foi registado retrospectivamente na Plataforma Internacional de Registo de Ensaio Clínicos da OMS sob o ID: NCT06647355 no dia 15 de outubro de 2024.

Análise Estatística

Métodos Descritivos e diferenciais

A estatística descritiva foi apresentada com médias, desvios-padrão, valores mínimos e máximos. A análise exploratória foi feita utilizando os testes de Kolmogorov-Smirnov e Levene para avaliar a normalidade e homogeneidade das distribuições, respetivamente. As comparações entre grupos (sexo) e as significâncias estatísticas foram avaliadas pelo Teste T. Os tamanhos de efeito foram interpretados como d de Cohen $< 0,2$ assumidos como tamanhos de efeito pequenos; d de Cohen $\approx 0,2$ a $0,5$ foram considerados como tamanhos de efeito moderados; d de Cohen $\approx 0,5$ a $0,8$ foram tamanhos de efeito médios e d de Cohen $> 0,8$ como tamanhos de efeito grandes (Cohen, 2013). Foram utilizados os testes de correlação de Pearsons (r_p) para verificar associações entre variáveis (JASP, 2018). Um mapa de calor das correlações representativas foi criado com o software. Todas as análises foram feitas usando o JASP v. 0.18.1 (Universidade de Amesterdão, Amesterdão, Holanda) (JASP, 2018). A significância da análise foi definida como 5% para todos os testes (Cohen, 2013).

Análise exploratória de dados

Para encontrar as características adequadas a serem inseridas nos modelos de *Machine Learning*, foi realizada uma análise exploratória por meio de uma análise de correlação devido ao conhecimento prévio da literatura sobre a correlação linear entre posturas corporais e índices de dor (Cai et al., 2018), onde o conjunto de variáveis independentes que apresentaram correlações $\geq 0,30$ (tamanho moderado) com os valores de dor do paciente, respeitando os cortes de tamanho de efeito de Cohen (Cohen, 2013). Desta forma, após este processo de seleção de características, a dimensionalidade do conjunto de dados foi reduzida para evitar a influência do ruído no desempenho preditivo dos algoritmos de aprendizagem automática (Cai et al., 2018).

Abordagem de “Machine learning”

Foi aplicada uma abordagem de *Machine Learning* para prever as pontuações de dor corporal do doente, trabalhando em Python TM, uma linguagem de programação computacional (Python, 2023). Após a análise exploratória (apresentada na figura 4), identificámos as variáveis mais correlacionadas com as pontuações de dor do doente. O procedimento de seleção de características, escolheu as variáveis mais relevantes para predizer os níveis de dor do paciente, sendo elas [IMC (Kg/m²), massa magra (%), RF (Pé Direito), C-D (Distância entre o COP do pé direito e o COP do corpo (mm), A9 (ângulo de desvio lateral do joelho esquerdo (°)), e desvio do pescoço para o lado esquerdo (°)]. A Figura 4 mostra a matriz de correlação entre todas as variáveis independentes e a variável dependente do objetivo.

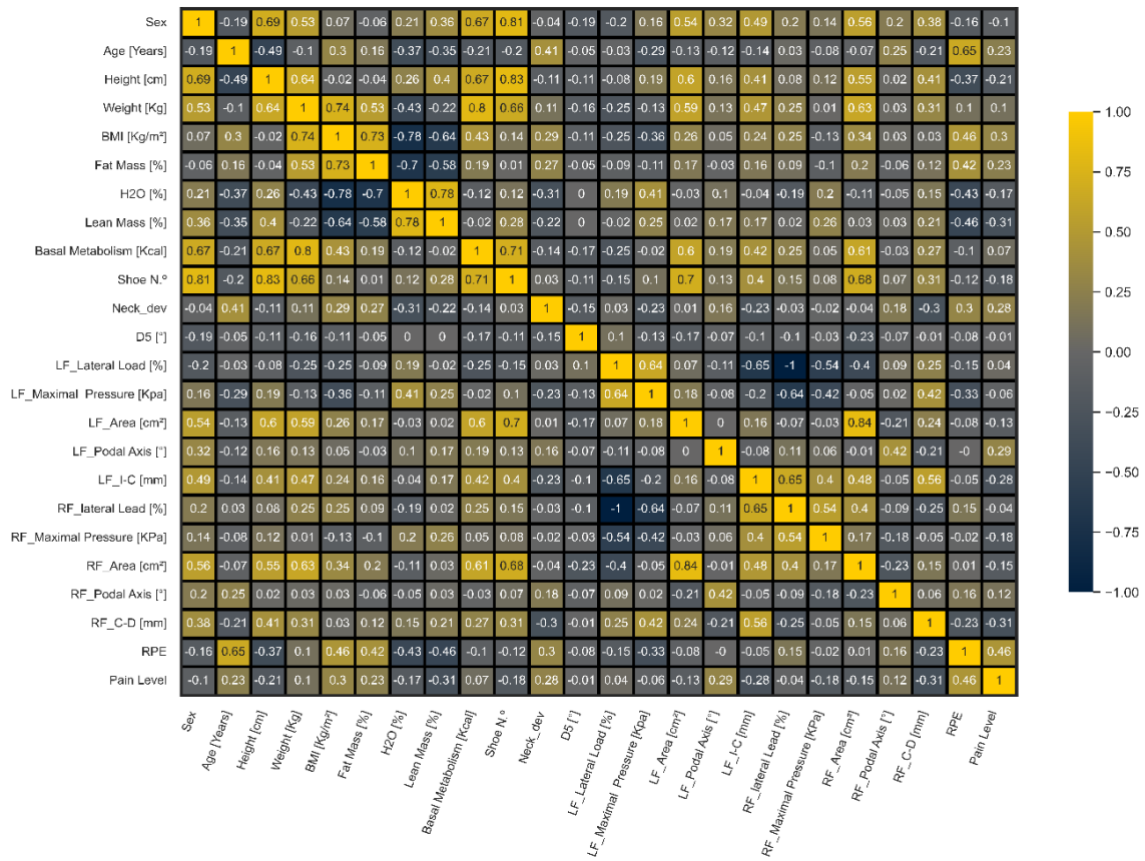


Figura 4. Matriz de correlação entre a variável independente e a variável dependente

Tabela 4. Características mais correlacionadas com os níveis de dor corporal dos participantes.

Variáveis	Correlação com as pontuações de dor
Altura [cm]	-0.20
IMC [Kg/m ²]	0.30
Massa gorda [%]	0.23
Massa magra [%]	-0.30
LF_Ângulo do pé [°]	0.28
LF_I-C [mm]	-0.27
RF_C-D [mm]	-0.30
A9 [°]	0.34
Desvio do pescoço do lado esquerdo [°]	0.41
RPE	0.46

Legenda: A9 – Ângulo do joelho esquerdo; LF – pé esquerdo; RF – pé direito; I-C: Distância entre o COP do pé esquerdo e o COP do corpo; C-D: Distância entre o COP do pé direito e o COP do corpo, RPE - taxa de esforço.

Na etapa seguinte, testamos duas configurações de treino para os algoritmos, dividindo 20% dos dados para treino e 80% para teste (Unpingco, 2016). Como o problema desta pesquisa foi originado de uma natureza multidimensional, as características mais correlacionadas [IMC, massa magra, distância entre o COP do pé direito e o COP do corpo, ângulo de desvio lateral do joelho esquerdo e desvio do pescoço para o lado esquerdo] foram inseridas numa matriz de previsão (X) e os níveis de dor foram imputados a uma matriz de previsão (y). A matriz X foi normalizada dentro de um intervalo de -1,1 para evitar o sobre ajuste e, possivelmente, o cálculo da regressão num espaço multidimensional de características (Singh e Singh, 2020). Para avaliar o desempenho dos modelos, as métricas de erro de médio quadrado (MSE) e *Root Mean Square Error* (RMSE) e os valores médios e de desvio padrão das pontuações de dor previstas para cada algoritmo também foram produzidos considerando as características de entrada das matrizes X e y, fazendo assim a estimativa com base nas características reais e de previsão (Hicks et al., 2022). (Chai e Draxler, 2014). Esta configuração foi aplicada nos sete algoritmos seguintes. As matrizes obtidas e testadas foram inseridas em sete algoritmos de aprendizagem automática regressiva: *Extreme Gradient Boosting* (EGB) (Cho, 2024), *Regressão Bayesiana* (BayesianRidge, 2007), *Regressão Linear* (LinearRegression, 2007), *Regressão Ridge* (Ridge, 2007), *Regressão por Árvore de Decisão* (DecisionTreeRegressor, 2007), *Regressão Random Forest* (scikit-learn, 2007) e *Regressão por Vetor de Suporte* (SVR, 2007). A execução de diferentes modelos regressivos de aprendizagem automática possibilita a comparação da avaliação do

desempenho entre vários modelos, permitindo assim ao investigador verificar a estabilidade do conjunto de dados com diferentes equações de aprendizagem automática (Chicco et al., 2021). Finalmente, foi aplicada uma validação cruzada K-fold para verificar a estabilidade do algoritmo de aprendizagem automática anterior. A validação cruzada considerou 5 dobras e as mesmas métricas de MSE e RMSE da análise prévia (Bradshaw et al., 2023).

RESULTADOS

Análise descritiva

A tabela 5 apresenta as médias e desvios-padrão para os dados antropométricos, composição corporal, nível de dor, baropodometria e assimetrias posturais para a amostra total, homens e mulheres.

Tabela 5. Médias e desvios-padrão para as variáveis antropométricas, composição corporal, nível da dor, baropodometria e assimetrias posturais.

Variáveis		Total (N=52) Média (± Sd)	Mulheres (N=35) Média (± Sd)	Homens (N=17) Média (± Sd)
Antropometria e composição corporal	Idade [Anos]	62.29 ± 18.093	64.69 ± 18.706	57.35 ± 16.167
	Altura [cm]	165.31 ± 10.151	160.46 ± 7.294	175.29 ± 7.614
	Peso [Kg]	70.46 ± 13.222	65.64 ± 10.213	80.40 ± 13.406
	IMC [Kg/m ²]	25.6483 ± 3.69897	25.4620 ± 3.87153	26.0318 ± 3.39550
	Massa gorda [%]	28.248 ± 6.7271	28.546 ± 6.3491	27.635 ± 7.6154
	H ₂ O [%]	50.88 ± 4.649	50.20 ± 4.526	52.28 ± 4.718
	Massa magra [%]	29.298 ± 4.1095	28.289 ± 3.8629	31.376 ± 3.9116
	Metabolismo [Kcal]	1341.21 ± 227.902	1235.89 ± 126.222	1558.06 ± 239.735
Tamanho do pé N. °	39.02 ± 2.834	37.44 ± 1.523	42.26 ± 2.009	
Nível da dor	Nível da dor	6.50 ± 2.356	6.66 ± 2.086	6.18 ± 2.877
Baropodometria	LF_Carga lateral [%]	47.502 ± 5.2400	48.243 ± 5.9058	45.976 ± 3.1192
	LF_Pressão máxima [Kpa]	234.500 ± 20.1625	232.243 ± 22.5655	239.147 ± 13.4036
	LF_Área [cm ²]	124.15 ± 2	114.89 ± 18.130	143.24 ± 26.520
	LF_Ângulo do pé [°]	8.692 ± 9.2125	6.669 ± 5.7419	12.859 ± 13.1551
	LF_I-C [mm]	105.64 ± 23.604	97.68 ± 21.360	122.04 ± 19.547
	RF_Carga lateral [%]	52.498 ± 5.2400	51.757 ± 5.9058	54.024 ± 3.1192
	RF_Pressão máxima [KPa]	238.465 ± 11.2321	237.397 ± 12.3577	240.665 ± 8.3658
	RF_Área [cm ²]	130.92 ± 28.776	119.77 ± 21.855	153.88 ± 28.149
	RF_Ângulo do pé [°]	10.442 ± 4.7455	9.800 ± 4.5166	11.765 ± 5.0665
RF_C-D [mm]	94.473 ± 16.5183	90.189 ± 16.3103	103.294 ± 13.4757	
Assimetrias posturais na vista anterior do plano frontal	A1 [°]	0.62 ± .796	0.57 ± .850	0.71 ± .686
	A2 [°]	1.90 ± 2.452	2.26 ± 2.737	1.18 ± 1.551
	A3 [°]	1.54 ± 1.686	1.60 ± 1.818	1.41 ± 1.417
	A4 [°]	1.42 ± 1.944	1.54 ± 2.241	1.18 ± 1.131
	A5 [°]	0.81 ± 1.344	0.91 ± 1.541	0.59 ± .795
	A6 [°]	0.79 ± 1.273	0.94 ± 1.474	0.47 ± .624
	A7 [°]	0.81 ± 1.155	0.91 ± 1.245	0.59 ± .939
	A8 [°]	2.88 ± 2.691	2.43 ± 2.404	3.82 ± 3.067
	A9 [°]	3.58 ± 3.102	3.31 ± 3.085	4.12 ± 3.160
	A10 [°]	13.94 ± 7.770	12.89 ± 7.673	16.12 ± 7.737
	A11 [°]	9.60 ± 7.807	9.03 ± 8.234	10.76 ± 6.933
Assimetrias posturais na vista anterior do plano frontal	P1 [°]	0.40 ± .569	0.46 ± .611	0.29 ± .470
	P2 [°]	1.50 ± 1.732	1.57 ± 1.945	1.35 ± 1.222
	P3 [°]	1.77 ± 1.676	1.91 ± 1.805	1.47 ± 1.375
	P4 [°]	1.04 ± 1.298	1.17 ± 1.317	0.76 ± 1.251
	P5 [°]	0.96 ± 1.414	1.11 ± 1.623	0.65 ± .786
	P6 [°]	0.98 ± 1.196	0.83 ± 1.150	1.29 ± 1.263
	P7 [°]	1.17 ± 1.354	1.14 ± 1.004	1.24 ± 1.921
	P8 [°]	4.17 ± 5.346	4.43 ± 5.853	3.65 ± 4.227
Assimetrias posturais no plano lateral direito do plano sagital	R1 [°]	1.92 ± 1.426	1.89 ± 1.430	2.00 ± 1.458
	R2 [°]	33.83 ± 7.641	34.03 ± 8.414	33.41 ± 5.948
	R3 [°]	14.94 ± 13.557	11.09 ± 7.789	22.88 ± 18.904
	R4 [°]	8.42 ± 8.252	9.03 ± 8.719	7.18 ± 7.282
	R5 [°]	4.73 ± 2.650	5.09 ± 3.033	4.00 ± 1.414
	R6 [°]	4.42 ± 3.133	4.03 ± 2.995	5.24 ± 3.345
	R7 [°]	32.85 ± 7.734	32.40 ± 7.624	33.76 ± 8.113
Assimetrias posturais no plano lateral esquerdo do plano sagital	L1 [°]	2.40 ± 1.636	2.11 ± 1.530	3.00 ± 1.732
	L2 [°]	35.96 ± 7.554	35.69 ± 7.892	36.53 ± 7.001
	L3 [°]	8.04 ± 6.750	6.71 ± 6.926	10.76 ± 5.618
	L4 [°]	10.40 ± 6.832	11.29 ± 7.303	8.59 ± 5.501
	L5 [°]	4.71 ± 2.913	4.29 ± 3.073	5.59 ± 2.399
	L6 [°]	3.73 ± 3.182	3.14 ± 2.724	4.94 ± 3.766
	L7 [°]	29.50 ± 7.964	28.37 ± 8.229	31.82 ± 7.055

Legenda: A1 - Alinhamento do corpo; A2 - Inclinação da cabeça; A3 - Alinhamento dos ombros; A4 - Alinhamento das axilas; A5 - Inclinação da caixa torácica; A6 - Ponto mais profundo do tronco; A7 - Inclinação pélvica; A8 - Ângulo do joelho direito; A9 - Ângulo do joelho esquerdo; A10 - Rotação do pé direito; A11 - Rotação do pé esquerdo; P1 - Alinhamento do corpo; P2 - Inclinação da cabeça; P3 - Alinhamento dos ombros; P4 - Alinhamento das axilas; P5 - Ponto mais profundo do tronco; P6 - Inclinação pélvica; P7 - Joelhos; P8 - Pés; R1 - Alinhamento do corpo; R2 - Deslocamento da cabeça; R3 - Ângulo do ombro; R4 - Inclinação pélvica; R5 - Joelho; R6 - Tíbia; R7 - Ângulo do pé; L1 - Alinhamento do corpo; L2 - Deslocamento da cabeça; L3 - Ângulo do ombro; L4 - Inclinação pélvica; L5 - Joelho; L6 - Tíbia; D7 - Ângulo do pé; LF (pé esquerdo); RF (pé direito); I-C: Distância entre o COP do pé esquerdo e o COP do corpo; C-D: Distância entre o COP do pé direito e o COP do corpo.

Análise comparativa entre sexos para variáveis antropométricas, composição corporal, nível de dor e imagens baropodométricas

As comparações entre os sexos para as variáveis antropométricas, de composição corporal, nível de dor e baropodométricas revelaram diferenças significativas (o sexo masculino apresentou escores mais altos) para altura, peso, percentual de massa magra, metabolismo basal, número de calçados, área do pé esquerdo, eixo podal e distância entre o COP do pé esquerdo e o COP do corpo e para o pé direito a área e a distância entre o COP do pé direito e o COP do corpo (apresentados na Tabela 6).

Tabela 6. Valor do teste (F) e significância (p) para comparações entre sexos e variáveis antropométricas, composição corporal, nível de dor e imagens baropodométricas.

Variáveis	F	p	Variáveis	F	P
Idade [Anos]	1.913	0.173	LF_Carga lateral [%]	2.190	0.145
Altura [cm]	46.028	<0.001	LF_Pressã máxima [Kpa]	1.351	0.251
Peso [Kg]	19.416	<0.001	LF_Área [cm ²]	20.501	<0.001
IMC [Kg/m ²]	0.268	0.607	LF_Ângulo do pé [°]	5.636	0.021
Massa gorda [%]	0.206	0.652	LF_I-C [mm]	15.701	<0.001
H ₂ O [%]	2.356	0.131	RF_Carga lateral [%]	2.190	0.145
Massa magra [%]	7.253	0.010	RF_Pressão máxima [KPa]	0.968	0.330
Metabolismo [Kcal]	40.638	<0.001	RF_Área [cm ²]	23.020	<0.001
Tamanho do pé N.º	92.731	<0.001	RF_Ângulo do pé [°]	2.000	0.164
Nível da dor	0.471	0.495	RF_C-D [mm]	8.223	0.006

Legenda: LF - Pé esquerdo; RF - Pé direito; I-C: Distância entre o COP do pé esquerdo e o COP do corpo; C-D: Distância entre o COP do pé direito e o COP do corpo.

Comparações das Assimetrias Posturais entre sexos

As comparações entre os sexos para as assimetrias posturais não revelaram diferenças significativas. A tabela 7 mostra as comparações entre os grupos.

Tabela 7. Comparação entre sexos para as assimetrias posturais.

Variáveis	F	p	Variáveis	F	p	Variáveis	F	P
A1 [°]	0.322	0.573	P1 [°]	0.938	0.338	R4 [°]	0.572	0.453
A2 [°]	2.279	0.137	P2 [°]	0.179	0.674	R5 [°]	1.956	0.168
A3 [°]	0.140	0.710	P3 [°]	0.799	0.376	R6 [°]	1.721	0.196
A4 [°]	0.402	0.529	P4 [°]	1.126	0.294	R7 [°]	0.352	0.556
A5 [°]	0.669	0.417	P5 [°]	1.256	0.268	L1 [°]	3.519	0.067
A6 [°]	1.593	0.213	P6 [°]	1.759	0.191	L2 [°]	0.140	0.710
A7 [°]	0.910	0.345	P7 [°]	0.052	0.820	L3 [°]	4.394	0.041
A8 [°]	3.208	0.079	P8 [°]	0.241	0.626	L4 [°]	1.812	0.184
A9 [°]	0.764	0.386	R1 [°]	0.072	0.789	L5 [°]	2.349	0.132
A10 [°]	2.019	0.162	R2 [°]	0.073	0.788	L6 [°]	3.861	0.055
A11 [°]	0.561	0.457	R3 [°]	10.233	0.002	L7 [°]	2.200	0.144

Legenda: A1 - Alinhamento do corpo; A2 - Inclinação da cabeça; A3 - Alinhamento dos ombros; A4 - Alinhamento das axilas; A5 - Inclinação da caixa torácica; A6 - Ponto mais profundo do tronco; A7 - Inclinação pélvica; A8 - Ângulo do joelho direito; A9 - Ângulo do joelho esquerdo; A10 - Rotação do pé direito; A11 - Rotação do pé esquerdo; P1 - Alinhamento do corpo; P2 - Inclinação da cabeça; P3 - Alinhamento dos ombros; P4 - Alinhamento das axilas; P5 - Ponto mais profundo do tronco; P6 - Inclinação pélvica; P7 - Joelhos; P8 - Pés; R1 - Alinhamento do corpo; R2 - Deslocamento da cabeça; R3 - Ângulo do ombro; R4 - Inclinação pélvica; R5 - Joelho; R6 - Tíbia; R7 - Ângulo do pé; L1 - Alinhamento do corpo; L2 - Deslocamento da cabeça; L3 - Ângulo do ombro; L4 - Inclinação pélvica; L5 - Joelho; L6 - Tíbia; D7 - Ângulo do pé.

Resultados de Machine Learning

Após a aplicação de todos os algoritmos, encontramos os modelos líderes para cada variável de previsão. A máquina de vetores de suporte foi o melhor algoritmo na previsão de uma pontuação de 7 pontos na escala NPRS de percepção da dor (MSE = 4,0,9, RMSE = 2,02, valor previsto = 7 pontos na NPRS) com base nas melhores características previamente recuperadas. Por conseguinte, o melhor modelo apresentou boas métricas depois de ser aprovado no método de validação cruzada 5 vezes (MSE = 3-7, RMSE = 2-3, previsões = 5-7 pontos na NPRS) (apresentado na Tabela 8).

Tabela 8. Resumo do desempenho do algoritmo de aprendizagem automática para prever pontuações de dor corporal com base no desvio esquerdo do pescoço, no índice de massa corporal e na massa magra.

ML model	MSE	RMSE	Pred. (\bar{x} \pm sd)
GXBoost	11.16	3.34	5 \pm 2.43
Bayesian Regression	5.09	2.25	6 \pm 1.28
Linear Regression	6.22	2.49	6 \pm 1.79
Ridge Regression	6.09	2.46	6 \pm 1.75
Decision Tree Regression	5.45	2.34	6 \pm 1.86
Support vector regression	4.09	2.02	7 \pm 0.98
Random Forest Regression	7.25	2.69	6 \pm 1.49

Legenda: MSE: erro médio quadrado, RMSE: raiz do erro médio quadrado. O melhor algoritmo (Regressão de vetor de suporte) está destacado a negrito, \bar{x} : média, sd: desvio padrão.

Discussão

O objetivo foi identificar variáveis significativas que contribuem para a associação entre problemas posturais, distribuição da pressão plantar e níveis de dor corporal em adultos de meia-idade e idosos. Foi levantada a hipótese de que as características da pressão plantar diferem por sexo, relacionadas à composição corporal e ao nível de dor. Os resultados discutidos a seguir confirmaram a hipótese.

O presente estudo revelou diferenças significativas nas variáveis relacionadas com o pé e com a composição corporal entre os sexos masculino e feminino. As variáveis que confirmaram este facto foram: altura, peso, área do pé esquerdo e eixo podal, I-C do pé esquerdo, percentagem de massa magra, metabolismo basal, Nº de sapato, área do pé direito e C-D, sendo que o sexo masculino apresentou valores mais elevados em cada variável. Estes resultados enfatizaram os perfis fisiológicos e biomecânicos únicos de cada sexo (Hooker et al., 2020). Essas diferenças incluíram a percentagem de água, as dimensões dos pés, o IMC, a massa magra e o metabolismo basal. A literatura refere que estas variáveis podem influenciar a distribuição da pressão plantar e a função do pé (Caselli et al., 2002; Henriksson et al., 2020). Os resultados também destacaram disparidades moderadas no conteúdo de água e nas dimensões do pé entre os sexos, contribuindo potencialmente para variações na biomecânica do pé e na distribuição da pressão plantar (Cheung et al., 2005). A compreensão destas diferenças pode ser um ponto de partida para o desenvolvimento de intervenções adaptadas que tenham em conta os perfis fisiológicos e biomecânicos únicos de homens e mulheres (Caselli et al., 2002; Hooker et al., 2020). É necessária mais investigação para compreender de forma

abrangente as implicações destas diferenças na biomecânica do pé e na distribuição da pressão plantar (Cheung et al., 2005; Eriksson et al., 2019).

Apesar da investigação em curso e do desenvolvimento de novas intervenções, a dor músculo-esquelética na coluna vertebral continua a ser um desafio clínico devido à sua condição multifatorial e elevada incidência (Koes et al., 2010). Dada a complexidade biomecânica envolvida na manutenção do equilíbrio corporal e do alinhamento postural, é de salientar que vários fatores podem intervir negativamente, procurando ajustes corporais e motores compensatórios. Alterações na condução, integração ou processamento de informações sensoriais causadas por mudanças posturais podem levar a um equilíbrio corporal menos eficiente (Field et al., 2008).

Foram observadas diferenças entre os sexos em várias variáveis antropométricas, de composição corporal, de nível de dor e baropodométricas, revelando distinções significativas. Nomeadamente, foram observadas disparidades nos dados antropométricos, como a altura, o peso, a percentagem de massa magra, o metabolismo basal e o tamanho do calçado (Kirchengast, 2010). No presente estudo, a área do pé esquerdo, o eixo podal e as distâncias entre os centros de pressão do pé e do corpo (COPs) revelaram diferenças significativas entre os sexos. Estas diferenças também são registadas e explicadas pela literatura (Capodaglio et al., 2012).

A previsão da *Machine Learning* revelou que a capacidade de previsão da combinação do IMC e das características posturais para explicar os níveis de dor dos sujeitos estava positivamente correlacionada com o IMC, inversamente com a massa magra, inversamente correlacionada com a distância do COP do pé direito em relação ao COP do corpo, positivamente relacionada com o ângulo do joelho esquerdo (joelho valgo), positivamente correlacionada com os graus de desvio do pescoço e positivamente correlacionada com a RPE de uma única sessão de treino. A mesma metodologia foi utilizada anteriormente em diferentes estudos. Um estudo revelou a previsão de lesões de corrida e dor com aprendizagem automática (Lövdal et al., 2021), outro estudo revelou que as mulheres sentem tipicamente mais dor do que os homens devido a marcadores biológicos (Fillingim et al., 2009). Não foi encontrado nenhum estudo que utilizasse técnicas de aprendizagem automática para explicar as associações entre as assimetrias posturais e os níveis de dor. No entanto, é possível encontrar vários estudos que relatam as relações entre os níveis de dor e as assimetrias posturais. Um estudo refere que quanto maior o nível de desequilíbrio postural, maiores os níveis de dor (Ruhe et al., 2011). O estudo de Balthillaya et al. (2022) revelou que a correção postural terapêutica pode ajudar a reduzir os níveis de dor. Por fim, e em concordância com os resultados do presente estudo, as assimetrias do pescoço também estão relacionadas com o aumento

dos níveis de dor (Mahmoud et al., 2019). A dor corporal pode aumentar o esforço relativo necessário para treinar porque interfere diretamente na percepção do esforço, no desempenho físico e na motivação. Esta relação é influenciada por vários fatores: fisiológicos, psicológicos e neurológicos. A dor crónica está frequentemente associada a um estado inflamatório crónico, que pode afetar o desempenho muscular, a redução da amplitude de movimento e o aumento da fadiga.

A dor pode alterar a postura e os padrões de movimento, o que pode levar a um recrutamento muscular menos eficiente e a um maior risco de lesão (Field et al., 2008). Em conclusão, a dor é um fenómeno complexo e multifatorial que desafia uma quantificação precisa. Embora existam ferramentas para avaliar a intensidade da dor, a experiência individual continua a ser o principal fator para determinar o seu impacto na vida das pessoas.

Embora os resultados encontrados tenham valor científico, é necessário considerar algumas limitações: este estudo foi realizado com uma amostra de conveniência; trata-se de um estudo observacional, havendo necessidade de cautela na interpretação dos resultados; a amostra não representa uma população específica, mas ao mesmo tempo é constituída maioritariamente pelo género feminino, o que por si só pode ter influenciado os resultados, dado que existem diferenças antropométricas entre os géneros; a dimensão e as características da amostra não permitem executar técnicas mais precisas como a aprendizagem profunda. Com base nos resultados deste estudo, identificamos como estudos futuros a necessidade de desenvolver e implementar um programa de treino para melhorar a aptidão física e a composição corporal. Espera-se que o programa de treino possa influenciar a distribuição da pressão plantar e as assimetrias posturais, melhorando a composição corporal a longo prazo (aumento da massa e força muscular e redução da massa gorda corporal). A integração da baropodometria com as assimetrias da postura corporal, RPE nas sessões de treino de exercício e níveis de dor tem implicações práticas na qualidade de vida, permitindo identificar mais variáveis chave na explicação das causas da dor. Por fim, um maior número de participantes permitirá executar procedimentos estatísticos mais avançados (i.e., *deep learning*).

Conclusão

Este estudo permitiu-nos concluir que as variáveis boropodemétricas diferem entre sexos e o nível de dor é explicado por variáveis de composição corporal e postura. A área do pé esquerdo e eixo podal, I-C do pé esquerdo, percentagem de massa magra, metabolismo basal, N.º do sapato, área do pé direito e C-D e ângulo do ombro, quando as variáveis eram do sexo masculino, apresentaram valores mais elevados.

Adicionalmente, verificámos que a combinação de IMC mais elevado prediz o nível de dor, massa magra reduzida, COP do pé direito distanciado em relação ao COP do corpo, ângulo do joelho esquerdo expondo um joelho valgo, positivamente correlacionado com os graus de desvio do pescoço, e maior RPE da sessão de treino.

O estudo inovador poderá desempenhar um papel crucial na melhoria da qualidade de vida das pessoas no futuro, uma vez que permite identificar as variáveis significativas numa análise postural. A baropodometria pode ser integrada noutras tecnologias, como a análise de movimentos 3D e os exames imagiológicos, oferecendo uma visão global da biomecânica do corpo. Esta abordagem multidisciplinar permite tratamentos mais eficazes e uma compreensão mais exata das necessidades dos pacientes. Além disso, a aplicação de modelos como as redes neurais convulsionais pode obter informações valiosas sobre as caraterísticas relacionadas com a dor em diferentes populações.

Declaração de disponibilidade de dados

Os códigos utilizados neste estudo podem ser acedidos através da seguinte ligação:

https://drive.google.com/file/d/1WyXfcAN9pNyRt4-ovy8W4Vlx1egROS1V/view?usp=drive_link

O conjunto de dados pode ser descarregado através da seguinte ligação:

https://drive.google.com/file/d/1qW8d4joICYuIVFldvo_R8YoFqxlnrhwX/view?usp=drive_link

Capítulo 4

Relação entre as imagens Baropodométricas e Dor Crónica: Efeitos de um Programa de Exercício Físico na Postura e nos Níveis de Dor Crónica

Resumo

A investigação científica tem vindo a aprofundar a relação entre a postura corporal e o controlo postural, permitindo uma melhor compreensão dos mecanismos neuromusculares subjacentes, apesar da existência de alguns resultados contraditórios. Os desvios no alinhamento osteoarticular podem refletir disfunções posturais, frequentemente associadas a dor ou desconforto. Paralelamente, a evidência atual tem demonstrado de forma consistente os benefícios da prática regular de exercício físico para a saúde geral. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto de um programa de exercício físico na redução da dor corporal, na correção de assimetrias posturais e na melhoria dos padrões baropodométricos da marcha.

Foi conduzido um estudo experimental, com abordagem quantitativa, envolvendo uma amostra de 52 adultos ($n=52$) de ambos os sexos, que preencheram os critérios de inclusão estabelecidos. A amostra foi maioritariamente composta por participantes do sexo feminino (67,3%; $n=35$), sendo que o sexo masculino representou 32,7% ($n=17$). A idade média foi de 57,35 anos para os homens e 64,69 anos para as mulheres. O protocolo incluiu medições em dois momentos (pré e pós-intervenção), permitindo a análise comparativa das variáveis em estudo.

A análise estatística demonstrou alterações significativas entre os momentos avaliados ($p<0,05$), sugerindo que o programa de exercício implementado teve um impacto positivo nas variáveis posturais. Verificou-se uma redução média de 41% nos níveis de dor corporal autorreferida e uma melhoria de 18% nos parâmetros baropodométricos da marcha. Adicionalmente, observou-se uma redistribuição significativa da pressão plantar após a intervenção ($p<0,05$).

Os resultados obtidos indicam que um programa de exercício físico orientado, baseado na análise da distribuição da pressão plantar, é eficaz na correção de assimetrias posturais, na melhoria da distribuição da carga nos pés e na redução da dor corporal. Estes achados sustentam a inclusão de estratégias de exercício personalizado como abordagem terapêutica na reabilitação postural e no controlo da dor musculoesquelética.

Palavras-chave: Exercício, Assimetria, Baropodometria, Bioimpedância, Nível de dor.

Registo do ensaio: o estudo foi registado retrospectivamente na Plataforma Internacional de Registo de Ensaio Clínicos da OMS com a ID: NCT06647355 em 15 de outubro de 2024.

Introdução

A avaliação das assimetrias posturais, da composição corporal, da distribuição da pressão plantar e das forças é crucial para compreender a sua interação com os níveis de dor. As assimetrias posturais, como os desvios do alinhamento ideal, podem levar a um risco acrescido de lesões e problemas músculo-esqueléticos (Al Kuwaiti et al., 2023). A avaliação da composição corporal fornece informações sobre a distribuição da massa magra, da massa gorda e do metabolismo basal, que podem ter um impacto nas funções biomecânicas e na saúde geral (Alves et al., 2018). A análise da distribuição da pressão plantar fornece informações valiosas sobre a função do pé durante atividades como a marcha, ajudando a identificar padrões anormais e potenciais riscos de lesão (Azevedo et al., 2022). Compreender as forças que atuam nos pés ajuda a avaliar a distribuição da carga, o que é essencial para diagnosticar anomalias da marcha e patologias relacionadas com o pé (Back et al., 2013).

As assimetrias posturais podem afetar a distribuição do peso, levando potencialmente a padrões de pressão plantar alterados e a forças exercidas sobre os pés (Al Kuwaiti et al., 2023). Os desvios no alinhamento do pé e na distribuição da pressão podem contribuir para a dor e o desconforto (Balthillaya et al., 2022). Ao avaliar estes parâmetros, os especialistas de saúde podem adaptar as intervenções para corrigir as assimetrias, otimizar a composição corporal e aliviar a dor (Baumfeld et al., 2017). Além disso, a monitorização da distribuição da pressão e das forças plantares pode ajudar na conceção de intervenções personalizadas, tais como dispositivos ortopédicos ou modificações no calçado, para melhorar a mecânica da marcha e reduzir a dor (Bayesian et al., 2007).

A literatura relatou associações entre dor e problemas posturais. Al Kuwaiti et al., (2023) salientou a importância de intervenções posturais precoces para monitorizar e resolver problemas posturais desde uma idade precoce. Outro estudo de (Bell et al., 2022) enfatizou a necessidade de medidas clínicas padronizadas para assimetrias posturais. Além disso, (Bertolazzi et al., 2024) demonstrou os efeitos positivos da terapia manual e dos exercícios de estabilização no alinhamento postural, na função e na redução da dor em pacientes com dor cervical crónica. Estes resultados reforçaram a importância da correção postural e do controlo da dor na melhoria da saúde e do bem-estar músculo-esquelético global através do exercício.

Os efeitos das alterações posturais na saúde estão bem descritos na literatura e há provas da existência de fatores de risco associados (Biamonte et al., 2017). O modelo biomecânico da coluna vertebral não foi concebido para permanecer numa posição sentada durante longos períodos, o que pode causar fadiga, dor e câibras (Bonfim et al., 2009). Os autores (Casey et al., 202) afirmam que, com o passar do tempo, o conceito de trabalho e a natureza do mesmo foram mudando, substituindo gradualmente as atividades de pé por atividades sentadas, obrigando os indivíduos a permanecerem sentados por longos períodos, adaptando posturas específicas que são propensas a dores lombares e cervicais. Brunelli et al., (2010) demonstrou que a posição sentada aumenta a pressão intra discal, aumentando assim o risco de hérnia de disco intervertebral. Uma alteração postural comum é a posição anteriorizada da cabeça, que leva à hiperextensão da cabeça sobre o pescoço e pode causar dor e disfunção na cabeça e no pescoço. A biomecânica desequilibrada é expressa pela assimetria, em que cada alteração na posição de uma articulação implica sistematicamente uma posição compensatória da outra, quebrando assim a simetria (Cai et al., 2018).

A grande maioria dos modelos de prescrição de exercícios é baseada na frequência, intensidade, duração e tipo de atividade física, mas ao mesmo tempo temos que levar em conta um diagnóstico que envolve anamnese, histórico da doença, análise postural e testes físicos, com o objetivo de adaptar o programa de exercícios de forma mais específica e individual (Capodaglio et al., 2012). Nessa perspectiva, considera-se que a análise dos segmentos corporais para verificar alterações posturais é fundamental na busca da harmonia entre eles, o que melhoraria o desempenho físico do indivíduo. A análise da distribuição plantar é importante para a prevenção de distúrbios posturais e estudos têm demonstrado a eficácia da baropodometria nessa avaliação (Caseli et al., 2002). Desta forma, qualquer desequilíbrio ou assimetria corporal decorrente de disfunções articulares, ligamentares ou musculares na região dos pés terá repercussões ascendentes, pois os pés influenciam outras estruturas do corpo (Castelo et al., 2022).

A dor é a razão pela qual as pessoas procuram ajuda e pode apresentar-se de diferentes formas e em diferentes condições, o que pode dificultar o diagnóstico (Chai et al., 2014). É evidente a necessidade de os profissionais obterem informações precisas e detalhadas sobre os sintomas dos doentes para as combinarem com uma avaliação clínica cuidadosa, permitindo um diagnóstico correto e, conseqüentemente, uma abordagem terapêutica adequada (Cheung et al., 2005). Por exemplo, a avaliação da distribuição da pressão do pé pode ajudar a compreender a interação entre as assimetrias posturais e a dor corporal, a composição corporal e a aptidão física. Esta compreensão contribuirá para o desenvolvimento de programas específicos. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os

efeitos de um programa de exercícios que visa melhorar os mapas baropodométricos e reduzir as assimetrias posturais e os níveis de dor. A hipótese é que um programa de exercícios pode melhorar o perfil postural e reduzir os níveis de dor em participantes adultos.

Os objetivos primários do estudo foram a) implementar um protocolo de avaliação abrangente, que inclui medidas antropométricas, autoavaliação dos níveis de dor, análise da composição corporal via bio impedância, dados de baropodometria e imagens de três planos anatômicos; b) categorizar os grupos com base nos tipos de distribuição da pressão plantar, utilizando imagens de baropodometria; c) desenvolver um programa de treino individualizado de doze semanas e d) analisar os efeitos do programa de treino proposto, identificando as variáveis com maior significância na influência dos níveis de dor e na melhoria dos padrões de pisada baropodométrica.

Métodos

Desenho do estudo

Este estudo é uma investigação experimental, longitudinal com análise de dados quantitativos. Uma amostra de conveniência foi recrutada para examinar a influência do exercício físico, identificando variáveis significativas que podem reduzir os níveis de dor e melhorar os padrões de pisada. Adicionalmente, o estudo permitiu a comparação entre géneros e a exploração de correlações entre as variáveis medidas. Os dados foram observados e registados em dois momentos: pré e pós-intervenção. Esta conceção permitiu uma visão abrangente das diferenças e associações dentro da amostra. A investigação foi realizada entre abril e outubro de 2023.

Amostra

A população deste estudo foi constituída por 52 participantes (n=52) de ambos os sexos. A maioria era do sexo feminino, constituindo 67,3% (n=35) da amostra, enquanto o sexo masculino representava 32,7% (n=17). A média de idade dos participantes foi de 57,35 anos para o sexo masculino e 64,69 anos para o sexo feminino.

Dada a complexidade do estudo, todos os participantes foram submetidos a três protocolos de avaliação: física, postural e baropodométrica, além da avaliação do nível de dor. O protocolo de avaliação física recolheu dados relativos à altura, peso, massa gorda, massa magra, teor de água corporal, taxa metabólica basal e tamanho do calçado. Estas medições foram efetuadas com a balança de bio impedância LAICA PS5006 e a altura foi medida com um estadiómetro portátil (Seca 213, Hamburgo, Alemanha). O protocolo de avaliação postural envolveu a captura de imagens de cada participante

(plano frontal e dois planos sagitais), analisadas através da plataforma *APECS Pro Plus* (versão 8.4.11). O protocolo de baropodometria analisou apenas imagens estáticas, sendo o tamanho do calçado registado como valores auto reportados.

Os critérios de inclusão exigiam que os participantes tivessem pelo menos dezoito anos de idade e estivessem fisicamente aptos. Os critérios de exclusão incluíam problemas ortopédicos graves (colocação de próteses, cirurgias ortopédicas recentes), problemas neurológicos (condições que requerem a ingestão diária de analgésicos), doenças cardiopulmonares (uso de pacemaker, dependência de cilindros de oxigénio) e gravidez. Todos os participantes preencheram um questionário de saúde (PAR-Q) (Chicco *et al.*, 2021), um questionário de bem-estar psicológico (EBEP) (Xgboost, 2024) e assinaram um formulário de consentimento livre e esclarecido (CLIE). O projeto foi aprovado pela Comissão de Ética para a Investigação com Seres Humanos da Universidade da Beira Interior (Covilhã), sob o parecer N.º CE-UBI-Pj-2023-030, de acordo com a Declaração de Helsínquia, e o estudo foi registado retrospectivamente na Plataforma Internacional de Registo de Ensaios Clínicos da OMS sob o ID: NCT06647355 em 15 de outubro de 2024.

Composição corporal

A base do bio impedância (BIA) é o princípio de que os tecidos do corpo têm diferentes resistências (impedâncias) à passagem de uma corrente elétrica e, ao medir as resistências que o corpo exerce sobre a corrente, a BIA estima a composição corporal dos componentes de gordura, tecido magro e água, fornecendo assim uma percentagem de gordura corporal (Choi e Ashdow, 2010). Níveis elevados de gordura estão fortemente relacionados com distúrbios metabólicos, doenças cardiovasculares e desequilíbrios posturais, realçando ainda mais a importância do papel da análise da composição corporal na avaliação postural e nutricional (Cohen, 2013).

Normalmente, a composição corporal é mais fácil de avaliar através da análise de bio impedância (BIA), devido à avaliação não invasiva da composição corporal, incluindo a água corporal, a massa muscular e gorda, a gordura visceral e a taxa metabólica (Cramer *et al.*, 2018). A BIA fornece uma estimativa exaustiva da massa gorda, da massa isenta de gordura e dos fluidos corporais, oferecendo informações valiosas para o prognóstico de doenças (Cramer *et al.*, 2018). Além disso, a BIA demonstrou ter resultados comparáveis aos da absorciometria de raios X de dupla energia, o que a torna um método fiável para a avaliação da composição corporal (Cramer *et al.*, 2018).

Distribuição da pressão plantar

A baropodometria tem sido amplamente utilizada na avaliação dos resultados de tratamentos, quer conservadores, quer cirúrgicos, em várias patologias (Duarte e Freitas, 2010), dor músculo-esquelética, dislexia, fibromialgia e esclerose múltipla, e noutros contextos clínicos (Duarte e Freitas, 2010) e a análise da marcha (Eickemberg et al., 2011) tem sido efetuada com esta técnica. No entanto, aconselha-se cautela na interpretação dos resultados da baropodometria na prática clínica e na investigação científica (Erikson et al., 2019). A fiabilidade da baropodometria na avaliação da distribuição da carga plantar foi demonstrada, tornando-a um instrumento valioso na determinação da pressão plantar, do controlo postural e da distribuição da pressão plantar em várias condições (Field et al., 2008).

A avaliação baropodométrica envolveu a utilização do baropodómetro 'Kinefis Podia', equipado com 4 tapetes, uma câmara HD Logitech e um tripé Hama, com especificações técnicas que incluem uma frequência de 800Hz, pressão máxima de 1500N/cm², 1600 sensores, resolução XY de 2,5dpi, resolução Z de 8 bits e validade de calibração (Caselli et al., 2002). O protocolo incluiu medições estáticas e dinâmicas, com a primeira fase a captar imagens numa posição estática (Baumfeld et al., 2017). A duração da avaliação variou de 8 a 15 minutos, e os dados foram analisados utilizando o software *Motux Studio*, versão 1.9.69.0 (Choi e Ashdown, 2010). A percentagem de carga lateral, a pressão máxima, a área de pressão (cm²) e o eixo podal (°) foram obtidos a partir da análise baropodemétrica.

Centro de pressão e centro de massa

Em termos mecânicos, um corpo humano está em equilíbrio quando a soma das forças internas e externas e os momentos dessas forças que atuam sobre ele resultam em zero (Fillingim et al., 2009). Assim, o corpo humano nunca está sujeito à condição de equilíbrio perfeito, oscilando constantemente mesmo quando em posição estática. Para avaliar com precisão o controlo postural, é necessário quantificar essa oscilação corporal por meio de variáveis como o centro de pressão (COP) e o centro de massa (COM) (Fortin et al., 2011). A avaliação do equilíbrio estático através de dados do COP e variáveis relacionadas (distância "I-C" entre o COP do pé esquerdo e o COP do corpo e distância "C-D" entre o COP do pé direito e o COP do corpo) tem sido efetuada com vários objetivos, desde a verificação do efeito do treino até à prevenção e recuperação de lesões (Casey et al., 2022). O I-C e o C-D foram obtidos através da placa de pressão.

Ponto de pressão máxima ‘M’

A análise da distribuição das pressões plantares pode revelar a capacidade de sobrecarga estática e dinâmica de determinadas estruturas ou áreas anatómicas do pé, bem como considerações sobre a sua função e controlo postural. Alterações na distribuição da pressão plantar são por vezes tão elevadas que levam ao aparecimento gradual de várias patologias e deformidades plantares (Gouveia et al., 2021). Uma vez que a estrutura do pé humano está dividida em três partes (retro pé, medio pé e ante pé), o ponto de pressão máxima “M” encontra-se na zona do retro pé, apresentando assim um apoio plantar normal (Guitierrez-Vilahú et al., 2021; Henriksson et al., 2020). Se o ponto de pressão máxima se deslocar para outras áreas de apoio, isso significa um apoio anormal e algumas perturbações biomecânicas (Hicks et al., 2022; Hjermstad et al., 2011). Analisando a localização do ponto 'M', podemos sustentar que os participantes podem ser divididos em sete grupos, que emergiram de classificações anteriores com características particulares (Hooker et al., 2020; Hrysomallis e Goodman, 2001; Kim et al., 2016; Kirchengast, 2010):

Grupo I - O ponto “M” encontra-se nos calcanhares de ambos os pés, com uma boa distribuição do peso corporal numa vista ântero-posterior e medial-lateral. As oscilações do COP são mínimas e a probabilidade de queda é baixa (figura 5). *Grupo I* - O ponto “M” encontra-se nos calcanhares de ambos os pés, com uma boa distribuição do peso corporal numa vista ântero-posterior e medial-lateral. As oscilações do COP são mínimas e a probabilidade de queda é baixa (figura 5).

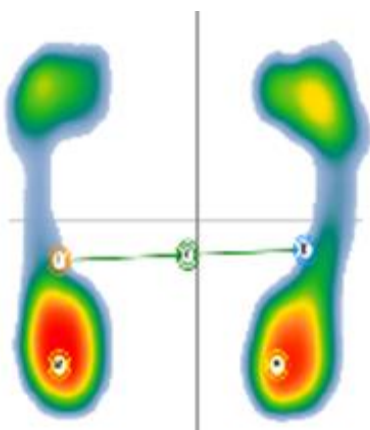


Figura 5. Grupo I

Grupo II - O ponto “M” localiza-se no calcanhar do pé esquerdo e no ante pé do pé direito, mostrando um apoio anormal, aumentando o desequilíbrio lateral e a interação entre os músculos anteriores e posteriores da coxa. A trajetória do COP

sofre algumas alterações, nomeadamente o tempo de contacto com o solo de um pé em relação ao outro e as oscilações medial-laterais aumentam (figura 6).

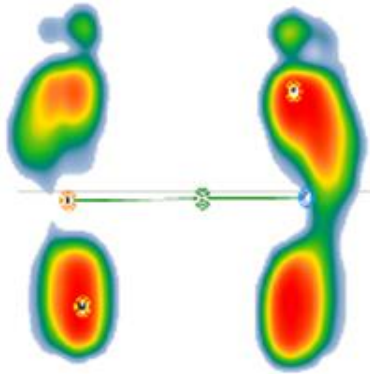


Figura 6. Grupo II

Grupo III - O ponto “M” está localizado no calcanhar do pé direito e no ante pé do pé esquerdo, com apoio anormal, aumentando o desequilíbrio lateral e a interação entre os músculos anteriores e posteriores da coxa. A trajetória do COP sofre algumas alterações, nomeadamente o tempo de contacto de um pé em relação ao outro e as oscilações medial-laterais (figura 7).

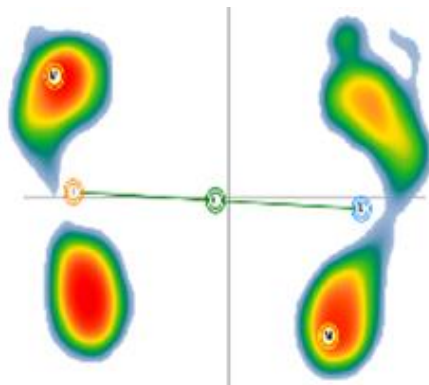


Figura 7. Grupo III

Grupo IV - O ponto de pressão máxima situa-se na zona do ante pé de ambos os pés, com um apoio anormal. Este apoio provoca um aumento da atividade dos músculos plantares e dorso flexores e desloca o COP no sentido ântero-posterior. Os fatores de risco de queda são elevados. O aumento significativo da pressão na zona do ante pé mostra um alargamento da área de contacto que pode causar inflamação dos metatarsos (figura 8).

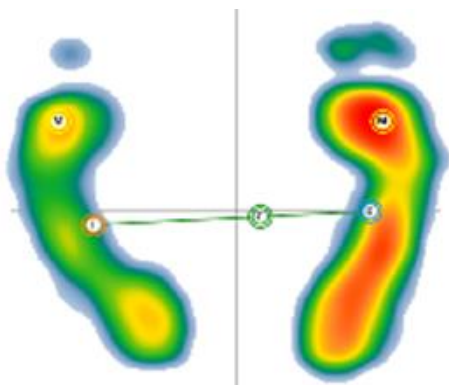


Figura 8. Grupo IV

Grupo V - O ponto “M” situa-se na zona medial de ambos os pés. O apoio medial significa ausência de arco longitudinal, que é um fator associado a lesões dos tecidos moles, como a tendinite patelar e a fascite plantar. A morfologia da pisada é tipicamente plana, o que resulta numa perda das funções de amortecimento. A probabilidade de quedas é elevada devido à alteração biomecânica dos pés (figura 9).

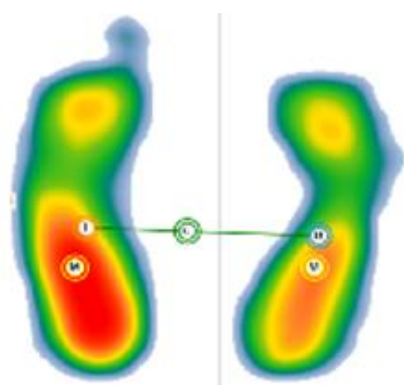


Figura 9. Grupo V

Grupo VI - Neste grupo, o ponto “M” está localizado no médio-pé esquerdo e no retro pé direito e apresenta maiores níveis de oscilação do COP medial devido à diferença na morfologia do pé. A alteração morfológica dos pés desencadeia uma alteração biomecânica na dinâmica do movimento e no comprimento do pé (figura 10).

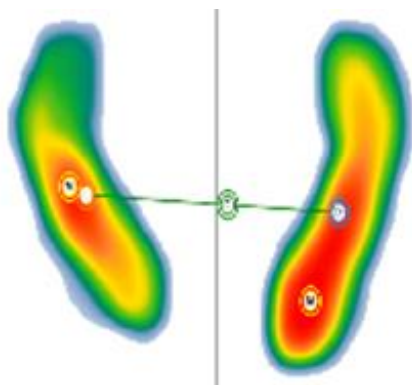


Figura 10. Grupo VI

Grupo VII - O ponto “M” está localizado no medio pé direito e no retro pé esquerdo, que apresenta os maiores níveis de oscilações mediais do COP devido à diferença na morfologia do pé. A alteração morfológica dos pés desencadeia uma alteração biomecânica na dinâmica dos movimentos e no comprimento do pé (figura 11).

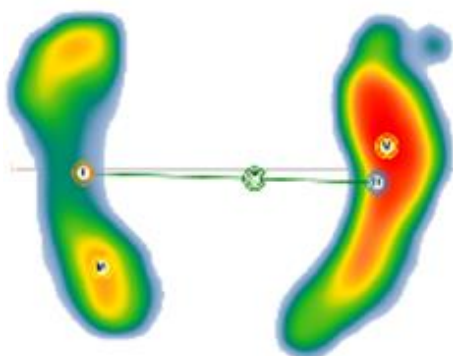


Figura 11. Grupo VII

A localização do COP numa pegada é quantificada utilizando o índice de pronação-supinação (Guitierrez-Vilahu et al., 2021). O pé é pronado quando o COP é medial ao eixo da articulação sub-talar, e é supinado quando o COP é lateral ao eixo. O índice pronação-supinação diminui com a pronação e aumenta com a supinação (Hrysomallis et al., 2001). Alterações nos valores de referência deste índice indicam uma posição incorreta do pé, o que pode levar a lesões como entorses do tornozelo (Guitierrez-Vilahu et al., 2021).

Nível da dor

Os participantes foram avaliados com a Escala Numérica de Classificação da Dor (*NRS Pain*), que foi apresentada oralmente e com um instrumento físico. Numa ação de autoavaliação da dor, relataram o nível de dor ou desconforto sentido nas suas atividades diárias. A escala numérica de avaliação da dor (*NRS Pain*) é um instrumento amplamente utilizado para avaliar a intensidade da dor em vários contextos clínicos (Koes et al., 2010). A *NRS Pain* demonstrou ter excelentes propriedades psicométricas, o que a torna uma medida fiável e válida da intensidade da dor (Li et al., 2007). Também se verificou que é sensível às alterações da intensidade da dor ao longo do tempo, demonstrando a sua capacidade de resposta para captar as flutuações dos níveis de dor (Linear Regression, 2007). Além disso, a *NRS Pain* é fácil de administrar e tem elevadas taxas de adesão, o que a torna uma escolha prática para avaliar a dor em diversas populações de doentes (Lövdal et al., 2021). Para além disso, a *NRS Pain* foi comparada com outras escalas de avaliação da dor, como a Escala Visual Analógica (VAS) e a Escala de Avaliação Verbal (VRS), tendo-se verificado que apresenta um desempenho favorável em termos de equivalência de escala e administração (Luo et al., 2019). Esta escala varia de 0 a 10 e permite uma interpretação rápida e direta da intensidade da dor, possibilitando uma comunicação eficiente entre os doentes e os prestadores de cuidados de saúde (Mahmoud et al., 2019).

Assimetria postural

Foi utilizado o protocolo de avaliação do Sistema de Avaliação e Correção da Postura *APECS AI*. Este protocolo envolve o posicionamento do sujeito descalço contra um fundo neutro, com os braços relaxados e os pés afastados à largura da anca. Foram captadas quatro imagens de diferentes vistas dos planos frontal (anterior e posterior) e sagital (vistas laterais direita e esquerda), de modo a obter uma visão global da postura do sujeito a cerca de 2,5 m de distância. Estas imagens foram carregadas para o software *APECS*, onde a tecnologia de inteligência artificial foi utilizada para identificar automaticamente os principais pontos anatómicos e avaliar o alinhamento e a simetria postural. A tecnologia de IA do software *APECS* analisa as imagens carregadas para detetar quaisquer desvios do alinhamento postural ótimo (considerando 0° de assimetria como ótimo). As assimetrias posturais do sujeito foram avaliadas em graus (°).

Foram avaliadas as seguintes assimetrias anatómicas na vista anterior do plano frontal: 1- Alinhamento do Corpo; 2- Inclinação da Cabeça; 3- Alinhamento dos Ombros; 4- Alinhamento das Axilas; 5- Inclinação do Tronco; 6- Ponto Mais Profundo do Tronco; 7- Inclinação Pélvica; 8- Ângulo do Joelho Direito; 9- Ângulo do Joelho Esquerdo; 10-

Rotação do Pé Direito; 11- Rotação do Pé Esquerdo. Relativamente à vista posterior do mesmo plano, foram medidos os seguintes pontos: 1- Alinhamento do Corpo; 2- Inclinação da Cabeça; 3- Alinhamento dos Ombros; 4- Alinhamento das Axilas; 5- Ponto Mais Profundo do Tronco; 6- Inclinação Pélvica; 7- Joelhos; 8- Pés. Em relação à vista direita e esquerda do plano sagital, foram avaliados os seguintes pontos anatómicos: 1 - Alinhamento do Corpo; 2 - Deslocamento da Cabeça; 3 - Ângulo do Ombro; 4 - Inclinação Pélvica; 5 - Joelho; 6 - Canela; 7 - Ângulo do Pé. Os pontos anatómicos foram marcados com marcadores coloridos de 13 mm.

Programa de treino

A prescrição de um programa de treino foi vista como um processo sistemático e individualizado, de acordo com as necessidades e preferências de cada pessoa, com o objetivo de obter os maiores benefícios com o menor risco para a saúde (Biamonte et al., 2017). A prescrição do exercício foi baseada numa avaliação abrangente da condição física, da composição corporal e da análise postural do indivíduo, de modo a garantir a eficácia e a segurança da intervenção (Luo et al., 2023; Sepehri et al., 2024; Wackerhage & Schoenfeld, 2021).

A prescrição foi feita tendo em conta o objetivo do estudo (implementar um programa de treino que melhorasse a qualidade de vida dos participantes, reduzindo a dor e o desconforto corporal).

De acordo com os passos baropodométricos dos participantes, foi desenvolvido um programa de treino à medida de cada um (Tabela 9), com o objetivo principal de abordar as questões específicas associadas a cada classificação. A intensidade do esforço foi ajustada individualmente com base na perceção subjetiva do esforço, tendo em conta a diversidade da amostra. O programa de treino proposto foi realizado duas vezes por semana, com uma duração de 30 a 45 minutos em cada sessão, durante um período de 12 semanas, culminando num total de 24 sessões. Todas as sessões de treino foram supervisionadas pelo investigador para garantir que os participantes mantinham as posições de exercício corretas. Cada sessão de treino foi dividida em três partes: aquecimento, segmento de exercício principal e arrefecimento. Foram realizados exercícios de mobilidade articular e alongamentos no início e no final das sessões de treino, com amplitudes controladas para evitar desconforto, com a duração de 5 minutos cada. Todos os sete grupos realizaram exercício aeróbico utilizando uma bicicleta estática. A intensidade do esforço foi avaliada com escala de Borg e com controlo de frequência cardíaca. Os exercícios foram escolhidos de forma a evitar mudanças bruscas de direção e o volume de treino foi progressivamente aumentado. Adicionalmente ao protocolo de exercícios gerais, foram implementados exercícios específicos para cada

grupo, em função das suas condições intrínsecas. Esta abordagem estruturada garantiu que cada grupo recebesse uma intervenção direcionada para as suas necessidades posturais e funcionais específicas. Esta sequência de exercícios reforça os músculos intrínsecos dos pés, melhorando a força de suporte do arco plantar. Os exercícios obedeceram aos critérios de segurança recomendados para minimizar o risco de quedas, sobretudo nos participantes mais idosos.

Tabela 9. Programa de treino.

Nº	Grupo	Duração e frequência semanal	Intensidade, número de séries e repetições, escala de Borg			Exercícios em comum	Exercícios específicos
			1º mês	2º mês	3º mês		
1	Passo supinado com tendência cifótica	12 semanas, duas vezes por semana, duração de 30 a 45 minutos	Os exercícios cardiovasculares foram efetuados durante 5 minutos com uma intensidade de 6-7 na escala de Borg.	Os exercícios cardiovasculares foram efetuados durante 5-8 minutos com uma intensidade de 7-8 na escala de Borg.	Os exercícios cardiovasculares foram efetuados durante 5-10 minutos com uma intensidade de 8-9 na escala de Borg.	A, B, C, D, E, F, G,	P, R, S, T
2	Passo supinado com tendência para hiper lordose						U, V, W, X
3	Passo pronado com tendência cifótica						P, Y, AC, S
4	Passo pronado com tendência para hiper lordose						AB, V, Z, AC
5	Grupo de apoio medial						AJ, AI, AE, AD
6	Grupo de apoio medial (cruzado à direita)						AJ, AI, AE, AD
7	Grupo de apoio medial (cruzado à esquerda)						AJ, AI, AE, AD

Legenda: A - Mobilidade plantar com bola de ténis; B - Movimento de dorso flexão plantar; C - Mobilidade de ombros com barra de PVC; D - Alongamentos; E - Subida em bicos; F - Sentar e levantar da cadeira; G - Subida de degraus; H - Abdutores; I - Adutores; J - Remo com banda elástica ou TRX; K - Flexões (de joelhos ou na parede); L - Bíceps com halteres ou banda elástica; M - Exercícios de equilíbrio unipedal (com ou sem apoio); N - Super-homem; O - Bicicleta estática; P - Rotadores com ou sem carga; R - Aberturas com halteres; S - Rotação interna da anca com banda; T - Pull over com halteres; U - Peso morto com ou sem carga; V - Ponte de glúteos; W - Prancha com apoio num degrau ou banco; X - Rotadores com ou sem carga; Y - Curls com halteres; Z - Rotação externa da anca com banda; AA - Pull over com halteres; AB - Peso morto com ou sem carga; AC - Prancha com apoio num degrau ou banco; AD - Apanhar a toalha do chão com os dedos; AE - Andar em bicos de pés; AF - Abertura de dedos com bandas; AG - Andar descalço; AH - Apanhar a toalha do chão com os dedos; AI - Andar em bicos de pés; AJ - Abertura de dedos com bandas, 1 - o ponto "M" encontra-se nos calcanhares de ambos os pés, 2 - o ponto "M" localiza-se no calcanhar do pé esquerdo e no ante pé do pé direito, 3 - o ponto "M" está localizado no calcanhar do pé direito e no ante pé do pé esquerdo, 4 - o ponto de pressão máxima situa-se na zona do ante pé de ambos os pés, 5 - o ponto "M" situa-se na zona medial de ambos os pés, 6 - Neste grupo, o ponto "M" está localizado no médio-pé esquerdo e no retro pé direito, 7 - o ponto "M" está localizado no medio pé direito e no retro pé esquerdo.

Grupo 1: Exercícios de rotação escapular, aberturas planas com halteres, elevação de braços com carga e rotação interna da anca com banda.

Grupo 2: Peso morto, pontes dinâmicas de glúteos e pranchas com apoio de banco.

Grupo 3 e Grupo 4: Os mesmos exercícios que os Grupos 1 e 2, respetivamente, com a adição de rotação externa da anca com uma banda em vez de rotação interna da anca.

Grupos 5, 6 e 7: Para além dos exercícios comuns aos Grupos 1-4, estes grupos centraram-se em exercícios de mobilidade dos dedos dos pés, devido à falta de apoio dos dedos observada nas suas imagens baropodométricas.

A intensidade do programa de treino físico foi determinada subjetivamente, de acordo com o conforto de cada participante. Durante a atividade aeróbica, logo na primeira sessão de treino, foi pedido aos participantes que classificassem a sua perceção subjetiva do esforço realizado, com base numa escala de Borg de 0 a 10 (Menz et al., 2013). A escala de perceção subjetiva de esforço de Borg serve como ferramenta para monitorizar a intensidade do exercício realizado e permite medir a perceção de esforço de forma associada à frequência cardíaca, estabelecendo a intensidade do exercício praticado, com o objetivo de garantir a correta prescrição e intensidade adequada do exercício, evitando assim uma sobrecarga do sistema muscular e cardiopulmonar e complicações como dor, lesões e fadiga extrema (Michener et al., 2011).

Após uma análise detalhada dos dados obtidos no esforço de Borg, foram ajustados os períodos de descanso e a intensidade do esforço, tendo em conta também que alguns participantes apresentam certas limitações para além da fadiga, devido à sua idade e ao desconforto (dor) que sentem.

O programa de exercício foi implementado durante um período de 12 semanas, com duas sessões supervisionadas por semana, com uma duração entre 30 a 45 minutos cada, totalizando 24 sessões. Todas as sessões foram conduzidas pelo investigador responsável, com o objetivo de garantir a execução correta dos exercícios e a manutenção das posturas adequadas durante toda a intervenção.

Análise estatística

A análise estatística foi efetuada por comparações entre grupos. O teste de Kolmogorov-Smirnov permitiu avaliar a normalidade da distribuição, e o teste de Levene avaliou a homogeneidade. O teste t permitiu comparar o programa de treino pré e pós-intervenção multicompetente. O d de Cohen foi utilizado para calcular os tamanhos de efeito e considerado como pequeno (d de Cohen = 0,2), médio (d de Cohen = 0,5) e grande (d de Cohen = 0,8) (Miró et al., 2009). Para analisar se houve mudança na classificação dos sujeitos de um grupo ao longo do tempo, ou entre duas condições diferentes, pode-se utilizar o teste de McNemar e o qui quadrado (χ^2) (Mochizuki e Amadio, 2003). Todos os testes foram realizados no JASP (v.0.18.3.0, Amesterdão, Holanda) com um nível de significância de 5% (Moisset et al., 2022).

Resultados

A análise descritiva é apresentada na tabela 10 em relação às composições corporais e antropométricas, níveis de dor e variáveis baropodométricas. Para a composição corporal as variações entre momentos situaram-se entre 0% e 3%. Relativamente à dor, as variações foram de cerca de 41%. O grupo de distribuições de pressão plantar alterou-se em 18%. Quanto às variáveis baropodométricas, as variações foram entre 1% e 27%.

Tabela 10. Estatística descritiva das variáveis de composição corporal, antropométricas, nível de dor e variáveis baropodométricas.

Variáveis	N	Média	SD	CV	Δ %
M1_Peso [Kg]	52	70.463	13.222	0.188	0%
M2_Peso [Kg]	52	70.177	12.861	0.183	
M1_IMC [Kg/m ²]	52	25.648	3.699	0.144	0%
M2_IMC [Kg/m ²]	52	25.537	3.414	0.134	
M1_Massa gorda [%]	52	28.248	6.727	0.238	-2%
M2_Massa gorda [%]	52	27.675	6.759	0.244	
M1_H ₂ O [%]	52	50.881	4.649	0.091	1%
M2_H ₂ O [%]	52	51.367	4.443	0.086	
M1_Massa magra [%]	52	29.298	4.109	0.140	3%
M2_Massa magra [%]	52	30.044	3.983	0.133	
M1_Metabolismo [Kcal]	52	1341.212	227.902	0.170	-1%
M2_Metabolismo [Kcal]	52	1325.25	217.533	0.164	
M1_Grupo	52	2.135	1.597	0.748	-18%
M2_Gripo	52	1.750	1.064	0.608	
M1_Nível da dor	52	6.500	2.356	0.362	-41%
M2_Nível da dor	52	3.846	1.903	0.495	
M1_LF_Carga lateral [%]	52	47.502	5.240	0.110	3%
M2_LF_Carga lateral [%]	52	49.025	3.450	0.070	
M1_LF_Pressão máxima [KPa]	52	234.5	20.163	0.086	2%
M2_LF_Pressão máxima [KPa]	52	238.898	10.836	0.045	
M1_LF_Área [cm ²]	52	124.154	24.902	0.201	-2%
M2_LF_Área [cm ²]	52	121.375	20.402	0.168	
M1_LF_Ângulo do pé [°]	52	8.692	9.212	1.060	-27%
M2_LF_Ângulo do pé [°]	52	6.317	5.221	0.826	
M1_LF_I-C [mm]	52	105.644	23.604	0.223	-5%
M2_LF_I-C [mm]	52	99.885	21.815	0.218	
M1_RF_Carga lateral [%]	52	52.498	5.240	0.100	-3%
M2_RF_Carga lateral [%]	52	51.054	3.420	0.067	
M1_RF_Pressão máxima [KPa]	52	238.465	11.232	0.047	1%
M2_RF_Pressão máxima [KPa]	52	240.338	9.606	0.040	
M1_RF_Área [cm ²]	52	130.923	28.776	0.220	-5%
M2_RF_Área [cm ²]	52	124.577	23.868	0.192	
M1_RF_Ângulo do pé [°]	52	10.442	4.745	0.454	-18%
M2_RF_Ângulo do pé [°]	52	8.571	4.954	0.578	
M1_RF_C-D [mm]	52	94.473	16.518	0.175	1%
M2_RF_C-D [mm]	52	95.294	17.518	0.184	

Legenda: M1 - antes, M2 - depois, LF (pé esquerdo); RF (pé direito); I-C (distância entre o COP do pé esquerdo e o COP do corpo); C-D (distância entre o COP do pé direito e o COP do corpo).

A análise descritiva das assimetrias posturais

A análise descritiva das assimetrias posturais é apresentada na tabela 11. As diferenças entre os momentos para as assimetrias posturais foram entre 1% e 27%. Para a vista anterior as variações foram entre 1% e 24%. Para a vista posterior entre 5% e 24%. Para a vista lateral direita variou entre 1% e 18%. Finalmente, para a vista lateral esquerda, de 3% a 35%.

Tabela 11. Análise descritiva de assimetrias posturais.

Variáveis	Média	SD	CV	Δ %	Variáveis	Média	SD	CV	Δ %
M1_A1 [°]	0.615	0.796	1.293		M1_P7 [°]	1.173	1.354	1.154	
M2_A1 [°]	0.462	0.576	1.248	-25%	M2_P7 [°]	0.923	1.169	1.266	-21%
M1_A2 [°]	1.904	2.452	1.288		M1_P8 [°]	4.173	5.346	1.281	
M2_A2 [°]	2.038	2.275	1.116	7%	M2_P8 [°]	3.154	3.152	0.999	-24%
M1_A3 [°]	1.538	1.686	1.096		M1_R1 [°]	1.923	1.426	0.741	
M2_A3 [°]	1.885	1.641	0.871	23%	M2_R1 [°]	2.250	1.691	0.751	17%
M1_A4 [°]	1.423	1.944	1.366		M1_R2 [°]	33.827	7.641	0.226	
M2_A4 [°]	1.250	1.186	0.949	-12%	M2_R2 [°]	34.269	7.303	0.213	1%
M1_A5 [°]	0.808	1.344	1.664		M1_R3 [°]	14.942	13.557	0.907	
M2_A5 [°]	0.519	0.918	1.768	-36%	M2_R3 [°]	15.346	11.790	0.768	3%
M1_A6 [°]	0.788	1.273	1.615		M1_R4 [°]	8.423	8.252	0.980	
M2_A6 [°]	0.962	1.120	1.164	22%	M2_R4 [°]	8.885	6.009	0.676	5%
M1_A7 [°]	0.808	1.155	1.430		M1_R5 [°]	4.731	2.650	0.560	
M2_A7 [°]	0.596	0.846	1.419	-26%	M2_R5 [°]	4.212	3.070	0.729	-11%
M1_A8 [°]	2.885	2.691	0.933		M1_R6 [°]	4.423	3.133	0.708	
M2_A8 [°]	3.038	2.807	0.924	5%	M2_R6 [°]	5.212	4.011	0.770	18%
M1_A9 [°]	3.577	3.102	0.867		M1_R7 [°]	32.846	7.734	0.235	
M2_A9 [°]	3.635	3.144	0.865	2%	M2_R7 [°]	31.750	8.179	0.258	-3%
M1_A10 [°]	13.942	7.770	0.557		M1_L1 [°]	2.404	1.636	0.681	
M2_A10 [°]	11.827	7.776	0.657	-15%	M2_L1 [°]	2.058	1.378	0.670	-14%
M1_A11 [°]	9.596	7.807	0.814		M1_L2 [°]	35.962	7.554	0.210	
M2_A11 [°]	8.308	6.534	0.786	-13%	M2_L2 [°]	35.038	7.473	0.213	-3%
M1_P1 [°]	0.404	0.569	1.409		M1_L3 [°]	8.038	6.750	0.840	
M2_P1 [°]	0.385	0.631	1.641	-5%	M2_L3 [°]	10.846	10.406	0.959	35%
M1_P2 [°]	1.500	1.732	1.155		M1_L4 [°]	10.404	6.832	0.657	
M2_P2 [°]	1.154	1.500	1.300	-23%	M2_L4 [°]	9.846	5.926	0.602	-5%
M1_P3 [°]	1.769	1.676	0.947		M1_L5 [°]	4.712	2.913	0.618	
M2_P3 [°]	1.519	1.651	1.087	-14%	M2_L5 [°]	4.058	2.852	0.703	-14%
M1_P4 [°]	1.038	1.298	1.250		M1_L6 [°]	3.731	3.182	0.853	
M2_P4 [°]	1.154	1.500	1.300	11%	M2_L6 [°]	4.750	3.930	0.827	27%
M1_P5 [°]	0.962	1.414	1.470		M1_L7 [°]	29.500	7.964	0.270	
M2_P5 [°]	1.192	1.205	1.011	24%	M2_L7 [°]	28.308	7.100	0.251	-4%
M1_P6 [°]	0.981	1.196	1.220						
M2_P6 [°]	0.846	0.958	1.132	-14%					

Legenda: A1 - Alinhamento do corpo; A2 - Inclinação da cabeça; A3 - Alinhamento dos ombros; A4 - Alinhamento das axilas; A5 - Inclinação da caixa torácica; A6 - Ponto mais profundo do tronco; A7 - Inclinação pélvica; A8 - Ângulo do joelho direito; A9 - Ângulo do joelho esquerdo; A10 - Rotação do pé direito; A11 - Rotação do pé esquerdo; P1 - Alinhamento do corpo; P2 - Inclinação da cabeça; P3 - Alinhamento dos ombros; P4 - Alinhamento das axilas; P5 - Ponto mais profundo do tronco; P6 - Inclinação pélvica; P7 - Joelhos; P8 - Pés; R1 - Alinhamento do corpo; R2 - Deslocamento da cabeça; R3 - Ângulo do ombro; R4 - Inclinação pélvica; R5 - Joelho; R6 - Tíbia; R7 - Ângulo do pé; L1 - Alinhamento do corpo; L2 - Deslocamento da cabeça; L3 - Ângulo do ombro; L4 - Inclinação pélvica; L5 - Joelho; L6 - Tíbia; L7 - Ângulo do pé.

Comparação entre momentos

Foi possível observar variações entre as variáveis (Tabela 12). Entretanto, entre o antes e o depois das intervenções o percentual de Massa Magra apresentou diferença significativa ($t = -3,266$, $p = 0,002$) com efeito grande ($d = -0,453$) e o mesmo para área do pé direito ($t = 3,380$, $p = 0,001$; $d = 0,469$). A percentagem de carga lateral do pé esquerdo teve uma diferença significativa ($t = -2,542$, $p = 0,014$) com um efeito moderado ($d = -0,352$); também o I-C do pé esquerdo ($t = 2,401$, $p = 0,020$; $d = 0,333$), a percentagem de carga lateral do pé direito ($t = 2,405$, $p = 0,020$; $d = 0,334$), o eixo podal do pé direito ($t = 2,719$, $p = 0,009$; $d = 0,377$) e as assimetrias da tibia na vista lateral esquerda ($t = -2,340$, $p = 0,023$; $d = -0,325$).

Tabela 12. Comparações entre o antes e o depois da intervenção para as variáveis avaliadas.

Variáveis	t	p	d	Variáveis	t	p	d
Peso [Kg]	1.117	0.269	0.155	A9 [°]	-0.120	0.905	-0.017
IMC [Kg/m ²]	1.057	0.296	0.147	A10 [°]	2.158	0.036	0.299
Massa gorda [%]	1.032	0.307	0.143	A11 [°]	1.132	0.263	0.157
H ₂ O [%]	-1.237	0.222	-0.172	P1 [°]	0.178	0.859	0.025
Massa magra [%]	-3.266	0.002*	-0.453	P2 [°]	1.089	0.281	0.151
Metabolismo [Kcal]	1.226	0.226	0.170	P3 [°]	0.950	0.347	0.132
Grupo	1.903	0.063	0.264	P4 [°]	-0.457	0.650	-0.063
LF_Carga lateral [%]	-2.542	0.014*	-0.352	P5 [°]	-1.014	0.315	-0.141
LF Pressão máxima	-1.557	0.126	-0.216	P6 [°]	0.638	0.526	0.088
LF_Área [cm ²]	1.832	0.073	0.254	P7 [°]	0.945	0.349	0.131
LF_Ângulo do pé [°]	1.939	0.058	0.269	P8 [°]	1.333	0.189	0.185
LF_I-C [mm]	2.401	0.020*	0.333	R1 [°]	-1.491	0.142	-0.207
RF_Carga lateral [%]	2.405	0.020*	0.334	R2 [°]	-0.554	0.582	-0.077
RF_Pressão máxima [KPa]	-0.966	0.339	-0.134	R3 [°]	-0.238	0.813	-0.033
RF_Área [cm ²]	3.380	0.001*	0.469	R4 [°]	-0.466	0.644	-0.065
RF_Ângulo do pé [°]	2.719	0.009*	0.377	R5 [°]	1.029	0.308	0.143
RF_C-D [mm]	-0.479	0.634	-0.066	R6 [°]	-1.309	0.197	-0.181
A1 [°]	1.158	0.252	0.161	R7 [°]	0.906	0.369	0.126
A2 [°]	-0.335	0.739	-0.046	L1 [°]	1.438	0.157	0.199
A3 [°]	-1.287	0.204	-0.179	L2 [°]	1.211	0.231	0.168
A4 [°]	0.701	0.486	0.097	L3 [°]	-1.656	0.104	-0.230
A5 [°]	1.341	0.186	0.186	L4 [°]	0.708	0.482	0.098
A6 [°]	-0.706	0.483	-0.098	L5 [°]	1.333	0.188	0.185
A7 [°]	1.026	0.310	0.142	L6 [°]	-2.340	0.023*	-0.325
A8 [°]	-0.329	0.744	-0.046	L7 [°]	1.104	0.275	0.153

Legenda: A1 - Alinhamento do corpo; A2 - Inclinação da cabeça; A3 - Alinhamento dos ombros; A4 - Alinhamento das axilas; A5 - Inclinação da caixa torácica; A6 - Ponto mais profundo do tronco; A7 - Inclinação pélvica; A8 - Ângulo do joelho direito; I-C (Distância entre o COP do pé esquerdo e o COP do corpo); C-D (Distância entre o COP do pé direito e o COP do corpo).

Comparações para o género feminino (N = 35)

As comparações entre o momento pré e pós-intervenção para o género feminino estão apresentados na tabela 13. A percentagem de massa magra apresentou as diferenças significativas ($t = -2,872$, $p = 0,007$) com um grande efeito ($d = -0,485$) entre os momentos. O mesmo foi observado para as assimetrias tibiais na vista lateral esquerda ($t = -2,535$, $p = 0,016$; $d = -0,429$). A área do pé direito demonstrou diferenças significativas entre os momentos ($t = 2,145$, $p = 0,039^*$) com um efeito moderado ($d = 0,363$) e o mesmo foi observado para o eixo podal do pé direito ($t = 2,031$, $p = 0,050$; $d = 0,343$).

Tabela 13. Comparações entre o momento pré e pós para as variáveis do género feminino.

Variáveis	t	p	d	Variáveis	t	p	d
Peso [Kg]	1.247	0.221	0.211	A9 [°]	-1.192	0.241	-0.202
IMC [Kg/m ²]	1.104	0.277	0.187	A10 [°]	1.801	0.081	0.304
Massa gorda [%]	0.321	0.750	0.054	A11 [°]	1.395	0.172	0.236
H ₂ O [%]	-0.857	0.398	-0.145	P1 [°]	0.421	0.676	0.071
Massa magra [%]	-2.872	0.007*	-0.485	P2 [°]	0.259	0.797	0.044
Metabolismo [Kcal]	0.936	0.356	0.158	P3 [°]	0.568	0.574	0.096
Grupo	0.828	0.413	0.140	P4 [°]	-0.253	0.802	-0.043
LF_Carga lateral [%]	-1.965	0.058	-0.332	P5 [°]	-0.403	0.689	-0.068
LF_Pressão máxima	-1.999	0.054	-0.338	P6 [°]	-0.537	0.595	-0.091
LF_Área [cm ²]	0.367	0.716	0.062	P7 [°]	1.340	0.189	0.227
LF_Ângulo do pé [°]	1.611	0.116	0.272	P8 [°]	1.010	0.320	0.171
LF_I-C [mm]	1.848	0.073	0.312	R1 [°]	-1.520	0.138	-0.257
RF_Carga lateral [%]	1.819	0.078	0.307	R2 [°]	0.080	0.937	0.013
RF_Pressão máxima [KPa]	-0.803	0.428	-0.136	R3 [°]	-1.104	0.277	-0.187
RF_Área [cm ²]	2.145	0.039*	0.363	R4 [°]	-0.178	0.860	-0.03
RF_Ângulo do pé [°]	2.031	0.050*	0.343	R5 [°]	0.998	0.325	0.169
RF_C-D [mm]	-0.524	0.604	-0.089	R6 [°]	-1.511	0.140	-0.255
A1 [°]	0.488	0.629	0.082	R7 [°]	0.230	0.819	0.039
A2 [°]	0.149	0.883	0.025	L1 [°]	0.502	0.619	0.085
A3 [°]	-0.994	0.327	-0.168	L2 [°]	1.153	0.257	0.195
A4 [°]	0.488	0.629	0.082	L3 [°]	-1.729	0.093	-0.292
A5 [°]	0.659	0.514	0.111	L4 [°]	-0.103	0.918	-0.017
A6 [°]	-0.344	0.733	-0.058	L5 [°]	0.869	0.391	0.147
A7 [°]	1.032	0.309	0.175	L6 [°]	-2.535	0.016*	-0.429
A8 [°]	-0.948	0.350	-0.160	L7 [°]	0.866	0.393	0.146

Legenda: A1 - Alinhamento do corpo; A2 - Inclinação da cabeça; A3 - Alinhamento dos ombros; A4 - Alinhamento das axilas; A5 - Inclinação da caixa torácica; A6 - Ponto mais profundo do tronco; A7 - Inclinação pélvica; A8 - Ângulo do joelho direito; LF (Pé esquerdo); RF (Pé direito); I-C (Distância entre o COP do pé esquerdo e o COP do corpo); C-D (Distância entre o COP do pé direito e o COP do corpo).

Comparações para o género masculino (N = 17)

A tabela 14 apresenta as comparações entre o pré e o pós-intervenção para o sexo masculino. Foram observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) em diversas variáveis. Nomeadamente, a área do pé esquerdo apresentou diferenças significativas ($t = 2,677$, $p = 0,017$) com um grande tamanho de efeito ($d = 0,649$), também para o eixo podal do pé esquerdo ($t = 2,304$, $p = 0,035$; $d = 0,559$) e área do pé direito ($t = 2,955$, $p = 0,009$; $d = 0,717$). Finalmente, a inclinação da caixa torácica teve uma diferença significativa ($t = 2,219$, $p = 0,041$) com um efeito moderado ($d = 0,538$).

Tabela 14. Comparações entre pré e pós-intervenção para as variáveis do género masculino.

Variáveis	t	p	d	Variáveis	t	p	d
Peso [Kg]	0.156	0.878	0.038	A9 [°]	1.833	0.085	0.445
IMC [Kg/m ²]	0.155	0.879	0.037	A10 [°]	1.198	0.248	0.291
Massa gorda [%]	1.408	0.178	0.342	A11 [°]	0.054	0.958	0.013
H ₂ O [%]	-0.883	0.390	-0.214	P1 [°]	-0.324	0.750	-0.079
Massa magra [%]	-1.864	0.081	-0.452	P2 [°]	2.460	0.026*	0.597
Metabolismo [Kcal]	0.808	0.431	0.196	P3 [°]	0.972	0.346	0.236
Grupo	1.875	0.079	0.455	P4 [°]	-0.511	0.616	-0.124
LF_Carga lateral [%]	-1.859	0.082	-0.451	P5 [°]	-1.224	0.239	-0.297
LF_Pressão máxima	0.555	0.587	0.135	P6 [°]	2.304	0.035*	0.559
LF_Área [cm ²]	2.677	0.017*	0.649	P7 [°]	0.094	0.926	0.023
LF_Ângulo do pé [°]	1.335	0.200	0.324	P8 [°]	0.988	0.338	0.240
LF_I-C [mm]	1.536	0.144	0.373	R1 [°]	-0.344	0.735	-0.083
RF_Carga lateral [%]	1.859	0.082	0.451	R2 [°]	-1.476	0.159	-0.358
RF_Pressão máxima [KPa]	-0.527	0.606	-0.128	R3 [°]	0.646	0.528	0.157
RF_Área [cm ²]	2.955	0.009*	0.717	R4 [°]	-0.497	0.626	-0.121
RF_Ângulo do pé [°]	1.904	0.075	0.462	R5 [°]	0.310	0.761	0.075
RF_C-D [mm]	-0.084	0.934	-0.020	R6 [°]	0.000	1.000	0.000
A1 [°]	1.571	0.136	0.381	R7 [°]	1.025	0.321	0.249
A2 [°]	-1.830	0.086	-0.444	L1 [°]	1.731	0.103	0.420
A3 [°]	-0.960	0.351	-0.233	L2 [°]	0.406	0.690	0.098
A4 [°]	0.765	0.455	0.186	L3 [°]	-0.524	0.608	-0.127
A5 [°]	2.219	0.041*	0.538	L4 [°]	1.109	0.284	0.269
A6 [°]	-0.925	0.369	-0.224	L5 [°]	1.110	0.283	0.269
A7 [°]	0.212	0.835	0.051	L6 [°]	-0.463	0.649	-0.112
A8 [°]	1.023	0.322	0.248	L7 [°]	0.666	0.515	0.162

Legenda: A1 - Alinhamento do corpo; A2 - Inclinação da cabeça; A3 - Alinhamento dos ombros; A4 - Alinhamento das axilas; A5 - Inclinação da caixa torácica; A6 - Ponto mais profundo do tronco; A7 - Inclinação pélvica; A8 - Ângulo do joelho direito; A9 - Ângulo do joelho esquerdo; A10 - Rotação do pé direito; A11 - Rotação do pé esquerdo; P1 - Alinhamento do corpo; P2 - Inclinação da cabeça; P3 - Alinhamento dos ombros; P4 - Alinhamento das axilas; P5 - Ponto mais profundo do tronco; P6 - Inclinação pélvica; P7 - Joelhos; P8 - Pés; R1 - Alinhamento do corpo; R2 - Deslocamento da cabeça; R3 - Ângulo do ombro; R4 - Inclinação pélvica; R5 - Joelho; R6 - Tíbia; R7 - Ângulo do pé; L1 - Alinhamento do corpo; L2 - Deslocamento da cabeça; L3 - Ângulo do ombro; L4 - Inclinação pélvica; L5 - Joelho; L6 - Tíbia; D7 - Ângulo do pé.

Nível da dor

O nível de dor diminuiu significativamente ($T = 15,302$; $p < 0,001$; $d = 2,122$) com grande efeito, entre os momentos ($M1 = 6,500$ vs $M2 = 3,846$) perto de 41%. Também se verificaram diferenças significativas com grandes efeitos para o gênero feminino ($T = 11,690$; $p < 0,001$; $d = 1,976$), e masculino ($T = 10,098$; $p < 0,001$; $d = 2,44$), reduzindo os níveis de dor em 39% e 44%, respectivamente.

Comparações por classificações dos pés

A tabela de contingência pareada entre os grupos de classificações dos pés entre o momento 1 (M1) e 2 (M2) é apresentada na tabela 15. Foram observadas mudanças significativas entre os momentos em relação ao grupo de pés ($\chi^2 = 28,976$; $p = 0,016$).

Tabela 15. Comparação entre os momentos pré e pós para o grupo de classificação dos pés.

Grupo podal	M2_1	M2_2	M2_3	M2_4	M2Total
M1_1	24	2	4	0	30
M1_2	2	1	0	1	4
M1_3	1	3	1	1	6
M1_4	4	1	1	3	9
M1_5	0	1	0	0	1
M1_6	1	0	0	0	0
M1_7	0	1	0	1	2
Total	31	9	6	6	52

Legenda: M1 - Momento 1; M2 - Momento 2; 1- Grupo I, 2 - Grupo II, 3 - Grupo III, 4 - Grupo IV, 5 - Grupo V, 6 - Grupo VI, 7 - Grupo VII.

Discussão

Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos de um programa de exercício físico como forma terapêutica de melhorar os mapas de pressão baropodométrica, reduzir as assimetrias posturais, melhorar a composição corporal e diminuir os níveis de dor. A hipótese de que um programa de exercícios pode melhorar o perfil postural e reduzir os níveis de dor em participantes adultos foi confirmada. O programa de treino proposto apresentou diferenças significativas relativamente à composição corporal, aumentando os valores de massa muscular, que por si só têm uma relação direta com a redução do nível de dor corporal, melhorando o padrão baropodométrico da pressão plantar (Mutalimov et al., 2021). Em relação à distribuição da pressão plantar, existem fatores

que influenciam a formação do arco plantar, nomeadamente a idade, o género, a raça, o calçado e o peso (Naveed et al., 2023).

As alterações posturais podem ter muitas causas no seu desenvolvimento, tais como malformação congénita dos ossos, paralisia muscular, pressões e deformações na sustentação do peso e sapatos mal ajustados em termos de posicionamento do pé, ou a combinação de um ou mais destes fatores (Nichols et al., 2022). Os resultados do estudo também mostram que a morfologia do pé e a distribuição da pressão plantar são alteradas, principalmente pela redução da discrepância de pressão lateral entre os pés esquerdo e direito. Estudos recentes mostram que os desvios posturais estão diretamente relacionados com a vida moderna, aumentando o sedentarismo e reduzindo a atividade física (Park et al., 2020). Pagé et al. (2012) afirma que a avaliação postural detalhada é importante para detetar problemas causados pela má postura, que tem influência decisiva no aparecimento de dores musculoesqueléticas e lesões na coluna vertebral. De acordo com (Palmieri et al., 2002), a má postura gera compensações em vários grupos musculares, comprometendo suas funções. Nos últimos dez anos, houve um aumento significativo de estudos científicos que tentam encontrar não só a relação entre a dor corporal e a postura corporal, mas também o impacto que o exercício físico tem sobre os problemas posturais (Pieh et al., 2014). Dentre eles, Bertolazzi et al. (2024) confirmaram que há efeitos positivos dos exercícios de estabilização no alinhamento postural, o que melhora a saúde musculoesquelética. (Python, 2023) também confirmaram que os exercícios de alongamento podem ajudar a reduzir a dor musculoesquelética e a fadiga; (Pagé et al., 2012) concluíram que o exercício aeróbico é importante na redução da dor, no aumento da qualidade de vida e na redução das restrições diárias dos indivíduos relacionadas à dor.

Para uma avaliação postural eficaz, devem ser observados vários pontos cruciais em três planos anatómicos (frontal e sagital) (Pieh et al., 2014; Ruhe et al., 2011). O estudo proposto conclui que houve evidências de melhora em variáveis significativas, especificamente na inclinação da cabeça na vista posterior, no alinhamento pélvico na vista posterior e na inclinação da caixa torácica na vista frontal para ambos os sexos. Apesar de outros pontos de controlo apresentarem alterações, estas não foram estatisticamente significativas, sugerindo que o programa de treino de 12 semanas poderá não ter sido suficientemente longo para obter resultados estatisticamente significativos em todas as medidas.

Considerando que algumas destas alterações posturais podem ser corrigidas através de um programa de treino especialmente orientado, o exercício físico é crucial neste contexto. As diferenças significativas observadas entre as avaliações pré e pós-treino são

bem suportadas pela literatura existente. O programa de exercício físico implementado neste estudo incluiu um bloco inicial de exercício aeróbio, seguido de exercícios de resistência e de mobilidade articular, com o objetivo de resolver problemas posturais. A literatura apoia as alterações relativas à composição corporal e à aptidão física através de exercícios aeróbicos com uma duração de 12 semanas (Santos et al., 2009; Scikit-learn, 2009). Para além disso, a diminuição dos níveis de dor corporal relacionada com o exercício é também bem justificada pelo efeito positivo do exercício como tratamento anti-inflamatório, assim como o aumento da resistência e força muscular tem uma relação positiva com a diminuição dos níveis de dor (Silva et al., 2013). Relativamente às alterações baropodométricas após o programa de exercício, são possíveis de justificar pelas alterações propriocetivas e controlo motor/postural (Singh, 2020).

Limitações do estudo e direções futuras

Uma vez que o estudo proposto utilizou várias técnicas de avaliação postural (baropodometria e fotometria) juntamente com avaliações físicas, foi possível criar uma base de dados abrangente, permitindo a análise comparativa dos dados em dois momentos (pré e pós-intervenção). No entanto, os investigadores depararam-se com várias limitações, incluindo uma amostra predominantemente composta por mulheres, participantes com diferentes níveis de aptidão física e imagens plantares diversas. A inclusão de um grupo de controlo poderia ter contribuído para uma melhor compreensão dos efeitos isolados da intervenção de exercício; no entanto, os participantes não alteraram as suas atividades de vida diária durante o estudo.

Estudos futuros devem avaliar o impacto das assimetrias posturais nos níveis de dor e examinar como os níveis de aptidão física influenciam as variáveis baropodométricas. Além disso, é crucial investigar os efeitos de diferentes programas de exercício, variando em exercícios e durações, para determinar as intervenções mais eficazes para abordar questões posturais e relacionadas com a dor.

Conclusão

Este estudo realça o papel fundamental da postura no bem-estar humano. Embora não exista uma postura padrão única, é essencial que todas as estruturas corporais estejam equilibradas para evitar o gasto excessivo de energia e o aparecimento de dor. O estudo conclui ainda que a avaliação postural através da análise baropodométrica permite desenvolver um plano de treino eficaz para corrigir a postura, reduzir as dores corporais e alterar os perfis de distribuição da pressão nos pés. Os resultados do estudo proposto

permitem aos profissionais de saúde um acompanhamento mais eficaz dos seus utentes, possibilitando não só uma recuperação mais rápida, mas também um trabalho de prevenção de lesões. Perante os resultados positivos do estudo, os profissionais do desporto e os treinadores podem desenvolver programas de treino personalizado que melhorem o desempenho desportivo.

Capítulo 5

Discussão Geral

A avaliação postural é um componente fundamental em contextos clínicos (Baskan & Demir, 2024; lee et al., 2022) e desportivos (Wilczyński et al., 2022; Zwierzchowska et al., 2022), uma vez que desvios osteoarticulares e assimetrias sustentadas se associam frequentemente a disfunções musculoesqueléticas e a perceções dolorosas crónicas (Kripa & Kaur, 2021;). A má postura corporal tem impacto negativo na biomecânica do indivíduo, alterando o alinhamento estrutural e gerando desequilíbrios que se manifestam em desconforto e dor persistente (Elabd & Elabd, 2021; Salsali et al., 2023). A literatura tem evidenciado fortes associações entre o tipo de postura do pé e a distribuição da pressão plantar (Buldt et al., 2018). Estes padrões alterados de pressão plantar têm implicações diretas na estabilidade do controlo postural e são reconhecidos como fatores predisponentes de lesões e dor (Unver et al., 2019). Assim, a avaliação da pressão plantar é importante no âmbito da avaliação postural (Arzehgar et al., 2024).

Neste contexto, o exercício físico emerge como uma intervenção potencialmente eficaz na correção postural e na reprogramação muscular. Por exemplo, a aplicação de exercícios de fortalecimento dos músculos intrínsecos do pé demonstrou melhorias significativas no alinhamento do arco medial, na diminuição da dor e na redistribuição da pressão plantar (Okamura et al., 2020; Oliveira et al., 2024). Adicionalmente, protocolos de alongamento passivo dos músculos da cadeia posterior têm mostrado resultados positivos na amplitude de movimento, na redução da pressão plantar e no controlo postural estático (Martínez-Jiménez et al., 2022). Estas evidências reforçam que o exercício físico individualizado e supervisionado pode não só promover a correção postural, mas também reduzir as sensações de dor associadas às alterações posturais, com potencial melhoria ao nível das capacidades motoras e na qualidade de vida (Dal Farra et al., 2021; Gorji et al., 2022).

A presente tese teve como principais objetivos: (a) comparar os sexos e analisar a magnitude das relações entre assimetrias posturais (avaliadas por fotogrametria, através da medição de distâncias ou dimensões obtidas por imagem), composição corporal e distribuição da pressão plantar; (b) identificar variáveis de composição corporal, posturais e baropodométricas com capacidade explicativa e preditiva dos níveis de dor corporal, utilizando técnicas de aprendizagem automática (Machine Learning); e (c) analisar o impacto de um programa de exercício físico clínico na distribuição da pressão plantar, composição corporal, assimetrias posturais e perceção da dor.

As hipóteses do estudo assentaram nos seguintes pressupostos: (i) existem diferenças significativas entre sexos e associações entre assimetrias posturais, composição corporal e distribuição da pressão plantar em indivíduos adultos; (ii) é possível identificar variáveis de natureza antropométrica, postural e baropodométrica com capacidade explicativa e preditiva dos níveis de dor corporal, através da aplicação de modelos de Machine Learning e (iii) um programa estruturado de exercício físico clínico tem um efeito positivo sobre a distribuição da pressão plantar, composição corporal, assimetrias posturais e níveis de dor em adultos.

Os resultados obtidos corroboram as hipóteses formuladas, uma vez que foram encontradas diferenças significativas entre sexos em diversas variáveis antropométricas, posturais e baropodométricas, confirmando a existência de perfis fisiológicos distintos entre homens e mulheres. Adicionalmente, a aplicação de algoritmos de Machine Learning permitiu identificar variáveis posturais e biomecânicas — nomeadamente o ângulo do joelho esquerdo e o desvio cervical — com forte capacidade preditiva dos níveis de dor corporal, demonstrando a viabilidade do uso de modelos computacionais na previsão da sintomatologia dolorosa. Por fim, a intervenção com exercício físico clínico produziu alterações estatisticamente significativas na composição corporal, assimetrias posturais, distribuição da pressão plantar e intensidade da dor, validando a eficácia do exercício enquanto estratégia terapêutica integrada. Estes resultados sustentam as três hipóteses delineadas e contribuem para o aprofundamento do conhecimento sobre a relação entre postura, dor e exercício.

Para a concretização dos objetivos, recorreu-se a metodologias de avaliação objetivas e padronizadas, nomeadamente baropodometria estática, fotogrametria digital e bioimpedância elétrica. A avaliação subjetiva da dor e do esforço físico foi realizada através da Escala Numérica da Dor e da Escala de Percepção de Esforço de Borg, respetivamente. Para a identificação de variáveis com poder explicativo e preditivo na relação entre alterações posturais, distribuição da pressão plantar e dor corporal em indivíduos de meia-idade e idosos, foi adotada uma abordagem inovadora baseada em algoritmos de aprendizagem automática.

A comparação entre os sexos revelou diferenças estatisticamente significativas em variáveis antropométricas, de composição corporal, de dor autorreferida e nos parâmetros baropodométricos. Os homens apresentaram valores superiores de altura, peso, percentagem de massa magra, metabolismo basal, número de calçado, área plantar do pé esquerdo, valor do eixo podal e distância entre os centros de pressão (COP) dos pés e do corpo. Estes resultados corroboram a literatura existente, que descreve perfis fisiológicos e biomecânicos distintos entre sexos (Hooker et al., 2020; Putti et al., 2010),

salientando a importância de considerar estas diferenças na concepção de estratégias de avaliação e intervenção individualizadas (Cheung et al., 2005).

Estudos prévios evidenciam que os homens tendem a apresentar maior área de contacto plantar, especialmente nas regiões do calcâneo e dos metatarsos, bem como maiores valores de força acumulada ao longo do tempo nessas zonas, ainda que sem diferenças significativas no pico de pressão (Arin-Ba et al., 2024; Li et al., 2023). Do ponto de vista morfológico, os pés masculinos são geralmente mais longos, largos e com maior altura do navicular, o que reforça as diferenças estruturais identificadas em termos de área plantar (Putti et al., 2010; Rogério & Guedes, 2023). Esta maior área plantar e a distribuição de carga mais centrada na região posterior podem levar a um padrão compensatório caracterizado por um maior recrutamento da cadeia posterior, promovendo, por exemplo, uma retroversão pélvica ou hiperextensão do joelho. Já nas mulheres, que frequentemente apresentam menor massa magra e um arco plantar mais colapsado (Yamamoto et al., 2020), é comum observar compensações ao nível do joelho em valgo e uma anteversão pélvica mais acentuada, o que pode contribuir para a ocorrência de desequilíbrios no alinhamento da coluna lombar e da cintura escapular (Gimunová et al., 2018; Leyh & Feipel, 2022).

Estas compensações, quando mantidas de forma crónica, podem predispor ao desenvolvimento de padrões de movimento disfuncionais, sobrecargas articulares e dor musculoesquelética. A existência de alterações na distribuição da pressão plantar está correlacionada com uma maior incidência de dor lombar, cervical e nas articulações dos membros inferiores (Kolcz et al., 2020; Pérez-Cabezas et al., 2019; Rabal-Pelay et al., 2024). As diferenças biomecânicas entre sexos podem ter impacto na incidência e na intensidade da dor musculoesquelética. A literatura refere que alterações posturais associadas a uma distribuição inadequada da pressão plantar podem contribuir para o aumento da dor corporal, especialmente em populações adultas e idosas (Ruhe et al., 2011). Deste modo, a identificação precoce destes desvios, associada à implementação de programas de exercício físico personalizados e supervisionados, poderá constituir uma estratégia eficaz na correção de assimetrias posturais, na redução da dor e na melhoria da funcionalidade e qualidade de vida dos indivíduos (Arzehgar et al., 2024).

As implicações práticas da identificação destas diferenças são relevantes em vários domínios. Desde logo, a personalização das intervenções terapêuticas deve considerar a morfologia do pé e a distribuição plantar de cada sexo, de forma a otimizar os resultados no alinhamento postural e na prevenção de desequilíbrios. Por outro lado, a seleção de calçado ou ortóteses deve ser adaptada às características anatómicas específicas, promovendo uma melhor redistribuição da pressão plantar e aumentando o conforto,

especialmente em indivíduos com alterações posturais ou dor crónica. Do ponto de vista funcional, os padrões distintos de apoio plantar entre homens e mulheres poderão exigir estratégias de reeducação postural diferenciadas, com exercícios dirigidos ao fortalecimento da musculatura intrínseca do pé e à melhoria do controlo postural (Arin-Ba et al., 2024; Li et al., 2023).

No que respeita ao objetivo de identificar variáveis de composição corporal, posturais e baropodométricas com capacidade explicativa e preditiva dos níveis de dor corporal, a presente investigação recorreu a técnicas de Machine Learning (ML), representando uma abordagem inovadora no âmbito da avaliação biomecânica e clínica. A aplicação de algoritmos de ML permitiu extrair padrões complexos de associação entre variáveis, ultrapassando as limitações das análises estatísticas tradicionais que, muitas vezes, não captam de forma adequada interações não lineares e multivariadas. Esta metodologia possibilitou a identificação de preditores relevantes da dor corporal, destacando-se o ângulo do joelho esquerdo (associado a genu valgo) e o grau de desvio do segmento cervical, os quais apresentaram correlação positiva entre si. Este padrão pode ser justificado pelo aumento da distância entre o COP do pé direito e o COP do corpo, sugerindo um mecanismo de compensação postural com impacto na distribuição das forças plantares e, conseqüentemente, na sintomatologia dolorosa. Estes resultados reforçam a evidência de que alterações no alinhamento articular e desequilíbrios posturais contribuem significativamente para o agravamento da dor corporal, tal como referido por Ruhe et al. (2011), que observaram que níveis mais elevados de desequilíbrio postural se associam a maior intensidade de dor.

A integração de técnicas de ML representa um avanço significativo no campo da avaliação postural, da dor músculo-esquelética e da análise biomecânica (Babović et al., 2023). Uma das principais vantagens do ML reside na sua capacidade de processar grandes volumes de dados multivariados, identificando padrões ocultos, relações não lineares e interações complexas entre variáveis que, frequentemente, escapam às abordagens estatísticas tradicionais (Wang et al., 2024). Esta capacidade torna o ML particularmente útil na análise de dados provenientes de tecnologias como a baropodometria, a bioimpedância e a fotogrametria digital (Dindorf et al., 2025).

No contexto específico da dor corporal e das disfunções posturais, o ML permite identificar com elevada precisão variáveis preditivas relevantes, contribuindo para o desenvolvimento de modelos de risco mais eficazes e personalizados, criando de algoritmos preditivos capazes de antecipar o aparecimento de dor com base em características biomecânicas, estruturais ou funcionais, promovendo uma abordagem preventiva e personalizada (Wang et al., 2024). Além disso, o ML possibilita a

atualização contínua dos modelos com novos dados, garantindo a evolução e adaptação do conhecimento à medida que a ciência progride. O ML pode contribuir para otimizar a prescrição de programas de exercício clínico, com base nos perfis posturais e de composição corporal individuais, melhorando a especificidade da intervenção (Tuka & Linhart, 2020). Com estas ferramentas, torna-se possível não só classificar padrões de dor com base em múltiplas variáveis fisiológicas e posturais, mas também prever a resposta a diferentes intervenções de forma mais precisa e eficiente. Ao permitir a descoberta de relações complexas e preditores robustos, o ML contribui de forma decisiva para a evolução do conhecimento científico e para a implementação de práticas clínicas mais baseadas em evidência, personalizadas e orientadas para o indivíduo.

Por último, relativamente à avaliação do impacto de um programa de exercício físico clínico na distribuição da pressão plantar, composição corporal, assimetrias posturais e percepção da dor, verificou-se que um programa de intervenção pode ser considerado um tratamento eficaz na melhoria da postura corporal e na redução da dor. No estudo de Hayden et al. (2021), relativo à dor crónica lombar, os autores concluíram que o exercício físico promove melhorias significativas na dor e nas limitações funcionais, em comparação com outros tratamentos conservadores. De forma semelhante, a investigação de Geneen et al. (2017) demonstrou que a evidência disponível sugere que a atividade física e o exercício constituem uma intervenção com poucos efeitos adversos, capaz de atenuar a intensidade da dor, melhorar a função física e, conseqüentemente, potenciar a qualidade de vida. No entanto, os autores destacam a necessidade de mais investigação, com amostras de maior dimensão, abrangendo participantes com diferentes níveis de gravidade da dor, bem como intervenções com durações mais alargadas e períodos de seguimento prolongados.

O papel do exercício físico como uma abordagem terapêutica eficaz na promoção da correção postural e na redução da dor músculo-esquelética tem vindo a ser consolidado. Através da ativação e reforço seletivo de grupos musculares responsáveis pelo suporte estrutural e equilíbrio postural, os programas de exercício permitem corrigir desequilíbrios musculares, melhorar a simetria corporal e otimizar o alinhamento biomecânico (Calcaterra et al., 2022; Hrysomallis & Goodman, 2001; Ticom et al., 2023). Esta reeducação postural tem repercussões diretas na distribuição da pressão plantar e na modulação das forças aplicadas ao sistema musculoesquelético durante a marcha e a posição ortostática, reduzindo, por consequência, os estímulos nociceptivos provenientes de sobrecargas articulares e musculares. Adicionalmente, o exercício físico induz adaptações fisiológicas e neuromusculares que potenciam o controlo motor, a proprioção e a estabilidade postural, fatores determinantes para a prevenção de

recidivas de dor e da progressão de alterações posturais estruturadas (Porto et al., 2024). As intervenções baseadas em exercícios terapêuticos, nomeadamente os que envolvem treino de estabilidade central, reforço dos músculos posturais profundos e alongamento de cadeias musculares encurtadas, têm demonstrado elevada eficácia na correção de padrões disfuncionais, como hiperlordose lombar, escoliose funcional ou valgo do joelho, frequentemente associados a dor crónica (Bayattork et al., 2020; Mehri et al., 2020).

A presente tese permitiu o desenvolvimento de um projeto de avaliação postural, baseado na análise baropodométrica, que proporcionou uma nova perspetiva sobre intervenções mais eficazes na correção de assimetrias posturais e na redução da dor corporal associada a alterações na composição corporal. Esta investigação apresenta vários pontos fortes, nomeadamente: (i) a realização de uma avaliação postural pormenorizada; (ii) a identificação precisa das zonas corporais mais afetadas por desequilíbrios posturais e alterações na composição corporal; e (iii) a utilização de ferramentas de Inteligência Artificial para identificar variáveis significativas com potencial para orientar futuras intervenções mais eficazes. Contudo, os resultados devem ser interpretados com cautela, uma vez que o estudo apresenta algumas limitações, tais como: uma amostra maioritariamente composta por mulheres, participantes com diferentes níveis de aptidão física e variações nas imagens baropodométricas obtidas. Como recomendações para estudos futuros, sugere-se a investigação dos efeitos de diferentes programas de intervenção, variando os tipos de exercício e a sua duração, com o objetivo de determinar quais as abordagens mais eficazes na resolução de problemas posturais associados à dor e ao desconforto corporal.

Capítulo 6

Conclusão

As evidências obtidas ao longo deste estudo permitem concluir que as alterações posturais assumem um papel relevante no aparecimento e manutenção da dor músculo-esquelética, sendo igualmente um fator de limitação funcional significativo. Desvios posturais, frequentemente associados a padrões de movimento compensatórios, podem gerar sobrecargas articulares e musculares, contribuindo para quadros de dor persistente e redução da qualidade de vida. Contudo, os resultados obtidos demonstram também que a aplicação de programas de exercício físico supervisionado e especificamente orientado para a correção de assimetrias posturais constitui uma estratégia terapêutica segura e eficaz. O exercício individualizado, focado no reforço muscular, no realinhamento postural e na melhoria do controlo motor, revelou potencial para reduzir a dor associada às alterações posturais, restaurar padrões funcionais mais eficientes e melhorar o bem-estar geral dos indivíduos.

O presente estudo permitiu obter resultados que sustentam as hipóteses inicialmente formuladas, demonstrando a existência de relações entre alterações na distribuição da pressão plantar e os níveis de dor corporal autorreferida. Paralelamente, foi possível avaliar os efeitos de um programa de exercício físico clínico na correção postural, composição corporal e redução da dor, evidenciando o seu impacto positivo na qualidade de vida dos participantes.

Esta investigação oferece um contributo relevante para o conhecimento científico, ao identificar diferenças estatisticamente significativas entre sexos nas variáveis antropométricas, de composição corporal e nos parâmetros baropodométricos, bem como na perceção da dor. Tais diferenças reforçam a necessidade de considerar o sexo biológico como uma variável determinante na avaliação da biomecânica do pé e na prescrição de intervenções terapêuticas. Os dados evidenciam que as características morfológicas e funcionais do pé, associadas à composição corporal, influenciam de forma diferenciada a distribuição da pressão plantar entre homens e mulheres. Adicionalmente, foram observadas correlações positivas entre a idade, o índice de massa corporal (IMC) e alterações na composição corporal, sugerindo uma predisposição acrescida para o desequilíbrio postural e consequente dor corporal com o avançar da idade.

Importa salientar que as alterações posturais estão frequentemente associadas ao aparecimento e agravamento de quadros de dor músculo-esquelética, constituindo um fator limitador da funcionalidade e da qualidade de vida. A presente tese reforça a evidência de que o exercício físico supervisionado, devidamente prescrito e adaptado às características individuais, constitui uma abordagem segura e eficaz para a correção de assimetrias posturais e para a atenuação da dor associada a disfunções posturais. Através da melhoria do controlo motor, do fortalecimento muscular e da redistribuição da carga plantar, o exercício físico assume um papel central na reabilitação postural e na promoção da saúde músculo-esquelética.

Limitações e Estudos futuros

Apesar dos contributos desta investigação, o presente estudo apresenta algumas limitações, nomeadamente uma amostra composta maioritariamente por mulheres e a heterogeneidade dos níveis de aptidão física dos participantes. Além disso, a diversidade das imagens baropodométricas pode ter introduzido variabilidade nos resultados.

Para investigações futuras, propõe-se:

1. Explorar a interação entre a cinemática do pé, o desempenho muscular e as diferenças sexuais nas características biomecânicas dos pés, com vista a uma compreensão mais integrada da distribuição da pressão plantar;
2. Estudar de forma aprofundada como estas diferenças contribuem para o desenvolvimento e progressão de patologias posturais e musculoesqueléticas, permitindo delinear intervenções preventivas e terapêuticas mais eficazes;
3. Avaliar a eficácia de programas de exercício físico especificamente desenhados para mitigar os impactos das diferenças relacionadas com o sexo e composição corporal na função do pé e na distribuição da pressão plantar;
4. Investigar de que modo alterações na altura do arco plantar e nas propriedades mecânicas do pé influenciam a distribuição da pressão, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de intervenção mais direcionadas e personalizadas.

Capítulo 7

Referências bibliográficas

Referências da Introdução e da Discussão

ACSM – American College of Sports Medicine position statement: progressive models in resistance training for healthy adults. (2002). *Med Sci Sports Exerc* 34(2)364-80. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>.

Alves, M.E., Marinho D.A., Carneiro D.N., Alves J, Forte P., Nevill A.M., Morais J.E. (2020). A Visual Scan Analysis Protocol for Postural Assessment at School in Young Students. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 2915. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082915>.

Ambrose, K. R., & Golightly, Y. M. (2015). Physical exercise as non-pharmacological treatment of chronic pain: why and when. *Best practice & research Clinical rheumatology*, 29(1), 120-130. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2015.04.022>.

Anacleto, F., P. C., Colim, A., Cristiano, J., Lopes, S. I., & Carneiro, P. (2024). Digital and Virtual Technologies for Work-Related Biomechanical Risk Assessment: A Scoping Review. *Safety*, 10(3), 79. <https://doi.org/10.3390/safety10030079>.

Amara, A., Higashiyama, T., Oliveira, C. (2006). *Análise baropodométrica estática planta comparativa entre adultos jovens sedentários e bailarinos*. X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, Universidade do Vale do Paraíba.

Aoki, H., Demura, S., Yamaji, S., Nagasawa, Y., Murase, T., Miyaguchi, K., ... & Minami, M. (2024). The Reliability of Center of Pressure Sway Variables and Their Interrelationships in Healthy Individuals. *International Journal of Clinical and Experimental Medicine Research*, 8(4). <https://dx.doi.org/10.26855/ijcemr.2024.10.011>.

Arin-Ba, G., Livanelioglu, A., Leardini, A., & Belvedere, C. (2024). Correlations between plantar pressure and postural balance in healthy subjects and their comparison according to gender and limb dominance: A cross-sectional descriptive study. *Gait & Posture*, 108, 124-131. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2023.11.017>.

- Babović, S. S., Vujović, M., Stilinović, N. P., Jeftić, O., & Novaković, A. D. (2023). Labeling of Baropodometric Analysis Data Using Computer Vision Techniques in Classification of Foot Deformities. *Medicina*, 59(5), 840. <https://doi.org/10.3390/medicina59050840>.
- Bankoff, A., & Bekedorf, R. (2006). Bases neurofisiológicas do equilíbrio postural. *Efdportes - Revista Digital*, 106. <https://www.efdeportes.com/efd106/bases-neurofisiologicas-do-equilibrio-corporal.htm>.
- Barone Gibbs, B., Hivert, M. F., Jerome, G. J., Kraus, W. E., Rosenkranz, S. K., Schorr, E. N., ... & (2021). American Heart Association Council on Lifestyle and Cardiometabolic Health; Council on Cardiovascular and Stroke Nursing; and Council on Clinical Cardiology. Physical activity as a critical component of first-line treatment for elevated blood pressure or cholesterol: who, what, and how?: a scientific statement from the American Heart Association. *Hypertension*, 78(2), 26-37. <https://doi.org/10.1161/HYP.000000000000196>.
- Baumfeld, D., Baumfeld, T., da Rocha, R. L., Macedo, B., Raduan, F., Zambelli, R., ... & Nery, C. (2017). Reliability of baropodometry on the evaluation of plantar load distribution: a transversal study. *BioMed research international*, 5925137. <https://doi.org/10.1155/2017/5925137>.
- Bayattork, M., Sköld, M. B., Sundstrup, E., & Andersen, L. L. (2020). Exercise interventions to improve postural malalignments in head, neck, and trunk among adolescents, adults, and older people: systematic review of randomized controlled trials. *Journal of exercise rehabilitation*, 16(1), 36. <https://doi.org/10.12965/jer.2040034.017>.
- Blake, O.M., Champoux, Y., Wakeling, J.M. (2012). Muscle coordination patterns for efficient cycling. *Med Sci Sports Exercise*, 44(5), 926-38. <https://doi.org/10.1249/MSS.ob013e3182404d4b>.
- Bellows, R. e Wong, C. (2018). The effect of bracing and balance training on ankle sprain incidence among athletes: A systematic review with meta-analysis. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 13(3), 379-388. PMID:30038824; PMCID: PMC6044595.
- Bompa, T.O. (2005). A periodização no treino desportivo. São Paulo: Manolo. ISBN: 85-86702-90-0.

- Bull, F. C., Al-Ansari, S. S., Biddle, S., Borodulin, K., Buman, M. P., Cardon, G., Willumsen, J. F. (2020). *World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour*. *British Journal of Sports Medicine*, 54(24), 1451–1462. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102955>.
- Calcaterra, V., Marin, L., Vandoni, M., Rossi, V., Pirazzi, A., Grazi, R., ... & Zuccotti, G. (2022). Childhood obesity and incorrect body posture: impact on physical activity and the therapeutic role of exercise. *International journal of environmental research and public health*, 19(24), 16728. <https://doi.org/10.3390/ijerph192416728>.
- Chang, W., Chen, S. e Tsou, Y. (2021). Effects of Whole-Body Vibration and Balance Training on Female Athletes with Chronic Ankle Instability. *Journal of Clinical Medicine*, 10, 1-14. <https://doi.org/10.3390/jcm10112380>.
- Chen, B., Liu, P., Xiao, F., Liu, Z., & Wang, Y. (2021). Review of the upright balance assessment based on the force plate. *International journal of environmental research and public health*, 18(5), 2696. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052696>.
- Coletti, C., Acosta, G. F., Keslacy, S., Coletti, D. (2022). Exercise-mediated reinnervation of skeletal muscle in elderly people: An update. *European Journal of Translational Myology*, 32(1):10416. <https://doi.org/10.4081/ejtm.2022.10416>. PMID: 35234025; PMCID: PMC8992679.
- Colyer, S. L., Evans, M., Cosker, D. P., & Salo, A. I. (2018). A review of the evolution of vision-based motion analysis and the integration of advanced computer vision methods towards developing a markerless system. *Sports medicine-open*, 4, 1-15. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0139-y>.
- Cordo, P.J., Nashner, L.M. (1982). Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements. *Journal-of-Neurology-Neurosurgery-and-Psychiatry*, 47(2), 287-302. <https://doi.org/10.1152/jn1982.47.2.287>.
- Dakin, C. J., & Bolton, D. A. (2018). Forecast or fall: prediction's importance to postural control. *Frontiers in Neurology*, 9, 924. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00924>.

- Dindorf, C., Dully, J., Simon, S., Perchthaler, D., Becker, S., Ehmann, H., Simon, S., Garth, C., Fröhlich, M. (2025). Toward automated plantar pressure analysis: machine learning-based segmentation and key point detection across multicenter data. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *13*, 1579072. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2025.1579072>.
- Della, V., R., Popa, T., Ginanneshi, F., Spidalieri, R., Mazzocchio, R.; Rossi, A. (2006). Changes in coordination of postural control during dynamic stance in chronic low back pain patients. *Gait & posture*, *24*(3), 349-355. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2005.10.009>.
- Doewes, R. I., Gharibian, G., Zaman, B. A., & Akhavan-Sigari, R. (2023). An updated systematic review on the effects of aerobic exercise on human blood lipid profile. *Current problems in cardiology*, *48*(5), 101108. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2022.101108>.
- Duarte, M., Freitas, E.M. Revisão sobre posturo grafia, baseada em plataforma de força para avaliação do equilíbrio. (2010). *Revista Brasileira de Fisioterapia*, *14*(3), 183-192. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552010000300003>.
- Du, S. H., Zhang, Y. H., Yang, Q. H., Wang, Y. C., Fang, Y., & Wang, X. Q. (2023). Spinal posture assessment and low back pain. *EFORT open reviews*, *8*(9), 708-718. <https://doi.org/10.1530/EOR-23-0025>.
- Ekelund, U., Sanchez-Lastra, M. A., Dalene, K. E., & Tarp, J. (2024). Dose–response associations, physical activity intensity and mortality risk: a narrative review. *Journal of sport and health science*, *13*(1), 24-29. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2023.09.006>.
- Enoka, R.M. (2020). *Bases neuro mecânicas da cinesiologia*. São Paulo: Manolo. ISBN-10. 8520407951.
- Faries, M.D., & Greenwood, M. (2007). Core training: Stabilizing the confusion. *Strength and Conditioning Journal*, *29* (2), 10-25. doi.org/10.1519/00126548-200704000-00001.
- Fernandes, S., Casarotto, R. e João, S. (2008). Effects of educational sessions on school backpack use among elementary school students. *Revista Brasileira Fisioterapia*, *12*(6), 447-453. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552008005000002>.

- Fisher, J., Steele, J., Brzycki, M., & DeSimone, B. (2014). Primum non nocere: A commentary on avoidable injuries and safe resistance training techniques. *Journal of Trainology*, 3(1), 31-34. http://doi.org/10.17338/trainology.3.1_31.
- Forte, P., Barbosa, T., Morais, J., Reis A. (2015). Segmental Asymmetry and its relationship with lower limb strength and range of motion in young soccer players. 33^o *International Conference of Biomechanics in Sports*.
- Fujimoto, M., Bair, W. N., & Rogers, M. W. (2015). Center of pressure control for balance maintenance during lateral waist-pull perturbations in older adults. *Journal of biomechanics*, 48(6), 963-968. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.02.012>.
- Giacomozzi, C. (2010). Appropriateness of plantar pressure measurement devices: a comparative technical assessment. *Gait Posture*, 32(1), 141-144. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.03.014>.
- Gimenez, F.V., Stadnik, A. M. W., Maldaner M. (2018). Analyses of Baropodometry Protocols Through Bibliometric Research. Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, *EMBS*, 41, 3882-3885. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2018.8513398>.
- Gimunová, M., Zvonař, M., & Mikeska, O. (2018). The effect of aging and gender on plantar pressure distribution during the gait in elderly. *Acta of bioengineering and biomechanics*, 20(3). <https://doi.org/10.5277/ABB-01158-2018-02>.
- Geneen, L.J., Moore, R.A., Clarke C., Martin D. (2017). Physical activity and exercise for chronic pain in adults: an overview of Cochrane Reviews. *Cochrane Database Syst Rev*, 1(1), CD011279. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011279.pub3>.
- Gonçalves, C.R, Silva, G.P, Verri, E.D, Ferreira, B. (2024). *Avaliação postural visual de praticantes de academia. Evaluation of visual postural practitioners of academy*. Centro Universitário UNIFAFIBE, São Paulo. Revista EPeQ/Fafibe online, 4^a edição.
- Haslam, R. (2001). A comparison of acupuncture with advice and exercises on the symptomatic treatment of osteoarthritis of the hip: a randomized controlled trial. *Acupunct Med*. 19(1), 19-26. <https://doi.org/10.1136/aim.19.1.19>.
- Hayden, J.A., Ellis, J., Ogilvie, R. (2021). Exercise therapy for chronic low back pain. *Cochrane Database Syst Rev*, 28, 9(9), CD009790. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009790.pub2>.

- Hong, S.W., Lee, J.K., Kang, J.H. (2019). Relationship among Cervical Spine Degeneration, Head and Neck postures, and Myofascial Pain in Masticatory and Cervical Muscles in Elderly with Temporomandibular Disorder. *Arch Gerontol Geriatr*, 81:119–28. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2018.12.004>.
- Hong, S.W., Park, K.T., Chung, Y.S., Choi Y.J., Kang, J.H. (2021). Bone mineral density, cervical spine degeneration, head and neck posture, and neck pain in the post-menopausal females: A pilot study. *Plos One*, 20;16(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257735>.
- Janusz, W.B., Beck, M., Sadowska, D. (2014). Assessment of postural stability in young healthy subjects based on directional features of posturographic data: vision and gender effects. *Acta Neurobiol Exp*, 74(4):433-42. <https://doi.org/10.55782/ane-2014-2006>.
- Kapandji, A. I. (2000). *Fisiologia Articular – Tronco e Coluna Vertebral*. 5^a ed. São Paulo: Pan-americana. ISBN: 8530300424.
- Kılınç, Ö. O., De Ridder, R., Kılınç, M., & Van Bladel, A. (2023). Trunk and lower extremity biomechanics during sit-to-stand after stroke: A systematic review. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 66(3), 101676. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2022.101676>.
- Kończ, A., Główka, N., Kowal, M., & Paprocka-Borowicz, M. (2020). Baropodometric evaluation of foot load distribution during gait in the group of professionally active nurses. *Journal of occupational health*, 62(1), e12102. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12102>.
- Kolnes, K. J., Petersen, M. H., Lien-Iversen, T., Højlund, K., & Jensen, J. (2021). Effect of exercise training on fat loss—energetic perspectives and the role of improved adipose tissue function and body fat distribution. *Frontiers in physiology*, 12, 737709. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.737709>.
- Kusabara, R. (2019). *Coluna Vertebral. Desvio da coluna vertebral, má postura*. São Paulo.
- Lança, S.M., Gazzola, J.M., Kasse, C.A., Branco-Barreiro, F.C.A., Vaz, D.P. (2013). Equilíbrio corporal em idosos 12 meses após tratamento para VPPB. *Jornal brasileiro otorrinolaringologia*, 79(1). <https://doi.org/10.5935/1808-8694.20130008>.

- Langeard, A., Milot, E., Quarck, G., & Stoffregen, T. (2024). The Complexity of Center of Pressure Positions During Quiet Stance and Its Relationship to Cognition, Aging, and Falls. *The Journals of Gerontology, Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 79(10), glae063 <https://doi.org/10.1093/gerona/glae063>.
- Leyh, C., & Feipel, V. (2022). Impact of Sex and Velocity on Plantar Pressure Distribution during Gait: A Cross-Sectional Study Using an Instrumented Pressure-Sensitive Walkway. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 7(4), 106. <https://doi.org/10.3390/jfmk7040106>.
- Li, B., Xiang, Q., & Zhang, X. (2020). The center of pressure progression characterizes the dynamic function of high-arched feet during walking. *Journal of Leather Science and Engineering*, 2, 1-10. <https://doi.org/10.1186/s42825-019-0016-6>.
- Loudon, J., Santos, M., Franks, L. e Liu, W. (2008). The effectiveness of active exercise as an intervention for functional ankle instability. *Sports Medicine*, 38(7), 553-563. <https://doi.org/10.2165/00007256-200838070-00003>.
- Ludwig, O. (2017). Interrelationship between postural balance and body posture in children and adolescents. *Journal of physical therapy science*, 29(7), 1154-1158. <https://doi.org/10.1589/jpts.29.1154>.
- Luo, Z., Zhang, T., & Chen, S. (2023). Exercise prescription: pioneering the “Third pole” for clinical health management. *Research*, 6, 0284. <https://doi.org/10.34133/research.0284>.
- Machado, G. G., Barbosa, K. S. S., Oliveira, I. C. B., Lobato, D. F. M., & de Oliveira, N. M. L. (2021). Protocols of balance assessment using baropodometry in healthy individuals-systematic review. *Saúde e Desenvolvimento Humano*, 9(2). <https://doi.org/10.18316/sdh.v9i2.6883>.
- Magee, D. J.(2010). *Avaliação musculo esquelética*. Barueri-SP: Manole. ISBN:13.9788520428078
- Marasco, M. L. (2023). Evaluation of osteopathic patterns and recurring postural alterations associated with athletic gesture in the rowing athletes. *Journal of Physical Rehabilitation and Sports Medicine*, 5, 34-39. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8384139>.

- Marcolin, G., Supej, M., & Paillard, T. (2022). postural balance control in sport and exercise. *Frontiers in Physiology*, *13*, 961442. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.961442>.
- Maskeliūnas, R., Damaševičius, R., Blažauskas, T., Canbulut, C., Adomavičienė, A., & Griškevičius, J. (2023). BiomacVR: A virtual reality-based system for precise human posture and motion analysis in rehabilitation exercises using depth sensors. *Electronics*, *12*(2), 339. <https://doi.org/10.3390/electronics12020339>.
- McGuff, D. & Little, J. (2009). *Body By Science*. Europe: McGraw-Hill Education. ISBN: 9780071597173.
- Mcleod, J. C., Currier, B. S., Lowisz, C. V., & Phillips, S. M. (2024). The influence of resistance exercise training prescription variables on skeletal muscle mass, strength, and physical function in healthy adults: An umbrella review. *Journal of sport and health science*, *13*(1), 47-60. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2023.06.005>.
- Mehri, A., Letafatkar, A., & Khosrokiani, Z. (2020). Effects of corrective exercises on posture, pain, and muscle activation of patients with chronic neck pain exposed to anterior-posterior perturbation. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, *43*(4), 311-324. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2018.11.032>.
- Melzer, I., Benjuya, N., Kaplanski, J. (2001). Age-related changes of postural control: effect of cognitive tasks. *Gerontology*, *47*(4), 189-94. <https://doi.org/10.1159/000052797>.
- Mennitti, C., Farina, G., Imperatore, A., De Fonzo, G., Gentile, A., La Civita, E., ... & Scudiero, O. (2024). How does physical activity modulate hormone responses? *Biomolecules*, *14*(11), 1418. <https://doi.org/10.3390/biom14111418>.
- Minghelli, B. (2022). Postural habits in adolescents: The influence of a school physiotherapy program on improving the knowledge of postures. *International Journal of adolescent medicine and health*, *34*(3), 20190138. <https://doi.org/10.1515/ijamh-2019-0138>.
- Monteiro, P. H. M., Marcori, A. J., da Conceição, N. R., Monteiro, R. L. M., Coelho, D. B., & Teixeira, L. A. (2024). Cortical activity in body balance tasks as a function of motor and cognitive demands: A systematic review. *European Journal of Neuroscience*, *60*(10), 6556-6587. <https://doi.org/10.1111/ejn.16574>.

- Mooren FC, Lechtermann A, Volker K. (2004). Exercise-induced apoptosis of lymphocytes depends on training status. *Med Sci Sports Exerc* 36(9), 1476-1483. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000139897.34521.e9>.
- Morozov, V.I., Tsyplenkov, P.V., Golberg, N.D., Kalinski, M.I. (2006). The effects of high-intensity exercise on skeletal muscle neutrophil myeloperoxidase in untrained and trained rats. *Eur J Appl Physiol*, 97(6), 716-22. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0193-x>.
- Nazrien, N., Prabowo, T., & Arisanti, F. (2024). The Role of Cognition in Balance Control. *OBM Neurobiology*, 8(1), 1-12. <https://doi.org/10.21926/obm.neurobiol.2401211>.
- Neuberger, G.B. (2007). Predictors of exercise and effects of exercise on symptoms, function, aerobic fitness, and disease outcomes of rheumatoid arthritis. *Arthritis Rheum*, 57(6), 943-52. <https://doi.org/10.1002/art.22903>.
- Nordin, M., Frankel, V.H. (2014). *Biomecânica básica do sistema músculo esquelético*. Rio de Janeiro. Editora: Guanabara-Koogan. ISBN:108527722925.
- Padrón, L., Bayod, J., Becerro-de-Bengoa-Vallejo, R., Losa-Iglesias, M., López-López, D., & Casado-Hernández, I. (2023). Influence of the center of pressure on baropodometric gait pattern variations in the adult population with flatfoot: A case-control study. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11, 1147616. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1147616>.
- Paiva, F.M., Marques, C.A., e Paiva, L., (2009). Prevalência das perturbações musculoesqueléticas vertebrais na adolescência. *Revista de Enfermagem*, 11(2), 93-104.
- Pérez-Cabezas, V., Ruiz-Molinero, C., Sánchez-González, J. M., Serrano-Sánchez, F. J., Yébenes-López, M. S., Lucena-Antón, D., & Sánchez-González, M. C. (2019). Postural stability and baropodometric parameters in non-specific chronic neck pain: a cross-sectional study. *Cuestiones de fisioterapia*, 48(3), 18-27. <https://doi.org/10.23736/s1973-9087.22.07554-2>.
- Pivotto, L. R., Navarro, I. J. R. L., & Candotti, C. T. (2021). Radiography and photogrammetry-based methods of assessing cervical spine posture in the sagittal plane: A systematic review with meta-analysis. *Gait & posture*, 84, 357-367. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.12.033>.

- Porto, A. B., Guimarães, A. N., & Okazaki, V. H. A. (2024). The effect of exercise on postural alignment: A systematic review. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 40, 99-108. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2024.04.004>.
- Price, O. J., Tsakirides, C., Gray, M., & Stavropoulos-Kalinoglou, A. (2019). ACSM pre-participation health screening guidelines: a UK university cohort perspective. *Medicine and science in sports and exercise*, 51(5), 1047-1054. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001868>.
- O'Donoghue, G., Bleke, C., Cunninghtam, C., Lennon, O., Perrota, C. (2020). What exercise prescription is optimal to improve body composition and cardiorespiratory fitness in adults living with obesity? *Obes Ver*, 8;22(2):e13137. <https://doi.org/10.1111/obr.13137>.
- Quijoux, F., Nicolai, A., Chairi, I., Bargiotas, I., Ricard, D., Yelnik, A., Audiffren, J. (2021). A review of center of pressure (COP) variables to quantify standing balance in elderly people: Algorithms and open-access code. *Physiological reports*, 9(22), e15067. <https://doi.org/10.14814/phy2.15067>.
- Rabal-Pelay, J., Cimarras-Otal, C., Lacárcel-Tejero, B., Alcázar-Crevillén, A., Villalba-Ruete, J. A., Berzosa, C., & Bataller-Cervero, A. V. (2024). Changes in Baropodometric Evaluation and Discomfort during the Workday in Assembly-Line Workers. *Healthcare*, 12(7), 761. <https://doi.org/10.3390/healthcare12070761>.
- Rebelo-Marques, A., De Sousa Lages, A., Andrade, R., Ribeiro, C. F., Mota-Pinto, A., Carrilho, F., & Espregueira-Mendes, J. (2018). Aging hallmarks: the benefits of physical exercise. *Frontiers in endocrinology*, 9, 258. <https://doi.org/10.3389/fendo.2018.00258>.
- Rio, R. P. (2001). *Ergonomia – Fundamentos da Prática Ergonômica* (3ª edição). São Paulo, LTr. ISBN:8536100869.
- Rodrigues, F.; Domingos, C.; Monteiro, D.; Morouço, P. (2022). A review on aging, sarcopenia, falls, and resistance training in community-dwelling older adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(2), 874. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijerph19020874>.

- Rogério, F. R. P. G., & Guedes, D. P. (2023). The influence of gender and age on foot structure and plantar pressure in asymptomatic adults. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 25, e86693. <https://doi.org/10.1590/1980-0037.2023v25e86693>.
- Rogers, M.W. and Mille, M.L. (2003). Lateral stability and falls in older people. *Exerc Sports Sci Rev*, 31(4), 182-7. <https://doi.org/10.1097/00003677-200310000-00005>.
- Roggio, F., Di Grande, S., Cavalieri, S., Falla, D., & Musumeci, G. (2024). Biomechanical posture analysis in healthy adults with machine learning: Applicability and reliability. *Sensors*, 24(9), 2929. <https://doi.org/10.3390/s24092929>.
- Romero-Franco, N., Martínez-López, E. J., Hita-Contreras, F., & Martínez-Amat, A. (2015). Indoor-season changes in the stabilometry of sprinters and middle-distance runners. *Science & Sports*, 30(3), 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2014.06.006>.
- Rusek, W., Baran, J., Leszczak, J., Adamczyk, M., Baran, R., Weres, A., ... & Pop, T. (2021). Changes in children's body composition and posture during puberty growth. *Children*, 8(4), 288. <https://doi.org/10.3390/children8040288>.
- Saggini, R., Anastasi, G. P., Battilomo, S., Maietta Latessa, P., Costanzo, G., Di Carlo, F., & Bellomo, R. G. (2021). Consensus paper on postural dysfunction: Recommendations for prevention, diagnosis and therapy. *J. Biol. Regul. Homeost. Agents*, 35(2), 441-456. <https://doi.org/10.23812/20-743-A>.
- Salsali, M., Sheikhhoseini, R., Sayyadi, P., Hides, J. A., Dadfar, M., & Piri, H. (2023). Association between physical activity and body posture: a systematic review and meta-analysis. *BMC public health*, 23(1), 1670. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-16617-4>.
- Salvini, T.F. (2007). Global posture reeducation and static muscle stretching on improving flexibility, muscle strength, and range of motion: a comparative study. *Revista Fisioterapia e Pesquisa*, 15(1), 12-18. <https://doi.org/10.1590/S1809-29502008000100003>.
- Santos, R.V., Caperuto, E.C., Costa, R. L.F. (2007). Effects of acute exhaustive physical exercise upon glutamine metabolism of lymphocytes from trained rats. *Life Sci*, 80(6), 573-578. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2006.10.015>.

- Schreiber, S., Parent, E.C., Hedden, D.M., Moreau, M. (2014). Effect of Schroth exercises on curve characteristics and clinical outcomes in adolescent idiopathic scoliosis: Protocol for a multicenter randomized controlled trial. *Journal of Physiotherapy*, 60(4), 234. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2014.08.005>.
- Shah, S. Z., Karam, J. A., Zeb, A., Ullah, R., Shah, A., Haq, I. U., ... & Chen, H. (2021). Movement is improvement: the therapeutic effects of exercise and general physical activity on glycemic control in patients with type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Diabetes Therapy*, 12, 707-732. <https://doi.org/10.1007/s13300-021-01005-1>.
- Shakourisalim, M., Wang, X., Beltran Martinez, K., Golabchi, A., Krell, S., Tavakoli, M., & Rouhani, H. (2024). A comparative study of biomechanical assessments in laboratory and field settings for manual material handling tasks using extractor tools and exoskeletons. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12, 1358670. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1358670>.
- Sepehri, S., Sheikhhoseini, R., Piri, H., & Sayyadi, P. (2024). The effect of various therapeutic exercises on forward head posture, rounded shoulder, and hyperkyphosis among people with upper crossed syndrome: a systematic review and meta-analysis. *BMC musculoskeletal disorders*, 25(1), 105. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07224-4>.
- Singla, D., Veqar, Z., & Hussain, M. E. (2017). Photogrammetric assessment of upper body posture using postural angles: a literature review. *Journal of chiropractic medicine*, 16(2), 131-138. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2017.01.005>.
- Souza, J., Pasinato, F., Correia, C. R. (2014). Global body posture and plantar pressure distribution in individuals with and without temporomandibular disorder: a preliminar study. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 37(6), 407-14. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2014.04.003>.
- Sung, P. S., Rowland, P., & Lee, D. (2024). Implications for fall efficacy strategies on center of pressure and center of gravity sway distances in adults with chronic low back pain. *European Spine Journal*, 33(12), 4581-4590. <https://doi.org/10.1007/s00586-024-08523-z>.
- Tasseel-Ponche, S., Yelnik, A. P., Bonan, I. V. (2015). Motor strategies of postural control after hemispheric stroke. *Neurophysiology Clinique. Clinical Neurophysiology*. 45(4), 327-333. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2015.09.003>.

- Teixeira, D. S., Monteiro, D., Rodrigues, F., Sousa, A. M., Chaves, C. C., & Cid, L. (2020). Ginásios e Health Clubs em Portugal: Estaremos perante uma República das Bananas? *Motricidade*, 16(1), 3-17. [http://doi.org/ 10.6063/motricidade.19688](http://doi.org/10.6063/motricidade.19688).
- Teixeira, P.J., Sardinha, L.B. (2008). *Nutrição, exercício e saúde*. Lisboa: Lidel. ISBN: 8536100869.
- Tesio, L., & Rota, V. (2019). The motion of body center of mass during walking: a review oriented to clinical applications. *Frontiers in neurology*, 20:10:999. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00999>.
- Titcomb, D. A., Melton, B. F., Miyashita, T., & Bland, H. W. (2023). The effects of postural education or corrective exercise on the craniovertebral angle in young adults with forward head posture: A randomized controlled trial. *International journal of exercise science*, 16(1), 954. <https://doi.org/10.70252/PYPQ8483>.
- Tokars, E., Motter, A.A., Moro, A.R.P. Gomes, Z.C.M. (2003). A influencia de arco plantar na postura e no conforto dos calçados ocupacionais. *Revista Fisioterapia Brasil*, 4(3), 157-180. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552009005000053>.
- Tribastone, F. (2000). *Tratado de Exercícios Corretivos, aplicados à reeducação Motora e Postural*. São Paulo: Manolo. ISBN: 9788520410530.
- Tuka, V., & Linhart, A. (2020). Personalised exercise prescription: finding the best for our patients. *European Journal of Preventive Cardiology*, 27(13), 1366-1368. <https://doi.org/10.1177/2047487319884376>.
- Viotto, L.H. (2005). Efeitos da mobilização passiva do complexo pé – tornozelo, associado aos alongamentos. *Revista Terapia Manual*, 3(1), 248-253. <https://doi.org/10.1590/S1413-35552006000300014>.
- Zaar, A., Reis, V. M., Sbardelotto, M. L.(2014). Efeitos de um programa de exercícios físicos sobre a pressão arterial e medidas antropométricas. *Rev Bras Med Esporte*, 20(1), 13-16. <https://doi.org/10.1590/S1517-86922014000100002>.
- Zech, A. et al., (2010). Balance Training for Neuromuscular Control and Performance Enhancement: a systematic review. *J Athl Train*, 45(4), 392-403. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-45.4.392>.
- Van Humbeeck, N., Kliegl, R., & Krampe, R. T. (2023). Lifespan changes in postural control. *Scientific Reports*, 13(1), 541. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-26934-0>.

- Wackerhage, H., & Schoenfeld, B. J. (2021). Personalized, evidence-informed training plans and exercise prescriptions for performance, fitness and health. *Sports Medicine*, 51(9), 1805-1813. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01495-w>.
- Walzik, D., Wences Chirino, T. Y., Zimmer, P., & Joisten, N. (2024). Molecular insights of exercise therapy in disease prevention and treatment. *Signal transduction and targeted therapy*, 9(1), 138. <https://doi.org/10.1038/s41392-024-01841-0>.
- Westlake & Culham, (2006). Influence of testing position and age on measures of ankle proprioception. *Journal Advance in Physiotherapy*, 8(1), 41-48. <https://doi.org/10.1080/14038190600589226>.
- Xing, L., & Popik, S. (2020). A systematic review of the impact of sports on body posture in adolescents. *Journal of Medical Imaging and Health Informatics*, 10(5), 1159-1164. <https://doi.org/10.1166/jmihi.2020.3013>.
- Yamamoto, T., Hoshino, Y., Kanzaki, N., Nukuto, K., Yamashita, T., Ibaraki, K., ... & Kuroda, R. (2020). Plantar pressure sensors indicate women to have a significantly higher peak pressure on the hallux, toes, forefoot, and medial of the foot compared to men. *Journal of Foot and Ankle Research*, 1(13), 40. <https://doi.org/10.1186/s13047-020-00410-2>.

Referências do Estudo 1

- Alves, R., Borel, W.P., Rossi, B.P., Vicente, E.J.D., Chagas, P.S. de C., Felício, D.C. (2018). Test-retest reliability of baropodometry in young asymptomatic individuals during semi static and dynamic analysis. *Fisioter. Mov.* 31, e003114. <https://doi.org/10.1590/1980-5918.031.AO14>.
- Andréoli, A., Garaci, F., Cafarelli, F.P., Guglielmi, G. (2016). Body Composition in Clinical Practice. *Eur. J. Radiol*, 85(8), 1461-8. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.02.005>.
- Arnold, J.B., Causby, R., Pod, G.D., Jones, S. (2010). The Impact of Increasing Body Mass on Peak and Mean Plantar Pressure in Asymptomatic Adult Subjects During Walking. *Diabet Foot Ankle*, 1. <https://doi.org/10.3402/dfa.v1i0.5518>.

- Baumfeld, D., Baumfeld, T., Da Rocha, R.L., Macedo, B., Raduan, F., Zambelli, R., Alves Silva, T.A., Nery, C. (2017). Reliability of Baropodometry on the Evaluation of Plantar Load Distribution: A Transversal Study. *Biomed Res. Int*, 5925137. <https://doi.org/10.1155/2017/5925137>.
- Brunelli, C., Zecca, E., Martini, C., Campa, T., Fagnoni, E., Bagnasco, M., Lanata, L., Caraceni, A. (2010). Comparison of numerical and verbal rating scales to measure pain exacerbations in patients with chronic cancer pain. *Health Qual. Life Outcomes*, 8, 22:8:42. <https://doi.org/10.1186/1477-7525-8-42>.
- Caselli, A., Pham, H., Giurini, J.M., Armstrong, D.G., Veves, A. (2002). The Forefoot-to-Rearfoot Plantar Pressure Ratio Is Increased in Severe Diabetic Neuropathy and Can Predict Foot Ulceration. *Diabetes Care*, 25(6), 1066-71. <https://doi.org/10.2337/diacare.25.6.1066>.
- Castelo, L.D.A., Saad, M., Tamaoki, M.J.S., Dobashi, E.T., Sodr e, H. (2022). Correlation between baropodometric parameters and functional evaluation in patients with surgically treated congenital idiopathic clubfoot. *J. Pediatr. Orthop*, 31, 391–396. <https://doi.org/10.1097/BPB.0000000000000937>.
- Cheung, J.T.-M., Zhang, M., Leung, A.K.-L., Fan, Y. (2005). Three-Dimensional Finite Element Analysis of the Foot During Standing—a Material Sensitivity Study. *J. Biomech*, 38(5), 1045-54. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.05.035>.
- Choi, S., Ashdown, S. p., (2010). 3D body scan analysis of dimensional change in lower body measurements for active body positions. *Sage Journals*, 81(1), 81–93. <http://dx.doi.org/10.1177/0040517510377822>.
- Cramer, H., Mehling, W.E., Saha, F.J., Dobos, G., Lauche, R. (2018). Postural awareness and its relation to pain: Validation of an innovative instrument measuring awareness of body posture in patients with chronic pain. *BMC Musculoskelet. Disord*, 19, 1–10. <https://doi.org/10.1186/S12891-018-2031-9>.
- Demirb uken,  . ,  zg ul, B., Timurtař, E., Yurdalan, S.U., Cekin, M.D., Polat, M.G. (2019). Gender and Age Impact on Plantar Pressure Distribution in Early adolescence. *Acta Orthop. Traumatol. Turc*, 53(3), 215-220. <https://doi.org/10.1016/j.aott.2019.01.006>.
- Dowling, A.M., Steele, J.R., Baur, L.A. (2004). What Are the Effects of Obesity in Children on Plantar Pressure Distributions? *J. Obes. Relat Metab Disord*, 28(11) , 1514-9. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0802729>.

- Gawronska, K., Lorkowski, J., (2021). Evaluating the Symmetry in Plantar Pressure Distribution Under the Toes During Standing in a Postural Pedobarographic Examination. *Symmetry*, 13 (8), 1476. <https://doi.org/10.3390/sym13081476>.
- Gutiérrez-Vilahú, L., Guerra-Balic, M. (2021). Footprint measurement methods for the assessment and classification of foot types in subjects with Down syndrome: a systematic review. *J. Orthop. Surg. Res*, 16(1), 537. <https://doi.org/10.1186/S13018-021-02667-0>.
- Hawrylak, A., Gronowska, H. (2020). Plantar Pressure Distribution in Female Olympic-Style Weightlifters. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17(8), 2669. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082669>.
- Henriksson, P., Löf, M., Forsum, E. (2015). Glucose Homeostasis Variables in Pregnancy Versus Maternal and Infant Body Composition. *Nutrients*, 7(7), 5615-5627. <https://doi.org/10.3390/nu7075243>.
- Hjermstad, M.J., Fayers, P.M., Haugen, D.F., Caraceni, A., Hanks, G.W., Loge, J.H., Fainsinger, R., Aass, N., Kaasa, S. (2011). Studies comparing numerical rating scales, verbal rating scales, and visual analogue scales for assessment of pain intensity in adults: A systematic literature review. *J. Pain Symptom Manage*, 41(6):1073-93. <https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2010.08.016>.
- Hooker, S.A., Oswald, L.B., Reid, K.J., Baron, K.G. (2020). Do Physical Activity, Caloric Intake, and Sleep Vary Together Day to Day? Exploration of Intraindividual Variability in 3 Key Health Behaviors. *J. Phys. Act. Heal*, 17(1), 45-51. <https://doi.org/10.1123/jpah.2019-0207>.
- Kim, J.M., Kim, M.W., Do, H.J. (2016). Influence of Hyperlipidemia on the Treatment of Supraspinatus Tendinopathy With or Without Tear. *Ann. Rehabil. Med*, 40, 463-469. <https://doi.org/10.5535/ARM.2016.40.3.463>.
- Koller, U., Willegger, M., Windhager, R., Wanivenhaus, A., Trnka, H.J., Schuh, R. (2014). Plantar pressure characteristics in hallux valgus feet. *J. Orthop. Res*. 32, 1688-1693. <https://doi.org/10.1002/JOR.22707>.
- Kuriyan, R. (2018). Body Composition Techniques. *Indian J. Med. Res*, 148(5), 648-658. https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_1777_18.

- Li, L., Liu, X., Herr, K. (2007). Postoperative pain intensity assessment: A comparison of four scales in Chinese adults. *Pain Med*, 8(3), 223–234. <https://doi.org/10.1111/j.1526-4637.2007.00296.x>.
- Lohman, T.G., Hingle, M., Going, S.B. (2013). Body Composition in Children. *Pediatr. Exerc. Sci*, 25(4), 573-90. <https://doi.org/10.1123/pes.25.4.573>.
- Michener, L.A., Snyder, A.R., Leggin, B.G. (2011). Responsiveness of the Numeric Pain Rating Scale in Patients With Shoulder Pain and the Effect of Surgical Status. *J. Sport Rehabil*, 20(1), 115–128. <https://doi.org/10.1123/JSR.20.1.115>.
- Mickle, K.J., Munro, B.J., Lord, S.R., Menz, H.B., Steele, J.R. (2010). Foot Pain, Plantar Pressures, and Falls in Older People: A Prospective Study. *J. Am. Geriatr. Soc.* 58, 1936–1940. <https://doi.org/10.1111/J.1532-5415.2010.03061.X>.
- Miró, J., Castarlenas, E., Huguet, A. (2009). Evidence for the use of a numerical rating scale to assess the intensity of pediatric pain. *Eur. J. Pain*, 13(10), 1089–1095. <https://doi.org/10.1016/J.EJPAIN.2009.07.002>.
- Nakagawa, N., Masuhara, K. (2019). Plantar Pressure Distribution During Standing in Female Patients With Hip Osteoarthritis Who Underwent Total Hip Arthroplasty. *J. Gait Posture*, 76; 39-43. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.10.026>.
- Moisset, X., Attal, N., Ciampi De Andrade, D. (2022). An Emoji-Based Visual Analog Scale Compared With a Numeric Rating Scale for Pain Assessment. *JAMA*, 328(19), 1980. <https://doi.org/10.1001/JAMA.2022.16940>.
- Oosterlinck, M., Hardeman, L.C., der Meij, B.R. van, Veraa, S., der Kolk, J.H. van, Wijnberg, I.D., Pille, F., Back, W. (2013). Pressure Plate Analysis of Toe–heel and Medio-Lateral Hoof Balance at the Walk and Trot in Sound Sport Horses. *Vet. J.* 198; 9-13. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.09.026>.
- Oosterlinck, M., Royaux, E., Back, W., Pille, F. (2014). A Preliminary Study on Pressure-plate Evaluation of Forelimb Toe–heel and Mediolateral Hoof Balance on a Hard vs. A Soft Surface in Sound Ponies at the Walk and Trot. *Equine Vet. J.* Nov; 46(6), 751-5. <https://doi.org/10.1111/evj.12210>.
- Pagé, M.G., Katz, J., Stinson, J., Isaac, L., Martin-Pichora, A.L., Campbell, F. (2012). Validation of the numerical rating scale for pain intensity and unpleasantness in pediatric acute postoperative pain: Sensitivity to change over time. *J. Pain*, 13, 359–369. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2011.12.010>.

- Palmieri, R.M., Ingersoll, C.D., Stone, M.B., Krause, B.A. (2002). Center-of-Pressure Parameters Used in the Assessment of Postural Control. *J. Sport Rehabil*, 11, 51–66. <https://doi.org/10.1123/JSR.11.1.51>.
- Pieh, C., Neumeier, S., Loew, T., Altmepfen, J., Angerer, M., Busch, V., Lahmann, C. (2014). Effectiveness of a Multimodal Treatment Program for Somatoform Pain Disorder. *Pain Pract*, 14, 146–151. <https://doi.org/10.1111/PAPR.12144>.
- Pomarino, D., Pomarino, A. (2014). Plantar Static Pressure Distribution in Healthy Individuals: Percentiles for the Evaluation of Forefoot Loading. *Foot Ankle Spec*. 7(4) 293–297. <https://doi.org/10.1177/1938640014528973>.
- Rao, S., Baumhauer, J.F., Nawoczenski, D.A. (2011). Is barefoot regional plantar loading related to self-reported foot pain in patients with midfoot osteoarthritis. *Osteoarthr. Cartil*, 19(8), 1019–1025. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2011.04.006>.
- Taş, S. (2019). Investigation of Foot Pressure Distribution in Asymptomatic Individuals With Mild Hallux Valgus. *Bezmialem Sci*. 7 (4), 276-280. <https://doi.org/10.14235/bas.galenos.2019.2906>.
- Tudor-Locke, C., Ainsworth, B.E., Whitt, M.C., Thompson, R.W., Addy, C.L., Jones, D. (2001). The Relationship Between Pedometer-Determined Ambulatory Activity and Body Composition Variables. *Int. J. Obes*, 25(11), 1571-8. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0801783>.
- Ullén, F., Forsman, L., Blom, Ö., Karabanov, A., Madison, G. (2008). Intelligence and Variability in a Simple Timing Task Share Neural Substrates in the Prefrontal White Matter. *J. Neurosci*. 28(16), 4238–4243. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0825-08.2008>.
- Walsh, T.P., Butterworth, P.A., Urquhart, D.M., Cicuttini, F.M., Landorf, K.B., Wluka, A.E., Michael Shanahan, E., Menz, H.B. (2017). Increase in body weight over a two-year period is associated with an increase in midfoot pressure and foot pain. *J. Foot Ankle Res*, 10, 1–8. <https://doi.org/10.1186/s13047-017-0214-5>.
- Wong, W.Y., Wong, M.S., Lo, K.H., (2007). Clinical applications of sensors for human posture and movement analysis: A review. *Prosthet. Orthot. Int*, 31, 62–75. <https://doi.org/10.1080/03093640600983949>.

Yamamoto, T., Hoshino, Y., Kanzaki, N., Nukuto, K., Yamashita, T., Ibaraki, K., Nagai, K., Nagamune, K., Araki, D., Matsushita, T., Kuroda, R. (2020). Plantar Pressure Sensors Indicate Women to Have a Significantly Higher Peak Pressure on the Hallux, Toes, Forefoot, and Medial of the Foot Compared to Men. *J. Foot Ankle Res*, 13(1), 40. <https://doi.org/10.1186/s13047-020-00410-2>.

Referências do Estudo 2

Al Kuwaiti, A., Nazer, K., Al-Reedy, A., Al-Shehri, S., Al-Muhanna, A., Subbarayalu, A. V., Al Muhanna, D., & Al-Muhanna, F. A. (2023). A Review of the Role of Artificial Intelligence in Healthcare. *Journal of Personalized Medicine*, 13(6), 951. <https://doi.org/10.3390/jpm13060951>.

Alves, R., Borel, W. P., Rossi, B. P., Vicente, E. J. D., Chagas, P. S. de C., & Felício, D. C. (2018). Test-retest reliability of baropodometry in young asymptomatic individuals during semi static and dynamic analysis. *Fisioterapia em Movimento*, 31, e003114. <https://doi.org/10.1590/1980-5918.031.AO14>.

Azevedo, N., Ribeiro, J. C., & Machado, L. (2022). Balance and Posture in Children and Adolescents: A Cross-Sectional Study. *Sensors*, 22(13), <https://doi.org/10.3390/s22134973>.

Balthillaya, G. M., Parsekar, S. S., Gangavelli, R., Prabhu, N., Bhat, S. N., & Rao, B. K. (2022). Effectiveness of posture-correction interventions for mechanical neck pain and posture among people with forward head posture: Protocol for a systematic review. *BMJ Open*, 12(3), e054691. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-054691>.

Baumfeld, D., Baumfeld, T., Da Rocha, R. L., Macedo, B., Raduan, F., Zambelli, R., Alves Silva, T. A., & Nery, C. (2017). Reliability of Baropodometry on the Evaluation of Plantar Load Distribution: A Transversal Study. *BioMed Research International*, 5925137. <https://doi.org/10.1155/2017/5925137>.

Bell, A. C., Richards, J., Zakrzewski-Fruer, J. K., Smith, L. R., & Bailey, D. P. (2022). Sedentary Behaviour—A Target for the Prevention and Management of Cardiovascular Disease. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(1), 532. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010532>.

- Bertolazzi, A., Quaglia, V., & Bongelli, R. (2024). Barriers and facilitators to health technology adoption by older adults with chronic diseases: An integrative systematic review. *BMC Public Health*, 24, 506. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-18036-5>.
- Biamonte, J., Wittek, P., Pancotti, N., Rebentrost, P., Wiebe, N., & Lloyd, S. (2017). Quantum machine learning. *Nature*, 549(7671), 195–202. <https://doi.org/10.1038/nature23474>.
- Bonfim, T. R., Grossi, D. B., Paccola, C. A. J., & Barela, J. A. (2009). Efeito de informação sensorial adicional na propriocepção e equilíbrio de indivíduos com lesão do LCA. *Acta Ortopédica Brasileira*, 17, 291–296. <https://doi.org/10.1590/S1413-78522009000500008>.
- Bradshaw, T. J., Huemann, Z., Hu, J., & Rahmim, A. (2023). A Guide to Cross-Validation for Artificial Intelligence in Medical Imaging. *Radiology: Artificial Intelligence*, 5(4), e220232. <https://doi.org/10.1148/ryai.220232>.
- Brunelli, C., Zecca, E., Martini, C., Campa, T., Fagnoni, E., Bagnasco, M., Lanata, L., & Caraceni, A. (2010). Comparison of numerical and verbal rating scales to measure pain exacerbations in patients with chronic cancer pain. *Health and Quality of Life Outcomes*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/1477-7525-8-42>.
- Cai, J., Luo, J., Wang, S., & Yang, S. (2018). Feature selection in machine learning: A new perspective. *Neurocomputing*, 300, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.11.077>.
- Capodaglio, P., Cimolin, V., Tacchini, E., Parisio, C., & Galli, M. (2012). Balance Control and Balance Recovery in Obesity. *Current Obesity Reports*, 1(3), 166–173. <https://doi.org/10.1007/s13679-012-0018-7>.
- Caselli, A., Pham, H., Giurini, J. M., Armstrong, D. G., & Veves, A. (2002). The forefoot-to-rearfoot plantar pressure ratio is increased in severe diabetic neuropathy and can predict foot ulceration. *Diabetes Care*, 25(6), 1066–1071. <https://doi.org/10.2337/diacare.25.6.1066>.
- Castelo, L. D. A., Saad, M., Tamaoki, M. J. S., Dobashi, E. T., & Sodré, H. (2022). Correlation between baropodometric parameters and functional evaluation in patients with surgically treated congenital idiopathic clubfoot. *Journal of Pediatric Orthopaedics Part B*, 31(4), 391–396. <https://doi.org/10.1097/BPB.0000000000000937>.

- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root means square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), 1247–1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>.
- Cheung, J. T.-M., Zhang, M., Leung, A. K.-L., & Fan, Y.-B. (2005). Three-dimensional finite element analysis of the foot during standing—A material sensitivity study. *Journal of Biomechanics*, 38(5), 1045–1054. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.05.035>.
- Chicco, D., Warrens, M. J., & Jurman, G. (2021). The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *PeerJ Computer Science*, 7, e623. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.623>.
- Choi, S., & Ashdown, S. p. (2010). 3D body scan analysis of dimensional change in lower body measurements for active body positions. *J. of the Korean Soc of Clothing and Textiles*, 34(6), 955-968. <https://doi.org/10.5850/JKSCT.2010.34.6.955>.
- Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Routledge.
- Cramer, H., Mehling, W. E., Saha, F. J., Dobos, G., & Lauche, R. (2018). Postural awareness and its relation to pain: Validation of an innovative instrument measuring awareness of body posture in patients with chronic pain. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 19(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/S12891-018-2031-9/TABLES/7>.
- Duarte, M., & Freitas, S. M. S. F. (2010). Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. *Revista Brasileira De Fisioterapia*, 14(3), 183–192. PMID: 20730361.
- Eickemberg, M., Oliveira, C. C. de Anna Karla Carneiro, R., & Sampaio, L. R. (2011). Bioimpedância elétrica e sua aplicação em avaliação nutricional. *Revista de Nutrição*, 24, 883–893. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732011000600009>.
- Eriksson, O., Jauhiainen, A., Maad Sasane, S., Kramer, A., Nair, A. G., Sartorius, C., & Hellgren Kotaleski, J. (2019). Uncertainty quantification, propagation and characterization by Bayesian analysis combined with global sensitivity analysis applied to dynamical intracellular pathway models. *Bioinformatics*, 35(2), 284–292. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bty607>.

- Field, S., Treleaven, J., & Jull, G. (2008). Standing balance: A comparison between idiopathic and whiplash-induced neck pain. *Manual Therapy*, *13*(3), 183–191. <https://doi.org/10.1016/j.math.2006.12.005>.
- Fillingim, R. B., King, C. D., Ribeiro-Dasilva, M. C., Rahim-Williams, B., & Riley, J. L. (2009). Sex, Gender, and Pain: A Review of Recent Clinical and Experimental Findings. *The Journal of Pain*, *10*(5), 447–485. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2008.12.001>.
- Fortin, C., Ehrmann Feldman, D., Cheriet, F., & Labelle, H. (2011). Clinical methods for quantifying body segment posture: A literature review. *Disability and Rehabilitation*, *33*(5), 367–383. <https://doi.org/10.3109/09638288.2010.492066>.
- Gouveia, J. P., Forte, P., Ribeiro, J., & Coelho, E. (2021). Study of the Association between Postural Misalignments in School Students. *Symmetry*, *13*(10). <https://doi.org/10.3390/sym13101959>.
- Gutiérrez-Vilahú, L., & Guerra-Balic, M. (2021). Footprint measurement methods for the assessment and classification of foot types in subjects with Down syndrome: A systematic review. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, *16*(1), 537. <https://doi.org/10.1186/S13018-021-02667-0>.
- Henriksson, H., Henriksson, P., Tynelius, P., Ekstedt, M., Berglind, D., Labayen, I., Ruiz, J. R., Lavie, C. J., & Ortega, F. B. (2020). Cardiorespiratory fitness, muscular strength, and obesity in adolescence and later chronic disability due to cardiovascular disease: A cohort study of 1 million men. *European Heart Journal*, *41*(15), 1503–1510. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz774>.
- Hicks, S. A., Strümke, I., Thambawita, V., Hammou, M., Riegler, M. A., Halvorsen, P., & Parasa, S. (2022). On evaluation metrics for medical applications of artificial intelligence. *Scientific Reports*, *12*(1), 5979. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09954-8>.
- Hjermstad, M. J., Fayers, P. M., Haugen, D. F., Caraceni, A., Hanks, G. W., Loge, J. H., Fainsinger, R., Aass, N., & Kaasa, S. (2011). Studies comparing numerical rating scales, verbal rating scales, and visual analogue scales for assessment of pain intensity in adults: A systematic literature review. *Journal of Pain and Symptom Management*, *41*(6), 1073–1093. <https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2010.08.016>.

- Hooker, S. A., Oswald, L. B., Reid, K. J., & Baron, K. G. (2020). Do Physical Activity, Caloric Intake, and Sleep Vary Together Day to Day? Exploration of Intraindividual Variability in 3 Key Health Behaviors. *Journal of Physical Activity & Health, 17*(1), 45–51. <https://doi.org/10.1123/jpah.2019-0207>.
- Hrysomallis, C., & Goodman, C. (2001). A review of resistance exercise and posture realignment. *Journal of Strength and Conditioning Research, 15*(3), 385–390. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2001\)015<0385:AROREA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2001)015<0385:AROREA>2.0.CO;2).
- Kim, J. M., Kim, M. W., & Do, H. J. (2016). Influence of Hyperlipidemia on the Treatment of Supraspinatus Tendinopathy With or Without Tear. *Annals of Rehabilitation Medicine, 40*(3), 463–469. <https://doi.org/10.5535/ARM.2016.40.3.463>.
- Kirchengast, S. (2010). Gender Differences in Body Composition from Childhood to Old Age: An Evolutionary Point of View. *Journal of Life Sciences, 2*(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/09751270.2010.11885146>.
- Koes, B. W., van Tulder, M., Lin, C.-W. C., Macedo, L. G., McAuley, J., & Maher, C. (2010). An updated overview of clinical guidelines for the management of non-specific low back pain in primary care. *European Spine Journal: Official Publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society, 19*(12), 2075–2094. <https://doi.org/10.1007/s00586-010-1502-y>.
- Kuriyan, R. (2018). Body Composition Techniques. *Indian J. Med. Res, 8*(5), 648–658. https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_1777_18.
- Li, L., Liu, X., & Herr, K. (2007). Postoperative pain intensity assessment: A comparison of four scales in Chinese adults. *Pain Medicine, 8*(3), 223–234. <https://doi.org/10.1111/J.1526-4637.2007.00296.x>
- Lövdal, S. S., Hartigh, R. J. R. D., & Azzopardi, G. (2021). Injury Prediction in Competitive Runners with Machine Learning. *International Journal of Sports Physiology and Performance, 16*(10), 1522–1531. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2020-0518>.
- Luo, J., Wang, Z., Xu, L., Wang, A. C., Han, K., Jiang, T., Lai, Q., Bai, Y., Tang, W., Fan, F. R., & Wang, Z. L. (2019). Flexible and durable wood-based triboelectric nanogenerators for self-powered sensing in athletic big data analytics. *Nature Communications, 10*(1), 5147. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13166-6>.

- Mahmoud, N. F., Hassan, K. A., Abdelmajeed, S. F., Moustafa, I. M., & Silva, A. G. (2019). The Relationship Between Forward Head Posture and Neck Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, *12*(4), 562–577. <https://doi.org/10.1007/s12178-019-09594-y>.
- Menz, H. B., Dufour, A. B., Riskowski, J. L., Hillstrom, H. J., & Hannan, M. T. (2013). Foot posture, foot function and low back pain: The Framingham Foot Study. *Rheumatology (Oxford, England)*, *52*(12), 2275–2282. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/ket298>.
- Michener, L. A., Snyder, A. R., & Leggin, B. G. (2011). Responsiveness of the Numeric Pain Rating Scale in Patients with Shoulder Pain and the Effect of Surgical Status. *Journal of Sport Rehabilitation*, *20*(1), 115–128. <https://doi.org/10.1123/JSR.20.1.115>.
- Miró, J., Castarlenas, E., & Huguet, A. (2009). Evidence for the use of a numerical rating scale to assess the intensity of pediatric pain. *European Journal of Pain*, *13*(10), 1089–1095. <https://doi.org/10.1016/J.EJPAIN.2009.07.002>.
- Mochizuki, L., & Amadio, A. C. (2003). Aspectos biomecânicos da postura ereta: A relação entre o centro de massa e o centro de pressão. *Rev Port Cien Desp*, *3*(3), 77–83. <https://doi.org/10.5628/rpcd.03.03.77>.
- Moisset, X., Attal, N., & Ciampi De Andrade, D. (2022). An Emoji-Based Visual Analog Scale Compared with a Numeric Rating Scale for Pain Assessment. *JAMA*, *328*(19), 1980–1980. <https://doi.org/10.1001/JAMA.2022.16940>.
- Mutalimov, R. K., Kravtsova, K. V., Bairamkulova, A. M., Bairamkulova, S. M., Voynova, A. O., & Goncharov, V. V. (2021). Diseases of the Musculoskeletal System and Rheumatic Diseases: Prevention and Rehabilitation in Modern Conditions. *Journal of Pharmaceutical Research International*, *1*, 419–424. <https://doi.org/10.9734/jpri/2021/v33i46B32956>.
- Naveed, M. A. (2023). Transforming Healthcare through Artificial Intelligence and Machine Learning. *Pakistan Journal of Health Sciences*, *1*(1). <https://doi.org/10.54393/pjhs.v4i05.844>.

- Nichols, E., Steinmetz, J. D., Vollset, S. E., Fukutaki, K., Chalek, J., Abd-Allah, F., Abdoli, A., Abualhasan, A., Abu-Gharbieh, E., Akram, T. T., Hamad, H. A., Alahdab, F., Alanezi, F. M., Alipour, V., Almustanyir, S., Amu, H., Ansari, I., Arabloo, J., Ashraf, T., ... Vos, T. (2022). Estimation of the global prevalence of dementia in 2019 and forecasted prevalence in 2050: An analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet Public Health*, *7*(2), 105–125. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(21\)00249-8](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(21)00249-8).
- Pagé, M. G., Katz, J., Stinson, J., Isaac, L., Martin-Pichora, A. L., & Campbell, F. (2012). Validation of the numerical rating scale for pain intensity and unpleasantness in pediatric acute postoperative pain: Sensitivity to change over time. *Journal of Pain*, *13*(4), 359–369. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2011.12.010>.
- Palmieri, R. M., Ingersoll, C. D., Stone, M. B., & Krause, B. A. (2002). Center-of-Pressure Parameters Used in the Assessment of Postural Control. *Journal of Sport Rehabilitation*, *11*(1), 51–66. <https://doi.org/10.1123/JSR.11.1.51>.
- Pieh, C., Neumeier, S., Loew, T., Altmeyden, J., Angerer, M., Busch, V., & Lahmann, C. (2014). Effectiveness of a Multimodal Treatment Program for Somatoform Pain Disorder. *Pain Practice*, *14*(3), 146–151. <https://doi.org/10.1111/PAPR.12144>.
- Ruhe, A., Fejer, R., & Walker, B. (2011). Center of pressure excursion as a measure of balance performance in patients with non-specific low back pain compared to healthy controls: A systematic review of the literature. *European Spine Journal*, *20*(3), 358–368. <https://doi.org/10.1007/s00586-010-1543-2>.
- Santos, C. I. S., Cunha, A. B. N., Braga, V. P., Saad, I. A. B., Ribeiro, M. Â. G. O., Conti, P. B. M., & Oberg, T. D. (2009). Ocorrência de desvios posturais em escolares do ensino público fundamental de Jaguariúna, São Paulo. *Revista Paulista de Pediatria*, *27*, 74–80. <https://doi.org/10.1590/S0103-05822009000100012>.
- Silva, A. M., Siqueira, G. R. (2013). Repercussões do uso do calçado de salto alto na postura corporal de adolescentes. *Revista Paulista de Pediatria*, *31*, 265–271. <https://doi.org/10.1590/S0103-05822013000200020>.
- Singh, D., & Singh, B. (2020). Investigating the impact of data normalization on classification performance. *Applied Soft Computing*, *97*, 105524. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105524>.

- Singla, D., & Veqar, Z. (2017). Association Between Forward Head, Rounded Shoulders, and Increased Thoracic Kyphosis: A Review of the Literature. *Journal of Chiropractic Medicine*, 16(3), 220–229. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2017.03.004>.
- Unpingco, J. (2016). *Python for probability, statistics, and machine learning* (Vol. 1). Springer. ISBN: 9783031046476.
- Wojtków, M., Szkoda-Poliszuk, K., & Szotek, S. (2018). Influence of body posture on foot load distribution in young school-age children. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 20(2), 101–107. <https://doi.org/10.5277/ABB-01079-2018-01>.
- Wong, W. Y., Wong, M. S., & Lo, K. H. (2007). Clinical applications of sensors for human posture and movement analysis: A review. *Prosthetics and Orthotics International*, 31(1), 62–75. <https://doi.org/10.1080/03093640600983949>.

Referências do Estudo 3

- Al Kuwaiti, A., Nazer, K., Al-Reedy, A., Al-Shehri, S., Al-Muhanna, A., Subbarayalu, A. V., Al Muhanna, D., & Al-Muhanna, F. A. (2023). A Review of the Role of Artificial Intelligence in Healthcare. *Journal of Personalized Medicine*, 13(6), 951. <https://doi.org/10.3390/jpm13060951>.
- Alves, R., Borel, W.P., Rossi, B.P., Vicente, E. J. D., Chagas, P. S. de C., Felício, D. C. (2018). Test-retest reliability of baropodometry in young asymptomatic individuals during semi static and dynamic analysis. *Fisioter mov*, 31, e003114. <https://doi.org/10.1590/1980-5918.031.a014>.
- Azevedo, N., Ribeiro, J. C., & Machado, L. (2022). Balance and Posture in Children and Adolescents: A Cross-Sectional Study. *Sensors*, 22(13), <https://doi.org/10.3390/s22134973>.
- Back, W., Oosterlinck, M., Royaux, E., Pille, F. (2014). A Preliminary Study on Pressure-plate Evaluation of Forelimb Toe–heel and Mediolateral Hoof Balance on a Hard vs. A Soft Surface in Sound Ponies at the Walk and Trot. *Equine Vet. J*, 46(6), 751–5. <https://doi.org/10.1111/evj.12210>.
- Baumfeld, D., Baumfeld, T., da Rocha, R.L. (2017). Reliability of Baropodometry on the Evaluation of Plantar Load Distribution: A Transversal Study. *Biomed Res Int.*, 5925137. <https://doi.org/10.1155/2017/5925137>.

- Balthillaya, G. M., Parsekar, S. S., Gangavelli, R., Prabhu, N., Bhat, S. N., & Rao, B. K. (2022). Effectiveness of posture-correction interventions for mechanical neck pain and posture among people with forward head posture: Protocol for a systematic review. *BMJ Open*, *12*(3), e054691. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2021-054691>.
- Biamonte, J., Wittek, P., Pancotti, N., Rebentrost, P., Wiebe, N., & Lloyd, S. (2017). Quantum machine learning. *Nature*, *549*(7671), 195–202. <https://doi.org/10.1038/nature23474>.
- Borg, G. Escala CR10 de Borg. (2000). *Escalas de Borg para a dor e esforço percebido São Paulo: Manole*, 43–47. ISBN: 9788520409329.
- Brunelli, C., Zecca, E., Martini, C., Campa, T., Fagnoni, E., Bagnasco, M., Lanata, L., Caraceni, A. (2010). Comparison of numerical and verbal rating scales to measure pain exacerbations in patients with chronic cancer pain. *Health Qual. Life Outcomes*, *8*, 22:8:42. <https://doi.org/10.1186/1477-7525-8-42>.
- Cai, J., Luo, J., Wang, S., & Yang, S. (2018). Feature selection in machine learning: A new perspective. *Neurocomputing*, *300*, 70–79. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.11.077>.
- Capodaglio, P., Cimolin, V., Tacchini, E., Parisio, C., & Galli, M. (2012). Balance Control and Balance Recovery in Obesity. *Current Obesity Reports*, *1*(3), 166–173. <https://doi.org/10.1007/s13679-012-0018-7>.
- Caselli, A., Pham, H., Giurini, J.M., Armstrong, D.G., Veves, A. (2002). The Forefoot-to-Rearfoot Plantar Pressure Ratio Is Increased in Severe Diabetic Neuropathy and Can Predict Foot Ulceration. *Diabetes Care*, *25*(6), 1066-71. <https://doi.org/10.2337/diacare.25.6.1066>.
- Carneiro, D. (2011). Prescrição de exercício físico: a sua inclusão na consulta. *Revista Portuguesa de Medicina Geral e Família*, *27*(5), 470–9. <https://doi.org/10.32385/rpmgf.v27i5.10890>.
- Casey, J., Rosenblad, A., Rodby-Bousquet, E. (2022). Postural asymmetries, pain, and ability to change position of children with cerebral palsy in sitting and supine: a cross-sectional study. *Disabil Rehabil.*, *44*(11), 2363–2371. <https://doi.org/10.1080/09638288.2020.1834628>.

- Castelo, L. de A, Saad, M., Tamaoki, M.J.S., Dobashi, E.T., Sodr , H. (2022). Correlation between baropodometric parameters and functional evaluation in patients with surgically treated congenital idiopathic clubfoot. *J Pediatr Orthop B*, 31(4), 391–6. <https://doi.org/10.1097/bpb.0000000000000937>.
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root means square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), 1247–1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>.
- Chagas, P.S. de C., Rangel, R.C.B.F., Dornelas, S.S. de J.O., Amaral, A.D., Ronzani, F.A.T., Defilipo,  .C. (2019). Plantar pressure distribution evaluation in children with down syndrome from 2 to 5 years old. *Fisioter mov.*, 32, e003207. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/1980-5918.032.AO07>.
- Cheung, J.T.-M., Zhang, M., Leung, A.K.-L., Fan, Y. (2005). Three-Dimensional Finite Element Analysis of the Foot During Standing—a Material Sensitivity Study. *J. Biomech*, 38(5), 1045-54. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.05.035>.
- Chicco, D., Warrens, M. J., & Jurman, G. (2021). The coefficient of determination R-squared is more informative than SMAPE, MAE, MAPE, MSE and RMSE in regression analysis evaluation. *PeerJ Computer Science*, 7, e623. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.623>.
- Choi, S., Ashdown, S. p., (2010). 3D body scan analysis of dimensional change in lower body measurements for active body positions. *Sage Journals*, 81(1), 81–93. <http://dx.doi.org/10.1177/0040517510377822>.
- Chow, T-H., Chen, Y-S., Hsu, C-C. (2021). Relationships between Plantar Pressure Distribution and Rearfoot Alignment in the Taiwanese College Athletes with Plantar Fasciopathy during Static Standing and Walking. *Int J Environ Res Public Health*, 18(24), 12942. <https://doi.org/10.3390/ijerph182412942>.
- Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Routledge; <https://doi.org/10.4324/9780203771587>.
- Cramer, H., Mehling, W.E., Saha, F.J., Dobos, G., Lauche, R. (2018). Postural awareness, and its relation to pain: validation of an innovative instrument measuring awareness of body posture in patients with chronic pain. *BMC Musculoskeletal Disord.*, 19(109). <https://doi.org/10.1186/s12891-018-2031-9>.

- Duarte, M., Freitas, S.M.S.F. (2010). Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. *Rev Bras Fisioter*, 14(3), 183–92.
- Eickemberg, M., Oliveira, C.C., Carneiro A.K.R., Sampaio, L.R. (2011). Bioimpedância elétrica e sua aplicação em avaliação nutricional. *Rev Nutr*, 24, 883–893. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732011000600009>.
- Field, S., Treleaven, J., & Jull, G. (2008). Standing balance: A comparison between idiopathic and whiplash-induced neck pain. *Manual Therapy*, 13(3), 183–191. <https://doi.org/10.1016/j.math.2006.12.005>.
- Fillingim, R.B., King, C.D., Ribeiro-Dasilva, M.C., Rahim-Williams, B., Riley, J.L. (2009). Sex, Gender, and Pain: A Review of Recent Clinical and Experimental Findings. *The Journal of Pain*, 10(5), 447–85. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2008.12.001>.
- Fortin, C., Ehrmann Feldman, D., Cheriet, F., & Labelle, H. (2011). Clinical methods for quantifying body segment posture: A literature review. *Disability and Rehabilitation*, 33(5), 367–383. <https://doi.org/10.3109/09638288.2010.492066>.
- Gouveia, J.P., Forte, P., Coelho, E. (2020). Study of postural misalignments between sex, school cycle and physical activity. *J of Human Sport and Exercise*, 17(2). <https://doi.org/10.14198/jhse.2022.172.17>.
- Gutiérrez-Vilahú, L., & Guerra-Balic, M. (2021). Footprint measurement methods for the assessment and classification of foot types in subjects with Down syndrome: A systematic review. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, 16(1), 537. <https://doi.org/10.1186/S13018-021-02667-0>.
- Hrysomallis, C., & Goodman, C. (2001). A review of resistance exercise and posture realignment. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15(3), 385–390. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2001\)015<0385:AROREA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2001)015<0385:AROREA>2.0.CO;2).
- Kirchengast, S. (2010). Gender Differences in Body Composition from Childhood to Old Age: An Evolutionary Point of View. *Journal of Life Sciences*, 2(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/09751270.2010.11885146>.
- Kim, J.M., Kim, M.W., Do, H.J. (2016). Influence of Hyperlipidemia on the Treatment of Supraspinatus Tendinopathy With or Without Tear. *Ann. Rehabil. Med*, 40, 463–469. <https://doi.org/10.5535/ARM.2016.40.3.463>.

- Li, B., Xiang, Q., Zhang, X. (2020). The center of pressure progression characterizes the dynamic function of high-arched feet during walking. *Journal of Leather Science and Engineering*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s42825-019-0016-6>.
- Luo, Z., Zhang, T., & Chen, S. (2023). Exercise prescription: pioneering the “Third pole” for clinical health management. *Research*, 6, 0284. <https://doi.org/10.34133/research.0284>.
- Mahmoud, N. F., Hassan, K. A., Abdelmajeed, S. F., Moustafa, I. M., & Silva, A. G. (2019). The Relationship Between Forward Head Posture and Neck Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 12(4), 562–577. <https://doi.org/10.1007/s12178-019-09594-y>.
- Menz, H. B., Dufour, A. B., Riskowski, J. L., Hillstrom, H. J., & Hannan, M. T. (2013). Foot posture, foot function and low back pain: The Framingham Foot Study. *Rheumatology (Oxford, England)*, 52(12), 2275–2282. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/ket298>.
- Michener, L.A., Snyder, A.R., Leggin, B.G. (2011). Responsiveness of the Numeric Pain Rating Scale in Patients With Shoulder Pain and the Effect of Surgical Status. *J. Sport Rehabil*, 20(1), 115–128. <https://doi.org/10.1123/JSR.20.1.115>.
- Mutalimov, R. K., Kravtsova, K. V., Bairamkulova, A. M., Bairamkulova, S. M., Voynova, A. O., & Goncharov, V. V. (2021). Diseases of the Musculoskeletal System and Rheumatic Diseases: Prevention and Rehabilitation in Modern Conditions. *Journal of Pharmaceutical Research International*, 33, 419–424. <https://doi.org/10.9734/jpri/2021/v33i46B32956>.
- Naveed, M. A. (2023). Transforming Healthcare through Artificial Intelligence and Machine Learning. *Pakistan Journal of Health Sciences*, 1(1). <https://doi.org/10.54393/pjhs.v4i05.844>.
- Pagé, M.G., Katz, J., Stinson, J., Isaac, L., Martin-Pichora, A.L., Campbell, F. (2012). Validation of the numerical rating scale for pain intensity and unpleasantness in pediatric acute postoperative pain: Sensitivity to change over time. *J. Pain*, 13, 359–369. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2011.12.010>.
- Palmieri, R.M., Ingersoll, C.D., Stone, M.B., Krause, B.A. (2002). Center-of-Pressure Parameters Used in the Assessment of Postural Control. *J. Sport Rehabil*, 11, 51–66. <https://doi.org/10.1123/JSR.11.1.51>.

- Park, J.H., Moon, J.H., Kim, H.J., Kong, M.H., Oh, Y.H. (2020). Sedentary Lifestyle: Overview of Updated Evidence of Potential Health Risks. *Korean J Fam Med.*, 41(6), 365–73. <https://doi.org/10.4082/kjfm.20.0165>.
- Pieh, C., Neumeier, S., Loew, T., Altmepfen, J., Angerer, M., Busch, V., Lahmann, C. (2014). Effectiveness of a Multimodal Treatment Program for Somatoform Pain Disorder. *Pain Pract*, 14, 146–151. <https://doi.org/10.1111/PAPR.12144>.
- Santos, A.B., Cruz, W. de A., Pinho, R.P.W. dos S., Schmidt, F.S., Braz, T.B.V., Lopes, C.R. (2015). Monitoramento da carga de treino através de escalas de percepção subjetiva de Borg, Foster e Dor. *RBPFEEX - Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício*, 9(52), 121–8.
- Silva, A. M., Siqueira, G. R. (2013). Repercussões do uso do calçado de salto alto na postura corporal de adolescentes. *Revista Paulista de Pediatria*, 31, 265–271. <https://doi.org/10.1590/S0103-05822013000200020>.
- Singh, D., & Singh, B. (2020). Investigating the impact of data normalization on classification performance. *Applied Soft Computing*, 97, 105524. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105524>.

ANEXOS:

Anexo 1. Questionário PAR-Q



PAR-Q

Physical Activity Readiness Questionnaire

QUESTIONÁRIO DE PRONTIDÃO PARA ATIVIDADE FÍSICA

Atividade física praticada com regularidade está associada a inúmeros benefícios de saúde. O questionário PAR-Q foi elaborado para o auxílio do processo de gestão de risco ligado à prática de atividade física, permitindo garantir um baixo nível de risco durante a realização de atividades físicas de intensidade moderada.

Por favor, leia atentamente cada pergunta e responda às questões através de um círculo em SIM ou NÃO, respectivamente.

1. Alguma vez o seu médico disse que você possui algum problema cardíaco e recomendou que você só praticasse atividade física sob prescrição médica?

SIM **NÃO**

2. Sente dor no peito quando pratica atividade física?

SIM **NÃO**

3. Durante o último mês sentiu dores no peito quando **não** estava a praticar atividade física?

SIM **NÃO**

4. Sentiu perdas de equilíbrio em virtude de tonturas ou alguma vez perdeu a consciência?

SIM **NÃO**

5. Tem algum problema ósseo ou articular (i.e., costas, joelho, ombro) que possa ser agravado com uma mudança na sua atividade física?

SIM **NÃO**

6. Está atualmente a ser medicado pelo seu médico para a pressão arterial ou problemas cardíacos?

SIM **NÃO**

7. Tem conhecimento de alguma outra razão que lhe limite a prática de atividade física?

SIM **NÃO**

Agora, reveja as suas respostas e se uma alguma das suas respostas for positiva (SIM) é importante clarificar a mesma com o seu médico para garantir a sua segurança na prática de atividade físicas de intensidades moderadas.

Declaração de Responsabilidade

Assumo a veracidade das informações prestadas no questionário "PAR-Q", e, em caso de alguma resposta positiva, afirmo ter clarificação médica para participação em eventos de atividades físicas.

Nome do(a) participante:

Data ____/____/____

Anexo 2. CLIE (consentimento livre, informado e esclarecido)

CONSENTIMENTO LIVRE, INFORMADO E ESCLARECIDO (CLIE)

O estudo que se pretende realizar tem como objetivo principal a avaliação do efeito de um programa de exercício em contexto clínico na distribuição plantar e correção das assimetrias posturais, tendo como objetivos secundários:

1. Relacionar os problemas posturais avaliados com fotogrametria (medição de distâncias ou de dimensões através de fotografias) com distribuição da pressão plantar (avaliada por técnica de baropodometria);

2. Avaliar se existe uma correlação entre perceção de dor e assimetrias posturais

3. Perceber de que forma o programa de exercício clínico influencia a distribuição plantar e centro de gravidade, bem como a perceção de dor, qualidade de vida e bem-estar;

4. Avaliar se existe uma correlação entre distribuição da pressão plantar e variação de assimetrias posturais.

O projeto está a ser desenvolvido pelo Departamento de Ciências do Desporto / UBI.

Os participantes que possuam todos os critérios de inclusão do estudo, vão passar pelas 3 fases de avaliação do programa: avaliação inicial (1), avaliação intermédia (2), avaliação final (3).

1. Avaliação inicial inclui: análise baropodometrica (estática, dinâmica, estabilométrica), avaliação postural (Fotometria) com uso de marcadores no corpo, avaliação cardiovascular (medição da frequência cardíaca (Fc) em repouso), bio impedância (medição e composição corporal) e autoavaliação da dor, usando a escala numérica *Numerical Rating Scale* (NRS). Tem a duração de cerca de 1 hora.
2. Avaliação intermédia será realizada 4 semanas após o início do programa e consistirá apenas na reavaliação da dor, tem a duração de 1 minuto.
3. Avaliação final será realizada 12 semanas após o início do programa, onde serão repetidos todos os testes que foram realizados inicialmente. Depois da recolha de dados, são feitas breves análises comparativas. Tem a duração de cerca de 1 hora.

A avaliação física com recurso a uma plataforma de baropodometria representa um método inovador para a prescrição do exercício adequado às necessidades de cada participante, que visa a obtenção de benefícios para a saúde.

Para além da avaliação, o participante entrará num programa de treinos individualizados e específicos, com o objetivo de melhoria das assimetrias posturais, duas vezes por semana, 50 minutos por sessão, durante 12 semanas.

A sua confidencialidade está garantida, sendo que apenas os investigadores principais (Svitlana Dikhtyarenko) têm acesso aos seus dados pessoais, os quais, em todo o caso, não serão divulgados, pois serão usados sobre codificação. As imagens fotográficas recolhidas serão apenas analisadas pela investigadora principal, que fará a

medição das assimetrias existentes. São esses valores serão analisados por outros investigadores, sem qualquer referência à identidade do participante.

Os dados recolhidos no programa serão usados estritamente para fins académicos, não havendo qualquer interesse comercial na implementação do programa. Os dados recolhidos podem ser fornecidos, individualmente a cada participante, mediante pedido do mesmo.

Este trabalho envolve como investigadores a Professora Doutora Maria Dulce Leal Esteves (Docente no Departamento Ciências do Desporto da Universidade de Beira Interior e investigadora do CIDESD), Pedro Miguel Gomes Forte (Professor Doutor, Coordenador do Instituto Superior de Ciências Educativas do Douro), Svitlana Dikhtyarenko (aluna de Doutoramento em Ciências do Desporto, UBI).

Assim venho convidá-lo/a a participar no programa inovador.

A participação que solicito é voluntária, isto é, não se sinta obrigado a participar, e pode decidir não participar desde o primeiro momento ou outro qualquer, sem que daí advenham quaisquer prejuízos para si em qualquer perspetiva.

Uma vez que a declaração de participar é voluntaria, livre, e informada pelo presente documento, mas também esclarecida em tudo o que tiver dúvidas, qualquer pergunta, dúvida ou informação adicional de que necessite para a sua decisão poderá ser-me colocada ou transmitida através do telemóvel 969186451, e-mail:

[iana1705\[at\]hotmail.com](mailto:iana1705[at]hotmail.com)

Ao assinar este documento, confirmo em nome da equipa de investigação, que transmiti toda a informação nela contida e expliquei e dei resposta a todas as questões e dúvidas apresentadas pelo participante e familiares.

Setúbal, _____

Svitlana Dikhtyarenko

Ao assinar esta declaração assumo que aceito participar livremente no programa, que li e compreendi a informação e os esclarecimentos que me foram dados, e a meu contento, acerca da minha participação, e tive tempo suficiente para me decidir e neles ponderar.

Aceito participar nas tarefas que me são solicitadas, sabendo que nada me impede de mudar de posição, sendo que poderei manifestar o desejo de não colaborar, sem que tal implique quaisquer perdas de direitos ou acarrete prejuízos pessoais. Aceito ainda que sejam recolhidas imagens fotográficas minhas sem que apareça o meu rosto, com a garantia que estas serão tratadas garantindo o anonimato e confidencialidade dos meus dados.

Tenho conhecimento de que um original deste documento, assinado por ambos os subscritores, fica em minha posse.

Setúbal, _____

Assinatura do participante _____

Anexo 3. Parecer relativo ao processo n.º CE-UBI-Pj-2023-ID1809.



Parecer relativo ao processo n.º CE-UBI-Pj-2023-030-ID1809

Na sua reunião de 19 de setembro de 2023, a Comissão de Ética apreciou a documentação científica submetida referente ao pedido de parecer do projeto "**Avaliação do efeito de um programa de exercício clínico na distribuição plantar e correção das assimetrias posturais**", da proponente **Svitlana Dikhtyarenko**, a que atribuiu o código n.º CE-UBI-Pj-2023-030.

Na sua análise não identificou matéria que ofenda os princípios éticos e morais, sendo de parecer que o estudo em causa pode ser **aprovado**.

Covilhã e UBI

A Presidente da Comissão de Ética

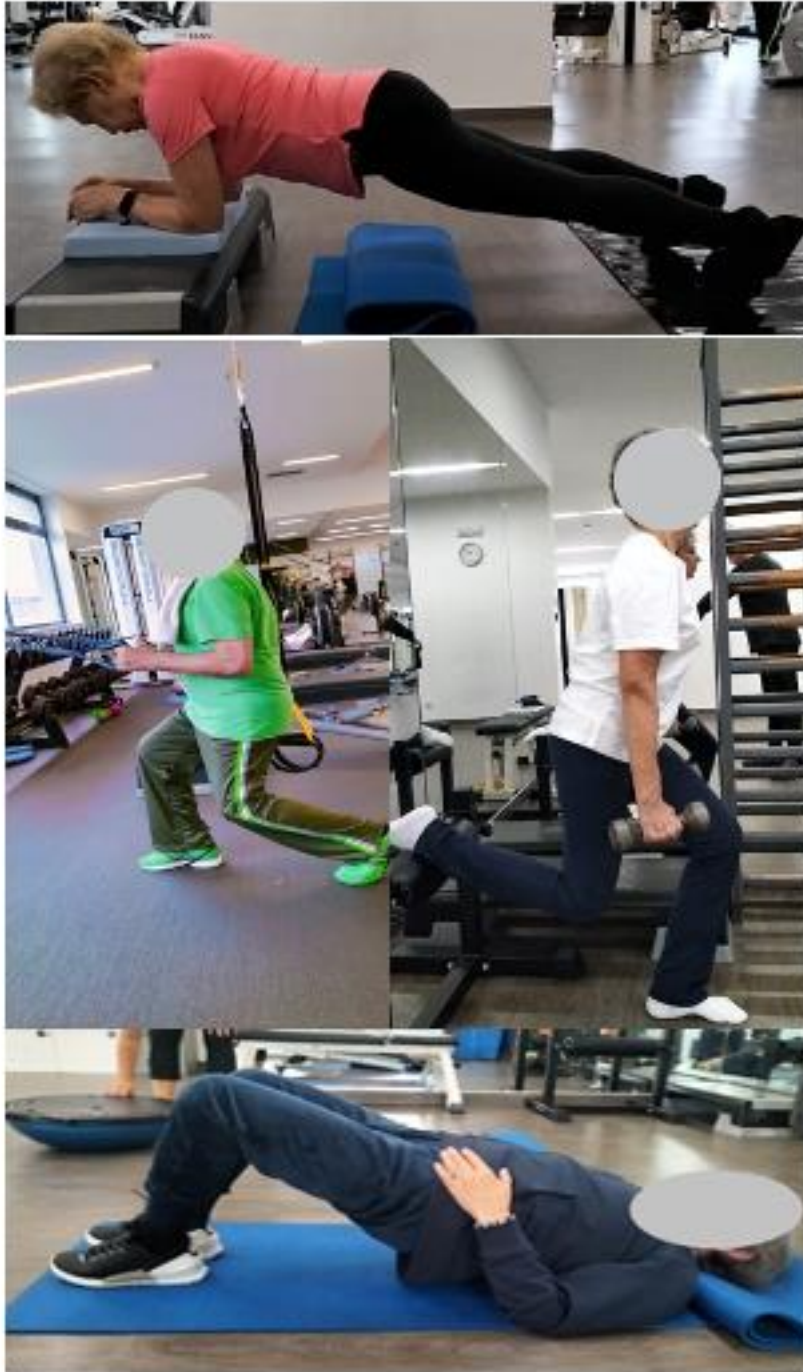
Assinado por : **AMÉLIA MARIA MONTEIRO
FERNANDES NUNES**
Num. de Identificação: BI102417849
Data: 2023.09.22 10:49:32+01'00'



(Professora Doutora Amélia Maria Monteiro Fernandes Nunes)

(Professora Auxiliar)

Anexo 4. Os exemplos práticos de exercício e de mobilidade articular.



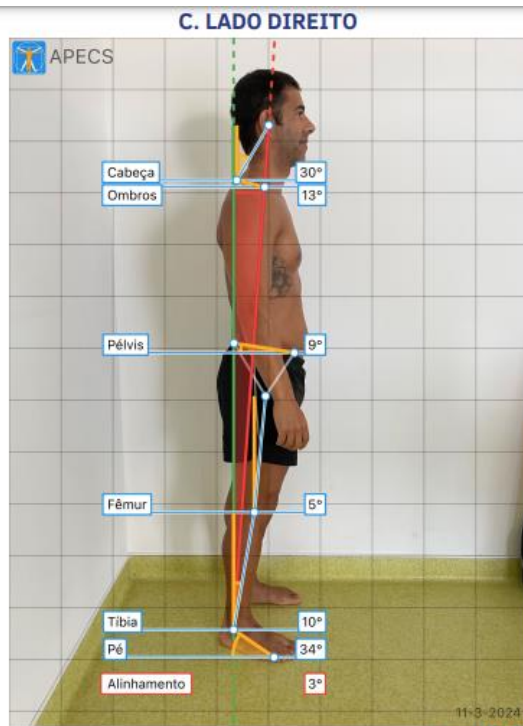


Anexo 5. Marcação corporal.



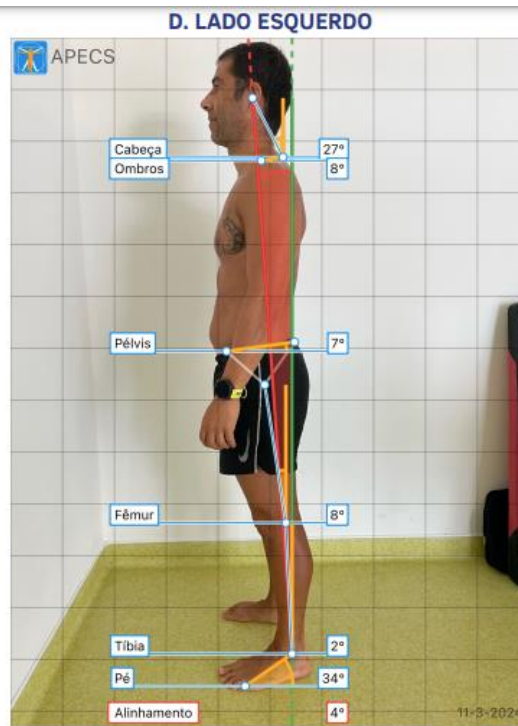
Anexo 6. Aplicação de Software.

Plano Sagital



Saneftec
www.saneftec.com

Etiqueta	PARTE	VALOR
C1	Alinhamento Corporal	3°
C2	Desplazamiento de Cabeza	30°
C3	Ângulo do ombro	13°
C4	Inclinação Pélvica	9°
C5	Joelho	5°
C6	Tíbia	10°
C7	Ângulo do Pé	34°

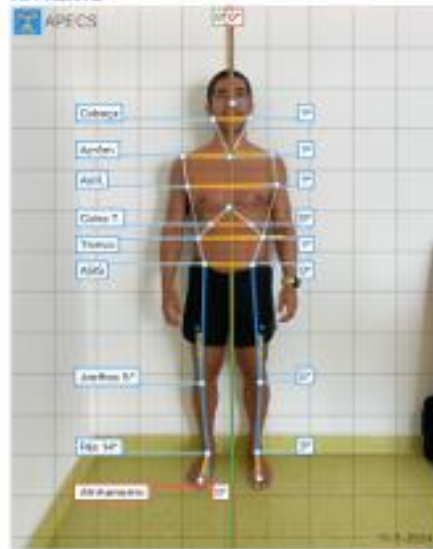


Saneftec
www.saneftec.com

Etiqueta	PARTE	VALOR
D1	Alinhamento Corporal	4°
D2	Desplazamiento de Cabeza	27°
D3	Ângulo do ombro	8°
D4	Inclinação Pélvica	7°
D5	Joelho	8°
D6	Tíbia	2°
D7	Ângulo do Pé	34°

Plano frontal.

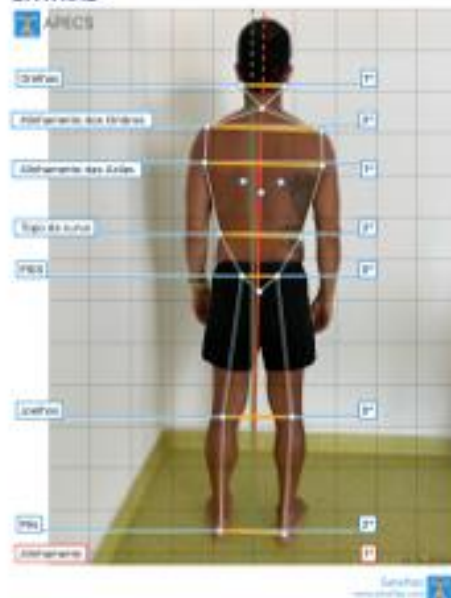
A. FRENTE



Etiqueta	PARTE	VALOR
A1	Alinhamento Corporal	0°
A2	Inclinação da Cabeça	1°
A3	Alinhamento dos Ombros	1°
A4	Alinhamento das Axilas	1°
A5	Inclinação da Caixa Torácica	0°
A6	Punta Mês Profundo no Tronco	1°
A7	Inclinação Pélvica	0°
A8	Ângulo do Joelho Direito	3°
A9	Ângulo do Joelho Esquerdo	3°
A10	Rotação do Pé Direito	14°
A11	Rotação do Pé Esquerdo	3°

Plano posterior

B. ATRÁS



Etiqueta	PARTE	VALOR
B1	Alinhamento Corporal	1°
B2	Inclinação da Cabeça	1°
B3	Alinhamento dos Ombros	2°
B4	Alinhamento das Axilas	1°
B5	Punta Mês Profundo no Tronco	2°
B6	Inclinação Pélvica	0°
B7	Joelhos	0°
B8	Pés	2°