

Estudo da influência do piso do solo na biomecânica da corrida

Ana Luísa Pereira Gonçalves

Dissertação do Trabalho de Projeto apresentado à

Escola Superior de Tecnologia e Gestão

Instituto Politécnico de Bragança

para obtenção do grau de Mestre em

Engenharia Mecânica

Este trabalho foi efetuado sob orientação de:

Professor Doutor Tiago Manuel Cabral dos Santos Barbosa

Professor Doutor João da Rocha e Silva

Outubro 2024

Agradecimentos

Durante este percurso académico são muitas as pessoas que o enriqueceram pelas quais nutro um enorme sentimento de gratidão. Começo por dedicar um agradecimento especial aos meus pais e ao meu irmão. O vosso apoio incondicional foram a base que me sustentou em cada desafio.

Ao Professor Doutor Tiago Manuel Cabral dos Santos Barbosa e Professor Doutor João da Rocha e Silva, pela disponibilidade, apoio, ajuda e, ainda, pela partilha de saberes científicos, decisivos para a realização deste trabalho. E ainda ao PROFESSOR DOUTOR MINHOTO, cuja ajuda nos ensaios ao solo foi fundamental.

Aos meus amigos, pelo apoio, pela paciência e amizade, por todas as horas de trabalho, todas as lágrimas e risos que partilharam comigo.

A todos os participantes que se disponibilizaram para realizar o ensaio. A vossa colaboração foi fundamental para a elaboração deste trabalho.

À Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança e a todos os Professores por me terem acolhido, tendo contribuído para a minha formação pessoal e profissional.

Ao diretor da escola, Emílio Garcia, pela disponibilidade do pavilhão, que nos proporcionou um espaço acolhedor para desenvolvermos o nosso trabalho.

Por fim, a todos aqueles que, apesar de não estarem aqui mencionados, de uma forma mais ou menos direta, me ajudaram a crescer e me acompanharam neste percurso. A todos: OBRIGADA!

A todos vocês, a minha sincera gratidão!

Resumo

O presente relatório surge no âmbito da unidade curricular “Dissertação/Trabalho de Projeto/estágio” inserida no plano de estudos do curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão, do Instituto Politécnico de Bragança.

A prática da corrida conquista cada vez mais adeptos, ocorrendo um aumento de procura dos locais para a prática. Esse aumento pode levar a um maior número de lesões nos membros inferiores. Uma das causas potenciais dessas lesões é a corrida em pisos distintos, o que pode ter consequências no desempenho biomecânico da corrida.

A dissertação tem como objetivo principal analisar a influência da rigidez do solo na biomecânica da corrida. Para isso, a amostra deste estudo é constituída por vinte e oito participantes, sendo catorze do sexo masculino e catorze do sexo feminino. Um participante de cada sexo realizou um teste piloto permitindo a análise do set-up e da distância a ser percorrida.

Os ensaios foram realizados em três tipos de piso: piso betuminoso, pista de atletismo com piso em tartan e pavilhão desportivo com chão de madeira e caixa de ar. Na recolha de dados biomecânicos, utilizamos dois métodos: a cinemática e a cinética. Esta última foi dividida em dois subcapítulos: o modelo de massa e molas, e a análise de força, potência e velocidade.

Para a recolha de dados, recorreremos às microgates e a filmagens, utilizando o software apropriado, Kinovea, para a análise das nossas variáveis. A comparação do desempenho biomecânico em relação aos diferentes pisos foi realizada por meio de ensaios de LFWD, feitos no ponto zero da corrida, a meio dos 25 metros e no fim dos 25 metros, como uma carga de 15 kg para estudar o módulo de deformabilidade do solo.

Para a análise dos dados da biomecânica da corrida, utilizamos um software para a análise descritiva, ANOVA e post-hoc, comparando os resultados obtidos nos três pisos diferentes em que os ensaios foram realizados.

Concluimos que o melhor piso, devido à sua rigidez seria o tartan. No entanto, alguns dos valores não foram os melhores de acordo com a literatura. Isso pode justificar-se pelo facto de que, apesar de todos os participantes praticarem algum tipo de exercício físico, não tinham técnica de corrida.

Palavra-Chave: Corrida, cinemática, cinética, pisos, LFWD

Abstract

This report is part of the “Dissertation/Project Work/Internship” curricular unit included in the syllabus for the Master's degree course in Mechanical Engineering at the School of Technology and Management of the Polytechnic Institute of Bragança.

The practice of running is gaining more and more fans, with an increase in demand for places to practice it. This increase can lead to a greater number of lower limb injuries. One of the potential causes of these injuries is running on different surfaces, which can have consequences for the biomechanical performance of running.

The main objective of this dissertation is to analyze the influence of ground stiffness on the biomechanics of running. To this end, the study sample consisted of twenty-eight participants, fourteen male and fourteen female. One participant from each gender took part in a pilot test, allowing the set-up and the distance to be covered to be analyzed.

The tests were carried out on three types of surface: tarmac, an athletics track with a tartan floor and a sports hall with a wooden floor and an air box. We used two methods to collect biomechanical data: kinematics and kinetics. The latter was divided into two subchapters: the mass and spring model, and the analysis of force, power and speed.

For data collection, we used microgates and filming, using the appropriate software, Kinovea, to analyze our variables. The comparison of biomechanical performance in relation to the different surfaces was carried out by means of LFWD tests, carried out at the zero point of the race, halfway through the 25 meters and at the end of the 25 meters, with a load of 15 kg to study the modulus of deformability of the ground.

To analyze the data on the biomechanics of running, we used software for descriptive analysis, ANOVA and post-hoc, comparing the results obtained on the three different surfaces on which the tests were carried out.

We concluded that the best surface, due to its rigidity, was tartan. However, some of the values were not the best according to the literature. This could be due to the fact that, although all the participants practiced some kind of physical exercise, they had no running technique.

Keyword: Running, kinematics, kinetics, floors, LFWD

Índice

Estudo da influência do piso do solo na biomecânica da corrida	i
Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract.....	vii
Índice	ix
Lista de Figuras	xiv
Lista de Símbolos e abreviaturas	xvi
Lista de Tabelas	xix
Capítulo 1	21
1. Introdução.....	21
1.1. Objetivos.....	22
1.1.1. Objetivo geral	22
1.1.2. Objetivos específicos	22
1.2. Hipóteses	23
1.2.1 Hipótese principal.....	23
1.2.2. Hipóteses secundárias.....	23
1.2. Motivações e significado do estudo.....	23
1.3. Estrutura Organizada	24
<i>Capítulo 2</i>	25
2. Revisão Bibliográfica	25
2.1. Definição de Biomecânica.....	25
2.2. A Marcha	26
2.3. Ciclo da Marcha.....	27
2.4. Caminhada	31
2.5. Corrida	32
2.6. Métodos para analisar a Corrida.....	33

2.6.1.	Biomecânica da Corrida	33
2.6.2.	Cinemática	34
2.6.3.	Cinética.....	34
2.6.3.1.	Forças de Reação ao Solo	35
2.6.3.2.	Força, velocidade/efetividade do sprint, potência	35
2.6.3.3.	Rigidez Vertical (Kvert), Rigidez da Perna (Kleg).....	35
2.7.	Métodos para analisar o movimento Humano	36
2.7.1.	Métodos experimentais.....	36
2.7.2.	Simulação Computacionais	37
2.7.3.	Modelos analíticos.....	37
2.8.	Pisos.....	38
2.8.1.	Sistema de Transporte.....	38
2.9.	Pavimentos Rodoviários.....	38
2.9.1.	Pavimentos Flexíveis.....	39
2.9.2.	Pavimentos Rígidos	40
2.9.3.	Pavimentos Semi-Rígidos	41
2.10.	Avaliação estrutural	42
2.11.	Light Weight Deflectometer- LWD (ensaio de campo).....	42
2.12.	A influência dos tipos de pisos na corrida	44
2.12.1.	Cimento, Asfalto.....	44
2.12.2.	Terra, areia, relva	45
2.12.3.	Pistas sintéticas, tapetes de corrida.....	45
<i>Capítulo 3</i>		46
3 Materiais e Métodos		46
3.1. Análise Biomecânica		46
3.1.1.	Amostra.....	46
3.1.2.	Estudo piloto.....	46

3.1.3. Estudo Cinemático.....	47
3.2. Análise do solo	47
3.3. Materiais e equipamentos	47
3.4. Etapas Experimentais	48
3.4.1. Estudo piloto para definição do protocolo de ensaio.....	48
Definição dos parâmetros cinemáticas a analisar no ensaio.....	48
3.5. Protocolo experimental.....	48
3.6. Modelação	49
3.6.1. Massas e Molas.....	49
3.6.2. Força, Potência e Velocidade.....	50
3.7. Procedimentos estatísticos.....	53
<i>Capítulo 4</i>	54
4 Resultados.....	54
4.1. Variáveis Cinemáticas.....	54
4.2. Variáveis cinéticas	56
4.2.1. Massa e Molas	56
4.2.2. Força, Potência, Velocidade.....	58
4.3. Ensaio do LFWD	60
<i>Capítulo 5</i>	64
5. Discussões dos Resultados	64
5.1. Variáveis Cinemáticas.....	64
5.2. Variáveis Cinéticas	65
5.2.1. Massa e Molas	65
5.2.2. Força, Potência, Velocidade.....	66
5.3. Ensaio do LFWD	67
Pista de atletismo	67
Pavilhão	68

Alcatrão	68
Comparação dos 3 pisos	68
5.4. Comparação dos pisos com o comportamento Biomecânico	69
<i>Capítulo 6</i>	70
6.1. Aplicações.....	70
6.2. Limitações	70
6.3. Conclusão	71
<i>7. Bibliografia</i>	73
Apêndice 1	80

Lista de Figuras

Figura 1- Ciclo de marcha da perna direita, com fase de apoio e de balanço e indicação das subfases e rotação dos segmentos anatómicos (Completo & Fonseca, 2011)	27
Figura 2- Representação das subfases do ciclo da marcha (Completo & Fonseca, 2011).	28
Figura 3- Parâmetros do ciclo da marcha (Completo & Fonseca, 2011).....	29
Figura 4- Ciclo da corrida (Brochado, 2016)	33
Figura 5- Seção transversal de um pavimento flexível (Kolodi, 2023).....	39
Figura 6- Seção transversal usual de um pavimento rígido (Huang, 2004).	41
Figura 7- Seção transversal usual de um pavimento Semi-Rígido (Plati, 2019).....	41
Figura 8- Representação esquemática do Light Weight Deflectometer (Adão & Adão, 2003).....	43
Figura 9- Gráfico do Módulo de Elasticidade LFWD nos 3 pontos para pista de atletismo	61
Figura 10- Gráfico do Módulo de Elasticidade LFWD nos 3 pontos para o pavilhão ...	62
Figura 11- Gráfico do Módulo de Elasticidade LFWD nos 3 pontos para o alcatrão	63
Figura 12- Gráfico do Módulo de Elasticidade LFWD nos diferentes pisos	63

Lista de Símbolos e abreviaturas

BW Peso corporal ou Body Weight

s Deformação do pavimento

ΔL Deslocamento da perna

ΔY Deslocamento máximo

η^2 Eta quadrado parcial

F0 Força máxima teórica

Fmax Força máxima teórica

FV Slope Força potência velocidade em Slope

Drf Força da resistência dinâmica

kN kilo Newton

Kleg Rigidez da perna

Kvert Rigidez vertical

LWD Light Weight Deflectometer

m Metros

m² Metro quadrado

m/s Metro por segundo

m/s² Metro por segundo ao quadrado

mm/s Milímetros por segundo

MN/m² meganewton por metro quadrado

E_{vd} Módulo de elasticidade dinâmico

N Newton

N/kg Newton por quilograma

RF max Força da resistência máxima

P_{max} Potência máxima teórica

S_{fv} Relação força-velocidade

s Segundos

t_c Tempo de contato

t_f Tempo de voo

v Velocidade de corrida

v Velocidade do impacto

V₀ Velocidade máxima teórica

W Watt

W/kg Watt por quilograma

kg Quilograma

Lista de Tabelas

Tabela 1- Parâmetros de tempo e distância	29
Tabela 2- Resultados das variáveis cinemáticas pela análise descritiva e pela Anova...	55
Tabela 3-Resultados da análise post-hoc das variáveis cinemáticas	55
Tabela 4- Resultados das variáveis cinéticas para massas e molas pela análise descritiva e pela Anova	57
Tabela 5- Resultados da análise post-hoc das variáveis cinéticas para massas e molas.	57
Tabela 6- Resultados das variáveis cinéticas para Força, Potência, Velocidade pela análise descritiva e pela Anova.....	59
Tabela 7- Resultados da análise post-hoc das variáveis cinéticas para Força, Potência, Velocidade	59
Tabela 8- Resultados do ensaio LFWD para a pista de atletismo	60
Tabela 9- Resultados do ensaio LFWD para o pavilhão	61
Tabela 10- Resultados do ensaio LFWD para o alcatrão.....	62

Capítulo 1

1. Introdução

O presente relatório surge no âmbito da unidade curricular “Dissertação/Trabalho de Projeto/estágio” inserida no plano de estudos do curso de Mestrado em Engenharia Mecânica, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão, do Instituto Politécnico de Bragança.

O principal objetivo deste projeto foi compreender como o sistema biológico (i.e., o corpo) reage durante a corrida em diferentes pavimentos, nomeadamente tartan, asfalto e pavilhão desportivo.

A corrida no dia a dia, seja de forma profissional, como exercício físico regular, ou esporadicamente, varia de pessoa para pessoa. A atividade física, em particular a corrida, contribui para a melhoria da saúde e qualidade de vida, sendo esta uma das principais formas do movimento humano. A corrida pode ser praticada em lazer ou para manter a forma física. Contudo, a avaliação biomecânica revela-se importante para a melhoria do seu desempenho (Brochado, 2016).

Nos últimos anos, a corrida, tem sido objeto de estudos tanto para explicar a locomoção humana como para progredir nos modelos biomecânicos que tem vindo a otimizar o rendimento desportivo (Nogueira, 2008).

Devido aos movimentos repetitivos associados ao desporto, em particular à corrida, é fundamental uma cuidadosa seleção do calçado, baseada na biomecânica do atleta e no tipo de superfície onde se realiza a corrida. Devem ser consideradas as necessidades de cada atleta, dependendo de fatores intrínsecos, nomeadamente, a idade, o sexo, anatomofisiologia, e fatores extrínsecos, como o clima, e o tipo de pavimento (Pinto, 2014).

Existem diferentes tipos de pisos para a prática da corrida, tais como ginásio/pavilhão, piso betuminoso, habitualmente designado na linguagem corrente por alcatrão, relva, areia, terra batida e tartan.

A corrida é uma forma popular de exercício físico, que como referido anteriormente, de acordo com o piso escolhido terá influência na biomecânica da corrida. A areia, relva e o asfalto, são os pisos mais escolhidos por atletas de alto rendimento devido ao fortalecimento muscular que proporcionam à redução do risco de lesões músculo-esqueléticas. Na areia a corrida prolongada pode aumentar o risco de lesões músculo-esqueléticas. Por sua vez, o asfalto, devido à sua rigidez, provoca grande impacto nos joelhos, tornozelos, costas, até nos pés. Na terra batida sendo que tem um menor impacto devido à menor rigidez, mas devido à irregularidade do pavimento devem ser evitados devido as lesões músculo-esqueléticas. O tartan, devido à sua composição, tem a combinação ideal na rigidez e elasticidade, oferecendo vantagens no desempenho dos corredores (Assessocor, 2016).

O objetivo desta dissertação foi avaliar a influência dos diferentes tipos de pisos na biomecânica da corrida.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

O principal objetivo do estudo foi analisar a influência da rigidez do solo na biomecânica da corrida.

1.1.2. Objetivos específicos

Foram definidos como objetivos secundários ou específicos:

- Comparar a cinemática do sprint em 3 pavimentos diferentes (piso de pavilhão desportivo, alcatrão, tartan), nomeadamente parâmetros espaço-temporais do ciclo da marcha (corrida);

- Modelo molas e massas, onde analisamos diversos parâmetros técnicos como a resistência do corpo ao deslocamento vertical após a aplicação da força de reação no solo (K_{vert}), e a resistência à mudança do comprimento da perna após a aplicação de forças externas (K_{leg});

- Modelo do Samozino para estimar a força, potência e efetividade do sprint, em que analisamos a velocidade máxima teórica (V_0), força máxima teórica (F_0), declive da reta da relação força-velocidade (S_{fv}) e a potência máxima teórica (P_{max}) de cada sprint.

1.2. Hipóteses

1.2.1 Hipótese principal

O principal objetivo foi encontrar o melhor piso para praticar a corrida, devido a estrutura do pavimento e características do mesmo, a corrida no tartan apresentará os melhores resultados.

1.2.2. Hipóteses secundárias

Como o impacto da corrida é menor, obtém-se uma velocidade máxima mais elevada face aos outros pisos, o que faz variar as seguintes variáveis:

- Velocidade máxima teórica (V_0), com V_0 maior no piso do pavilhão e menor na pista;

- Força máxima teórica (F_0), com F_0 menor no piso do pavilhão e maior na pista;

- Declive da reta da relação força-velocidade (S_{fv});

- Potência máxima teórica (P_{max}), com P_{max} menor no piso do pavilhão e maior no alcatrão;

- Força de reação no solo (K_{vert}), com K_{vert} maior no piso do pavilhão e menor na pista;

- Resistência à mudança do comprimento da perna após a aplicação de forças externas (K_{leg}), com K_{leg} maior no piso do pavilhão e menor no alcatrão, está diretamente associado a velocidade do sprint temos os melhores resultados de cada sprint.

1.2. Motivações e significado do estudo

O principal objetivo deste projeto foi compreender como o sistema biológico (i.e., o corpo) reage durante a corrida em diferentes pavimentos, nomeadamente tartan, alcatrão e pavilhão desportivo.

Cada sujeito correu nos três pisos diferentes para uma análise comparativa entre eles. A amostra foi constituída por 28 participantes, possibilitando uma comparação entre a amostra e o piso.

Além disso, procurou-se verificar como as diferenças na estrutura dos pavimentos influenciam os resultados. Observou-se que a escolha do piso afeta não só o rendimento, mas também o risco de lesões músculo-esqueléticas. Pavimentos com diferentes estruturas e níveis de rigidez geram impactos variados na corrida, podendo aumentar ou diminuir a probabilidade de lesões, assim como o desempenho dos atletas.

1.3. Estrutura Organizada

Este trabalho encontra-se organizado por capítulos:

No **Capítulo 1**, apresenta-se a introdução do estudo, incluindo os objetivos, hipóteses e motivações bem como a sua estrutura organizada.

No **Capítulo 2**, são apresentados os conceitos teóricos, abordando os temas fundamentais para a compreensão e execução deste trabalho, tais como o funcionamento da marcha, o ciclo da marcha, a corrida, o ciclo da corrida, os tipos de pisos, a estrutura dos pavimentos, entre outras.

No **Capítulo 3**, descreve-se a amostra, os materiais e métodos utilizados bem como os objetivos específicos deste trabalho.

No **Capítulo 4**, encontram-se os resultados obtidos com a utilização de cada método.

No **Capítulo 5**, discutem-se os resultados obtidos com a utilização de cada método.

No **Capítulo 6**, apresentam-se as conclusões da investigação, incluindo as observações feitas ao longo do estudo, as limitações e dificuldades sentidas.

No **Capítulo 7**, apresenta-se a bibliografia utilizada.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Definição de Biomecânica

Etimologicamente, podemos decompor a palavra Biomecânica em duas partes. O prefixo da palavra “bio”, provém de biológico, relacionando-se com os seres vivos, enquanto sufixo “mecânica” refere-se à aplicação dos princípios da Mecânica a esses seres vivos (Barbosa, 2010).

A biomecânica é o estudo de comportamentos de sistema biológicos tendo por base os conceitos e as leis da mecânica (Calhau, Pisco, Valente, & Santos, 2007-2008).

Cruza diversas áreas sendo um subdomínio da biofísica que utiliza leis, meios e métodos da mecânica para o estudo de sistemas biológicos, incluindo seres humanos. A biologia foca-se no estudo da vida e a mecânica, apresentando-se como um ramo da física que identifica a descrição do movimento e das forças que criam esse mesmo movimento (Vilas-Boas, 2016).

É, ainda, a ciência que estuda as forças internas e externas que atuam no corpo humano e, conseqüentemente os efeitos provocados pelas mesmas. Sendo uma definição utilizada para a aplicação de sistemas biológicos, corpo humano, e não uma definição mecânica. Definindo a biomecânica com dois campos de estudos distintos: forças internas, externas e, as suas repercussões. Assim sendo, podemos distinguir a existência da biomecânica interna e externa (Barbosa, 2010).

Segundo, (Amadio & Serrão, 2007), a biomecânica está dividida em duas partes, biomecânica interna e a biomecânica externa (Amadio & Serrão, 2007; Barbosa, 2010). A biomecânica interna preocupa-se com as forças internas, que se focam nas forças transmitidas pelas estruturas biológicas do interior do corpo, tais como forças nos tendões musculares, forças nos tendões, ligamentos, ossos e cartilagens articulares, entre outras. A determinação das forças internas dos músculos e das articulações representam um problema metodológico que ainda não foi totalmente resolvido na biomecânica, mas seguramente constituem-se na base fundamental para o seu melhoramento de compreensão de critérios para o controlo do movimento. A biomecânica externa

representa os parâmetros de determinação quantitativa e ou qualitativa referente às mudanças de lugar e posição do corpo humano em movimentos desportivos, com auxílio de medidas descritivas cinemáticas e /ou dinâmicas, as que se referem às características observáveis exteriormente na estrutura de movimento (Carlos Amadio, 2007). Tornando assim uma análise possível de qualquer tipo de movimento realizado pelo corpo humano, de forma aproximada, dada a enorme complexidade do sistema biológico (Calhau, Pisco, Valente, & Santos, 2007-2008).

2.2. A Marcha

A marcha é uma forma de locomoção humana, sendo uma das atividades mais importantes realizadas pelo ser humano (Estrázulas, 2009). O ser humano desde sempre se deslocou de um ponto para o outro na forma bípede. A locomoção pode ser definida como “andar” sendo uma atividade comum a todas as idades, etnias e sexos.

A marcha, como referida anteriormente, é a forma de deslocação na posição bípede do ser humano, ação pela qual o corpo se move nos espaços aquático e terrestre. Este movimento é conseguido através dos movimentos coordenados dos segmentos corporais, aproveitando a vantagem de uma interação de forças internas e externas, e é acompanhada pela ação do sistema neuro-músculo-esquelético (Sousa, 2010).

A marcha normal, vem sido descrita como uma série de movimentos alternados e ritmos das extremidades do tronco que faz com que o centro de gravidade e o corpo se movam para a frente (Osorio & Valencia 2013).

Durante a execução da marcha, de um indivíduo para o outro, existem pequenas diferenças de execução, ou seja, da biomecânica da marcha. O ciclo de marcha começa quando o pé entra em contato com o solo e termina com o próximo contato com o chão do mesmo pé. Os dois principais componentes do ciclo da marcha são: a fase de apoio e a fase de balanço. Uma encontra-se na fase de apoio quando está em contato com o solo e na fase de balanço quando não está em contato com o solo (Osorio & Valencia, 2013).

A marcha normal é a forma de deslocamento, com avanço alternado dos membros inferiores tendo como características o deslocamento com segurança e economia de energia. O conjunto de características universais que são comuns à marcha humana, dão origem à chamada marcha normal. Por oposição à marcha normal, podemos referir a marcha patológica, sempre que existir uma perda de pelo menos um destes princípios.

De modo a obter uma melhor compreensão do ciclo da marcha explicar-se-á em seguida de forma mais detalhada. Sendo que temos dois casos na marcha a caminhada em que existe apoio duplo e a corrida que não existe apoio duplo, uma vez que existe um momento que encontramos os dois pés no ar.

2.3. Ciclo da Marcha

O ciclo da marcha é a sequência de movimentos que ocorrem entre os dois contatos sucessivos do mesmo pé com o solo, como está representado na Figura 1. Este começa quando um dos pés (por exemplo o calcanhar) contacta o solo, suportado pelo membro inferior direito, o peso corporal desloca-se para a frente à medida que o membro inferior esquerdo flete na anca e nos joelhos e se inclina para a frente, assim atinge o calcanhar do pé esquerdo no chão. O peso desloca-se para a frente na perna esquerda, enquanto a perna direita se inclina para a frente e atinge novamente o solo. Assim sendo, enquanto uma está na fase de apoio, a perna direita esta na fase de balanço. Sendo estas as duas principais fases do ciclo da marcha, a fase de apoio é designada na que o pé está em contato com a superfície de apoio, e a fase de balanço, que corresponde ao período em que o pé não está em contato com a superfície de apoio, esta fase termina quando o calcanhar entrar em contato novamente com o solo (Baker, 2017).

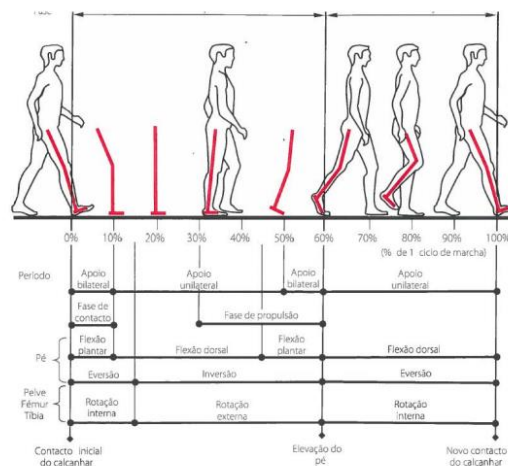


Figura 1- Ciclo de marcha da perna direita, com fase de apoio e de balanço e indicação das subfases e rotação dos segmentos anatómicos (Completo & Fonseca, 2011) .

O ciclo da marcha, tem a duração aproximada de um segundo, sendo que a fase de apoio tem uma ocupação entre os 51% a 60% do ciclo e a fase de balanço entre 38% e 40% do ciclo em jovens saudáveis com uma velocidade auto-selecionada. Cada fase

destas esta subdividida em subfases (Figura 2). Na fase de apoio, está dividida em diferentes períodos, sendo eles: o contato inicial, apoio bilateral, apoio unilateral e propulsão. No início do período de contato acontece quando o pé atinge o solo, como referido anteriormente, e termina aquando da subida do pé contralateral. Este período também é dominado de apoio duplo e recepção da carga, sendo que ocupa cerca de 10% do ciclo da marcha e 18% da fase de apoio. As principais funções deste período são a dissipação das forças resultantes do contato do calcanhar com o solo e a sua adaptação às irregularidades. No instante em que o calcanhar contata com o solo, a ação da força de reação deste provoca a rotação interna de todo o membro inferior em conjunto com o movimento de flexão plantar e eversão do pé. O período de apoio unilateral inicia-se após a elevação do pé contralateral e termina com o início da elevação do calcanhar do pé, designada como a fase média de apoio (Figura 2). Nesse período, todos os membros inferiores na execução da propulsão está em extensão e realiza uma ligeira flexão. Na fase inicial do balanço iniciamos aquando da elevação do pé de apoio e termina com ambos os pés em posição contígua. Já a fase média de balanço termina com a tibia do pé de apoio na posição vertical, a fase final de balanço termina com o contato do calcanhar do pé. No decorrer da fase de balanço, o avanço do membro é facilitado pela posição fletida da articulação do joelho (Completo & Fonseca, 2011).

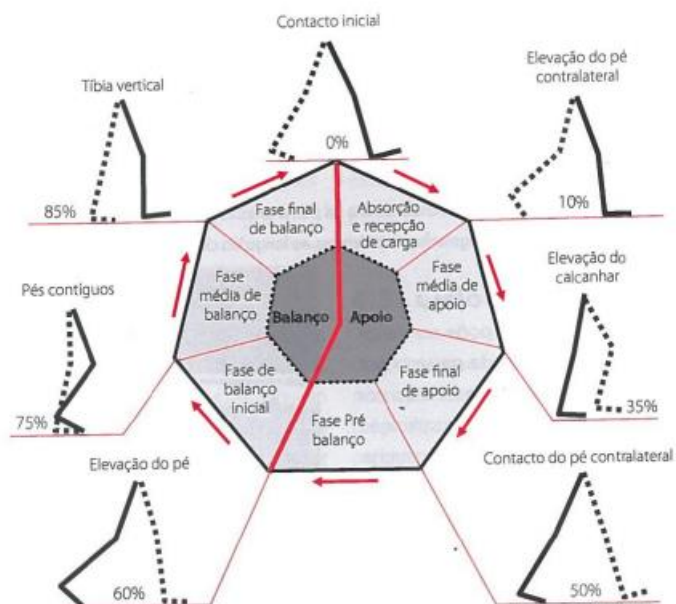


Figura 2- Representação das subfases do ciclo da marcha (Completo & Fonseca, 2011).

Existem diferentes parâmetros relacionados com o ciclo da marcha, dentro desses parâmetros encontra-se os espaço-temporais, apresentados na Tabela 1 (Sousa, 2010). Existindo variáveis que devem ser consideradas para o estudo do ciclo da marcha, como por exemplo no parâmetro do tempo devemos ter em atenção o tempo do apoio simples e duplo, o tempo de balanço entre outros, em relação ao parâmetro da distância devemos ter em atenção o comprimento do passo, da passada, entre outros. Sendo que todos estes parâmetros estão representados na Tabela 1 (Sousa, 2010; Silva, 2015).

Na Figura 3 ilustra a diferença entre o comprimento do passo e o comprimento da passada e a largura do passo:

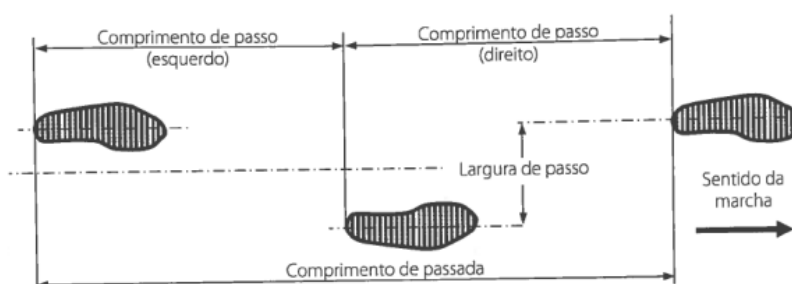


Figura 3- Parâmetros do ciclo da marcha (Completo & Fonseca, 2011).

Tabela 1- Parâmetros de tempo e distância

Parâmetros temporais		Parâmetros espaciais	
Variáveis	Definição	Variáveis	Definição
Tempo de apoio Simples	Período em que apenas um pé está apoiado no solo.	Comprimento do passo	Distância horizontal entre dois contatos sucessivos de pés opostos, ou seja, distância entre o contato inicial do calcanhar de um pé até ao contato do calcanhar do pé oposto.

Tempo de apoio duplo	Período em que os dois pés encontram-se em contato com o solo.	Comprimento da passada (ou distância de ciclo)	Distância entre dois acontecimentos sucessivos acompanhados pelas mesmas extremidades, assim sendo, é a distância que ocorre entre o contato inicial do calcanhar de um pé, até o próximo entrar em contato do mesmo calcanhar
Tempo de Balanço	Período em que o pé está no ar, inicia quando os dedos começam a deixar o solo até o início do contato do calcanhar no solo.	Grau de deslocamento dos dedos	Ângulo formado pela colocação do pé.
Tempo de passo	Tempo percorrido num único passo.	Largura do passo	Distância paralela do ponto de contato do calcanhar de um pé com o solo até a linha de progressão à frente do ponto de contato do outro pé.
Tempo da passada	Quantidade de tempo decorrido na distância linear entre dois acontecimentos		

	sucessivos que são realizados pelo mesmo membro, ou seja, o tempo entre o contato inicial do calcanhar no chão e quando esse calcanhar voltar a tocar novamente no chão.		
Cadência	Número de passos realizados por unidade de tempo.		
Velocidade	Taxa de deslocamento realizado por unidade de tempo.		

2.4. Caminhada

A caminhada é a forma principal que o ser humano tem se mover numa direção específica. Sendo que a caminhada, pode ser dividida em duas fases: de apoio e de balanço. A fase de apoio acontece quando o calcanhar entra em contacto com o piso. A fase de balanço ocorre quando a fase de apoio termina (Spiegato, s.d.). Ainda existem períodos de suporte duplo, nos quais ambas as pernas fazem contacto com o solo, normalmente este período compreende aproximadamente 10% do ciclo da marcha, mas aumentam com compensação pela instabilidade em muitas marchas (Baker, 2017).

Este período tem uma ocupação de 20% do ciclo da marcha e 30% da fase de apoio, o peso do indivíduo recai sobre um dos membros, enquanto o outro está na fase de balanço. O período de propulsivo inicia-se na elevação do calcanhar do pé apoiado e termina com a elevação da zona digital do mesmo, esta fase tem a ocupação de 30% do

ciclo de marcha e 50% da fase de apoio e engloba a fase de apoio final e a fase de pré-balanço (Completo & Fonseca, 2011).

2.5. Corrida

A corrida é a sequência de gestos que ocorre, em diversos ciclos repetitivos, que correspondem a um conjunto de movimentos simples, sendo que a sua execução depende de diversos fatores. Podemos classificar a execução como uma atividade de deslocamento natural do ser humano, fatores como a escolha adequada da amplitude e frequência de passada pode influenciar o seu desempenho (Brochado, 2016).

Existe uma diferença substantiva entre a marcha e a corrida que ocorre quando o período de duplo apoio em que ambos os pés, em contato com o solo, dão lugar a um período de flutuação que se chama fase de voo que é identificado pelo não contato com o solo de ambos os pés. Podemos então dizer que a corrida é classificada por duas fases distintas: fase de apoio e fase de voo (Bruneira, 1998).

À medida que a velocidade da locomoção aumenta, o ser humano passa da técnica de andar para a de correr. Apesar de serem movimentos da mesma natureza, estas duas atividades têm características distintas (Brochado, 2016).

Alguns estudos sugerem que existe uma variação na transição da corrida de acordo com às características do indivíduo, como por exemplo, altura, condições físicas e a técnica de cada indivíduo. Esta transição ocorre devido as mudanças mecânicas e eficiência energética do movimento. Durante a caminhada o padrão de movimento é energeticamente eficaz a velocidade baixa. Mas à medida que aumentamos a velocidade, a caminhada tem menor eficácia, sendo difícil de manter, ocorrendo uma transição natural para a corrida (Monteiro & Soares de Araújo, 2001; Fukuchi & Duarte, 2016).

Podemos considerar que caminhar e correr são mais eficientes em velocidades, tais como, abaixo de 6 quilômetros por hora e acima de 8 quilômetros por hora respectivamente (Monteiro & Soares de Araújo, 2001). Até obtermos uma velocidade de 2 metros por segundo, consideramos que o modo de locomoção é a caminhada, acima desse valor dá-se a transição para a corrida (Monteiro & Soares de Araújo, 2001).

Diferenciamos caminhar de correr pelo período de duplo apoio: no andar, ambos os pés estão apoiados no solo no período de duplo apoio e, na corrida, não existe esse período, passando a existir um período de duplo voo, em que ambos os pés estão no ar (Fukuchi & Duarte, 2016).

A distância percorrida por cada passo dado durante a corrida é classificada por amplitude da passada ou comprimento da passada e o número de passos dados num período é a frequência da passada. Sendo que, a velocidade é determinada pelo produto da frequência pela amplitude da passada. O ciclo inicia quando um dos pés entra em contato com o solo e termina quando o mesmo pé toca na superfície e a passada termina com o pé contralateral toca na superfície. O principal elemento para atingir a eficiência técnica e a otimização da corrida é a manutenção, durante o maior tempo possível da frequência e do comprimento de passada ao longo da corrida. (Rodrigues, 2019).

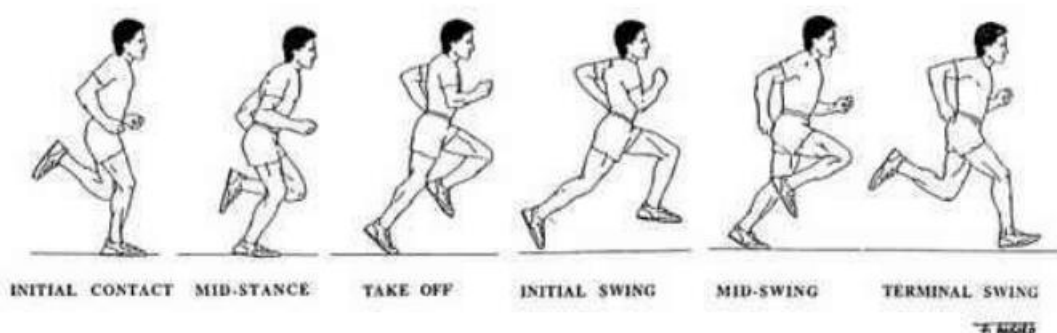


Figura 4- Ciclo da corrida (Brochado, 2016).

2.6. Métodos para analisar a Corrida

2.6.1. Biomecânica da Corrida

A corrida representa a forma de locomoção altamente complexa que requer acentuada coordenação de movimento (Brochado, 2016).

O corpo humano pode ser definido fisicamente como um sistema complexo de segmentos articulares em equilíbrio estático ou dinâmico, onde o movimento é causado por forças internas atuando fora do eixo articular, provocando deslocamentos angulares dos segmentos, mas também pelas forças externas ao (Brochado, 2016).

Na biomecânica da corrida é definindo primeiramente o ciclo de marcha já anteriormente referido, sendo que andar ou correr representa movimentos que ocorrem de forma cíclica e repetitiva (Fukuchi & Duarte, 2016).

A corrida tem como característica uma sequência de saltos, com existência de duas fases: A fase de apoio simples e a fase aérea. Na corrida não temos a fase onde há apoio duplo. O período que ambos os membros estão em contato com o solo é conhecido como duplo apoio. Com o aumento da velocidade de deslocamento, os períodos de apoio tornam-se cada vez mais frequentes e as amplitudes de deslocamento dos membros superiores cada vez maiores, até que o indivíduo inicia a corrida. A corrida, possui uma característica importante que diferencia a marcha, que é a existência de uma fase onde nenhum dos membros inferiores tem contato com o solo, conhecida como fase de duplo balanço ou aéreo (Brochado, 2016).

2.6.2. Cinemática

A cinemática na biomecânica permite o cálculo da duração, posição, do deslocamento, da velocidade e da aceleração do corpo ou dos seus segmentos, tendo como principal foco a descrição de como o corpo se move. Os parâmetros cinemáticos para análise da velocidade da corrida incluem o comprimento e a frequência do passo e da passada, deslocamentos verticais do corpo, bem como todas as variáveis espaços temporais-derivados das mesmas. Algumas das variáveis angulares que podem ser analisadas na corrida são: ângulo dos tornozelos, ângulo interno do joelho, ângulo interno entre o quadril e a linha vertical que passa pelo centro das articulações e o ângulo de inclinação do tronco (Rodrigues, 2019; Fukuchi & Duarte, 2016).

Na análise por sensores utiliza-se uma abordagem tridimensional dos movimentos, que nos oferece uma maior precisão e avaliações mais complexas (Krzyszowski, Switonski, Kepsk, & Calafate, 2022)

2.6.3. Cinética

A cinética é o que estuda as forças que afetam o movimento. Especificamente, transdutores são utilizados para medir as forças provocadas. No movimento humano as forças são classificadas como internas e externas. As internas são as que atuam dentro do

corpo a ser estudado (Fukuchi & Duarte, 2016). Como, os músculos, ligamentos e outros tecidos internos exercem força nas articulações (BMClab, 2015; Fukuchi & Duarte, 2016). Pelo contrário, forças externas são as que agem no corpo devido a interação com o ambiente externo. Como por exemplo, contato com o solo e forças gravíticas. O modo como as forças atuam no corpo respondem aos movimentos que visualizamos (Fukuchi & Duarte, 2016).

2.6.3.1. Forças de Reação ao Solo

A força de reação ao solo é a definição da resposta superficial do apoio para as ações do corpo sobre o mesmo. Um dos instrumentos de medida mais conhecidos é a placa de forças. No decorrer da fase de apoio da corrida que acontece devido ao stress do corpo sobre o sistema músculo-esquelético, sendo compreendido pela força de reação ao solo como um dos causadores de lesões na corrida devido ao seu impacto (Fukuchi & Duarte, 2016).

2.6.3.2. Força, velocidade/efetividade do sprint, potência

Na medição da força sobre o sistema músculo-esquelético, por norma é utilizada a dinâmica inversa. A dinâmica inversa calcula as forças pelo modelo físico-matemático do corpo humano e medidas experimentais das forças externas, posição, velocidade e aceleração do corpo. Sendo estas variáveis descodificados através das equações de Newton/Euler (Fukuchi & Duarte, 2016). A eficácia do sprint depende da distância da corrida como também a prática do mesmo. Em sprints mais curtos aumentam a eficiência da corrida (Leyva, Wong, & Brown, 2017).

A potência é o método mecânico que mede o esforço e a intensidade da corrida, indicando a quantidade de energia consumida durante a prática da corrida, considerando a inclinação do piso, tipo de piso e condições atmosféricas. Sendo ela dividida em diferentes parâmetros, como por exemplo, potência de forma que esta relacionada com o movimento vertical do corpo. Podendo ser calculada por modelos matemáticos ou até mesmo por aplicativos (Iyer, 2020).

2.6.3.3. Rigidez Vertical (Kvert), Rigidez da Perna (Kleg)

No estudo em questão o sistema da parte inferior do corpo humano atua como uma mola na fase de apoio da corrida. Na rigidez vertical e do membro inferior representam o

centro de massa do corpo inteiro e a carga e resposta do sistema perna-mola durante a corrida.

Sendo que na relação da rigidez vertical e a corrida desempenha um comportamento elástico no impacto com o solo, tendo referência à resistência à deformação na direção vertical e afetando a eficiência da corrida (Jin & Hahn, 2022).

Na variável da rigidez da perna no decorrer da corrida temos associados vários fatores, tais como a adaptação do corpo no impacto da corrida e na forma como os músculos absorvem e transferem a energia em cada passada. Isto acontece devido a influência da força muscular, pela energia cinética e da velocidade. A medida que a velocidade da corrida aumenta, temos um aumento da força de reação vertical, mas uma diminuição na rigidez das pernas (Filho, 2020).

2.7. Métodos para analisar o movimento Humano

Na análise de métodos do movimento humano, temos métodos qualitativos e quantitativos. Nesta análise, usamos métodos quantitativos, uma vez que recorreremos a softwares, à análise de vídeo e às Timing Gate.

2.7.1. Métodos experimentais

Na parte da análise de métodos experimentais temos a avaliações como a cinemática, dinamometria, eletromiografia.

A cinemática já como anteriormente referida avalia o movimento sem considerar forças envolvidas, sendo usada para cálculos de deslocamento, velocidade, aceleração presentes no movimento, sendo baseado em câmaras através do registo de vídeo (Completo & Fonseca, 2011). Uma vez que com o desenvolvimento da tecnologia os parâmetros anteriormente referidos já podem utilizar sensores inerciais e câmaras de infravermelhos para a análise do movimento do corpo humano. Os sensores inerciais fornecem dados precisos sob a orientação do movimento dos segmentos do corpo humano, por sua vez às câmaras de infravermelhos mostram o movimento do corpo em tempo real (Milosevic, Leardini, & Farella, 2020). Além disto, já existem aplicações para telemóveis tablets/ipad's que já capturam e monitorizam o movimento humano, tornando essas análises mais acessíveis para o comum cidadão.

Na dinamometria temos a técnica de medir a força muscular e o contacto do corpo com o solo durante a atividade física. Na qual uma das técnicas fundamentais é a utilização da placa de forças. Que retira dados como a força de reação ao solo, potência e desempenho muscular (Barbosa, 2010).

A eletromiografia permite o estudo da atividade neuromuscular, sendo representada por um gráfico da atividade elétrica do músculo. A eletromiografia consiste na detecção e recolha de uma corrente elétrica, com a origem nas fibras musculares. A recolha dos dados de eletromiografia consiste na colocação de elétrodos sobre a pele (eletromiografia superficial) ou no interior do músculo (eletromiografia de profundidade) (Barbosa, 2010).

2.7.2. Simulação Computacionais

As simulações computacionais vieram trazer um grande desenvolvimento a nível do estudo biomecânico na recolha e análise de dados, como por exemplo na dinâmica da corrida, mostrando-os com clareza. Estimando dados como forças, forças de reação ao solo, velocidades, entre outros (Fukuchi & Duarte, 2016; Liu, Cooper, & Ballard, 2021).

Nas simulações computacionais temos o software OpenSim que é utilizado para a criação de modelos musculoesqueléticos, prever forças musculares e estuda o controlo neuromuscular (Paulo).

2.7.3. Modelos analíticos

Nos modelos analíticos temos ferramentas matemáticas e computacionais na análise biomecânica que analisam os movimentos com muita precisão. No qual incluem métodos cinemáticos, dinâmica inversa para termos a dinâmica do movimento, como forças (Colyer, Evans, Cosker, & Salo, 2018).

Na parte dos modelos analíticos, temos modelos como massa-mola, que calcula variáveis cinéticas na análise do movimento do corpo humano, durante a prática da corrida. Onde se analisa parâmetros como velocidade do sprints, força e potência. Por exemplo no modelo do Samozino ele utiliza medições biomecânicas simples como a posição do centro de massa e a dinâmica corporal para retirar as suas variáveis em estudo e tornar, por exemplo o atleta mais eficiente (Jean-Benoit & Pierre, 2018; Thomas, David, & Gertjan, 2019).

2.8. Pisos

2.8.1. Sistema de Transporte

Para a sociedade se desenvolver economicamente, é essencial que o sistema de transporte seja consistente, sendo que permite o deslocamento e a acessibilidade de cargas e pessoas, importante para a sua competitividade e seu crescimento. O transporte é definido por uma atividade necessária para a sociedade, trazendo uma vasta variedade de benefícios, que possibilita a circulação das pessoas e das mercadorias, sendo utilizadas por consequência, a realização de atividades sociais e económicas desejadas (Vasconcellos, 2006).

A qualidade de um sistema de transporte tem custos, sendo que a sociedade arca com custos diretos, como os operacionais, de instalação e manutenção, e indiretos, tais como os impactos ambientais e congestionamentos (Kolodi, 2023).

Para considerarmos um sistema de transporte, tem de ser constituídos por algumas partes, que, em conjunto, interfere na mobilidade do dia a dia, sendo as principais: as vias, os veículos e o ser humano. Sendo a natureza do transporte ser: terrestre (rodoviário e ferroviário), aquático, aéreo e tubular (Albano, 2016).

O objetivo deste trabalho é estudar a influencia de diversos pavimentos e comparar com a corrida.

2.9. Pavimentos Rodoviários

O (Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes, 2006) (LNEC, em Portugal) descreve a estrada pavimentada como sendo uma superestrutura composta por um conjunto de camadas de espessuras finitas, apoiadas sobre um semi-espaço considerado infinito teoricamente, denominado por subleito ou fundação da estrada.

As camadas podem ser distinguidas por dois tipos: as camadas ligadas, as quais são compostas por materiais granulares, estabilizam com ligantes (hidrocarbonados ou hidráulicos), e são resistentes aos esforços de tração e compressão; as camadas granulares, compostas por material granular inerte, estabilizado mecanicamente, e resistente apenas à esforços de compressão (Branco, Pereira, & Santos, 2016).

As camadas finitas, assim sendo, as que possuem uma espessura bem definida desde a etapa de projeto da estrada, onde se define o tipo de pavimento, sendo que se pode classificá-lo, de modo geral, em pavimento flexível, semi-rígido e rígido (Kolodi, 2023).

2.9.1. Pavimentos Flexíveis

A nível estrutural a camada dos pavimentos flexíveis consiste em camadas superiores constituídas de misturas betuminosas, denominada como camada de desgaste e ligação (regularização), e camadas inferiores constituídas por materiais granulares não ligados, denominados base granular e sub-base granular, assentadas sobre a fundação da estrada (Branco, Pereira, & Santos, 2016). As camadas sobrepostas definem a estrutura do pavimento flexível, sendo a secção transversal ilustrada na Figura 6.

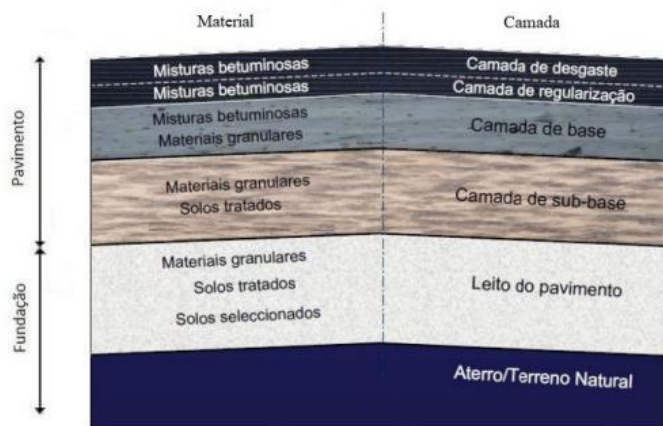


Figura 5- Seção transversal de um pavimento flexível (Kolodi, 2023).

Descrição de cada camada apresentada na figura 6:

Camada de desgaste- tem a finalidade de resistir à ação direta do tráfego, vertical e tangencial, desenvolvendo uma superfície de rolamento segura e confortável, além de impermeabilizar a estrada, impedindo que as ações climáticas degradem as camadas inferiores (Huang, 2004);

Camada de regularização- sendo a segunda camada, é composta por mistura betuminosa, com agregados de granulometria ligeiramente maior e teor de betume menor em relação à camada de desgaste. O fator de ser uma mistura menos seletiva em sua composição faz com que a camada de regularização seja frequentemente mais econômica e mais espessa em relação à sua superior (Huang, 2004);

Base- camada granular composta por materiais duráveis e de boa qualidade que apresentam uma granulometria adequada, que são resistentes mecanicamente para atingir espessura e densidade desejadas. Sendo responsável pela redução das tensões verticais, diminuindo as tensões de compressão na sub-base (Departamento Nacional de Infratuturas de Transportes, 2006; Huang, 2004);

Sub-base- em conjunto com a base não ligada (granular), consistem nas camadas mais importantes da estrada do ponto de vista estrutural, uma vez que, como principal função, devem distribuir as tensões de compressão originadas pela passagem/paragem dos veículos para a fundação (Shell, 2015). Não sendo necessário o uso do mesmo material colocado na camada de base, materiais locais e mais baratos podem ser aplicados para diminuir o custo desta camada (Huang, 2004);

Fundação- constituída pelo leito do pavimento e o solo natural. O leito do pavimento tem como função garantir homogeneidade nas propriedades mecânicas da fundação, na fase de construção permite que a camada superior possa ser devidamente compactados sem gerar deformações excessivas no solo natural. Muitos dos casos, o subleito é melhorado por meio de capacitação ou estabilização com materiais adicionais, tais como, pedra britada ou geotêxteis, com a finalidade de melhorar as propriedades e capacidades de suporte (Huang, 2004). Enquanto o solo natural deve ser capaz de suportar a estrutura de toda a estrada, que consiste em todas as camadas superiores a ela, bem como as cargas a ela transferidas. Devem ser suficientemente resistentes e estáveis para evitar a deformação excessiva ou o colapso da estrutura (Shell, 2015).

2.9.2. Pavimentos Rígidos

O pavimento rígido é composto por uma camada superior de concreto de cimento Portland, que apresentam módulos de deformabilidade muito maiores que as camadas betuminosas. Podem ou não serem apoiadas sobre uma segunda camada de menor qualidade, sobre uma camada granular, ou diretamente sobre a fundação (Petróleos, 2014), como podemos visualizar na Figura 7.

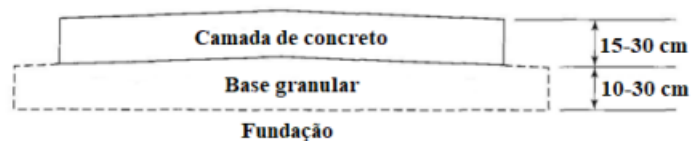


Figura 6- Seção transversal usual de um pavimento rígido (Huang, 2004).

Descrição de cada camada apresentada na Figura 7:

Camada de concreto- é constituído por concreto de cimento Portland, desempenhando a função de camada de desgaste, promovendo uma superfície regular e plana para passagem dos veículos, e função estrutural, já que é responsável por resistir aos esforços de tração e compressão a que a estrada está sendo solicitada (Petróleos, 2014);

Base granular- possuem a mesma composição da camada de base empregada em pavimentos flexíveis, que serve para garantir uma superfície de apoio para a camada de concreto (Petróleos, 2014). Outros dos motivos para a aplicação desta camada é que podem ser para o controlo de ejeção de água que passa através de juntas e rachaduras da camada de concreto causadas pela elevada pressão de cargas pesadas, e para amenizar a ação do gelo, que em períodos de congelamento podem levantar a camada de concreto, e em períodos de degelo enfraquecem a fundação (Huang, 2004).

2.9.3. Pavimentos Semi-Rígidos

Neste tipo de pavimento tem uma estrutura de camadas muito similar à do pavimento flexível, mas é caracterizada por uma camada base cimentada (Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes, 2006). A composição, de camadas superiores de mistura betuminosa que promovem uma superfície segura e confortável, e a camada subsequente de concreto que promove uma base forte e resistente para a estrutura, resulta em um pavimento ideal com as características mais desejáveis.

Devido a composição, também é o tipo de pavimento menos económico dentro dos anteriores, sendo a sua construção mais rara para novas estradas, mas sim utilizado mais habitualmente na reabilitação de pavimentos rígidos existentes (Huang, 2004). Como podemos visualizar a seção transversal deste pavimento na Figura 8.

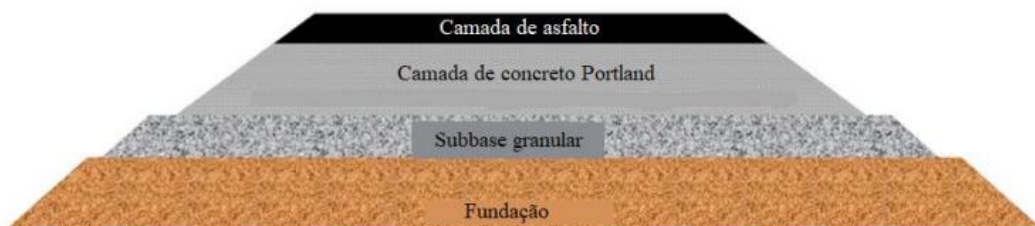


Figura 7- Seção transversal usual de um pavimento Semi-Rígido (Plati, 2019).

2.10. Avaliação estrutural

Na avaliação estrutural, também chamada avaliação mecânica, envolve alguns ensaios geotécnicos e diversos ensaios de capacidade de carga, sendo que podem ser realizados em laboratório ou no próprio local de estudo.

Os ensaios de laboratório são uteis para obtermos informações e determinar algumas propriedades de solo em estudo, sendo necessário recolher amostras, levando em conta todos os processos de amostragem, para que sejam representativas. Sendo a recolha das amostras o mais minuciosa possível, elas não representam o verdadeiro estado do solo no local, sendo este processo o suficiente para essas alterações, e, conseqüentemente apresentam resultados com algumas imprecisões (Marques, 2015). Ainda assim estes ensaios oferecem dados e parâmetros importantes que podem ser relacionados entre si para entender melhor o objetivo do estudo (Kolodi, 2023).

Nos ensaios de campo, por serem executados diretamente no local do estudo, tem vantagem como maior rapidez e precisão dos resultados, sendo o solo em estudo estando nas próprias condições do local, não sofrendo modificações no processo de retirada de amostras. (Kolodi, 2023).

Sendo esta avaliação caracterizada por ser objetiva, no que significa que os testes ou ensaios são feitos por meio de equipamentos precisos e procedimento padronizados. Essa padronização, limita a variabilidade que os resultados podem ter, apresentando maior confiabilidade (Kolodi, 2023).

2.11. Light Weight Deflectometer- LWD (ensaio de campo)

O ensaio tem como objetivo efetuar a caracterização mecânica, avaliando o módulo de deformabilidade dinâmico e o CBR dinâmico, dum solo ou dum pavimento, de maneira rápida, em 1981 foi desenvolvido o Light Weight Deflectometer- LWD (Defletómetro de Impacto Portátil), em Magdeburg, na Alemanha, no Instituto Federal de Pesquisa Rodoviária em conjunto com a HMP Company (Elhakim, Elbaz, & Amer, 2014).

Uma vez que o equipamento é portátil a análise e recolha de dados é feita de forma mais ágil e rápida, economizando recursos e tempo, do que o ensaio “in situ” ECP (Ensaio de Carga em Placa). Devido ao equipamento ser portátil, esta em vantagem relativamente a outros ensaios por sua versatilidade. Torna-o mais competitivo para a avaliação mecânica do local em estudo (Nazzal, Abu-Farsakh, Khalid, & Louay, 2007)

Na norma americana ASTM E2835-11 (2011) encontramos o processo e a padronização do ensaio relativo ao LWD a qual consiste na determinação do módulo de elasticidade dinâmico (E_{vd}) por meio de leituras de deformações do solo, estas decorrentes de impulsos gerados por cargas dinâmicas, da mesma forma descrita para o ensaio FWD.

A sua utilização predomina nos estudos de fundações de estradas, podendo também ser aplicado nas demais camadas granulares (Materials, 2011). A Figura 9 é a representação do LWD, e os seus principais componentes.

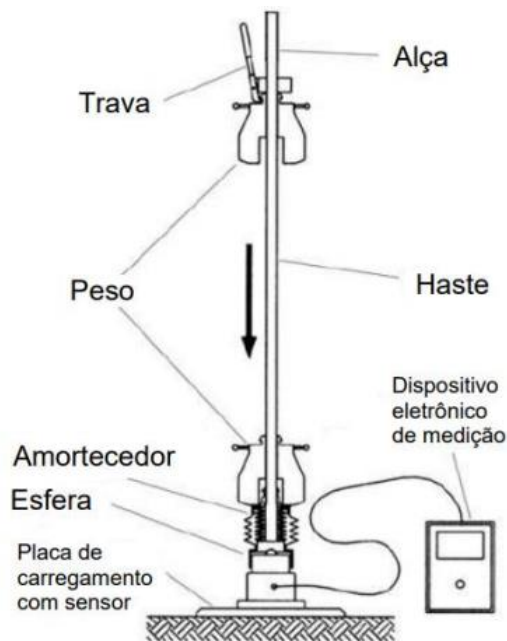


Figura 8- Representação esquemática do Light Weight Deflectometer (Adão & Adão, 2003)

O equipamento está dividido em 3 partes:

Dispositivo de carregamento- conjunto responsável pelo aplicar a solicitação ao solo.

Compreende o peso em queda livre, designado por martelo; a haste pelo qual o peso passa, servindo de guia; a trava, responsável por segurar o peso na altura padrão e desprendê-lo; a alça, que possui um nível de bolha, de modo a permitir o operador verticalizar a haste para que a solicitação do peso seja 100% efetiva, sem componentes horizontais; e o amortecedor, que funciona como uma mola para o peso, fazendo-o exercer uma pressão pontual no solo;

Dispositivo de medição- composto pela esfera e a placa metálica de carregamento com sensor (geofone), que em conjunto fazem a leitura da deformação do solo na hora do impacto do peso;

Dispositivo de processamento da leitura- inclui o cabo e o dispositivo eletrônico de medição. Sendo esta parte responsável por processar a deformação lida pelos sensores no instante do impacto, e calcula o módulo de elasticidade dinâmica (E_{vd}), pelo software que tem informações fixas como o diâmetro da placa metálica, a massa, altura de queda, aceleração e consequentemente a velocidade na hora do impacto do peso.

2.12. A influência dos tipos de pisos na corrida

A maior das preocupações dos praticantes desta modalidade é o local onde efetuam a atividade, corrida. Por norma os corredores praticam a modalidade no seu meio envolvente. Sendo uma das preocupações o tipo de piso onde correm influencia a corrida.

2.12.1. Cimento, Asfalto

O tipo de piso como o asfalto é indicada para treinos de velocidade, visto que tem uma boa reação ao solo, uma vez que aumenta a resistências. Mas devido ao grande impacto a probabilidade das lesões é maior (Assessor, 2016)

E no cimento tem um maior impacto que os outros terrenos, tais como areia, passadeira, relvado e terra. Sendo a prática da corrida sendo evitada neste tipo de piso, uma vez que provoca lesões (Assessor, 2016).

Na biomecânica temos estudos que referem que o cimento gera grandes picos de aceleração durante o impacto como superfícies de relva ou pistas sintéticas, uma vez que absorvem melhor as forças (Ferro-Sánchez, et al., 2023).

Neste tipo de pisos o estudo Hardin, Van Den Boget, & Hamill (2003) diz que os atletas aumentam a flexões dos joelhos e tornozelos para conter o impacto na corrida destes pisos, sendo que o impacto das forças tem tendência a aumentar a tensão nos tendões. Sendo uma estratégia do corpo atenuar o impacto, utilizando mais os tendões e os músculos das pernas para uma absorção das forças durante a fase de contato com os solos, reduzindo o impacto direto nas articulações, mas aumentando a carga nos tendões e tecidos moles (Hardin, Van Den Boget, & Hamill, 2003).

2.12.2. Terra, areia, relva

Neste tipo de pisos abordado neste tópico temos uma redução dos impactos das forças exercidas em relação a outros pisos, modificam o ângulo do joelho, tornozelo e quadril, e aumentam a atividade muscular para contrabalançar a instabilidade e dissipação da energia. Tendo o benefício de prevenir lesões (Stasulli, s.d.).

O estudo de Lejeune, Willems, & Heglund (1998) refere que a corrida na areia aumenta um gasto energético até 1.6 vezes causado a menor rigidez do piso, que vai envolver um maior trabalho muscular para manter a estabilidade.

Enquanto na relva a corrida impõem uma menor exigência das articulações, uma vez que alternativamente pode vir a aumentar lesões devido a superfície irregular (Jafarnejhadgero, et al., 2022).

2.12.3. Pistas sintéticas, tapetes de corrida

Na corrida nestes tipos de pisos na fase de apoio da passada a velocidade pode ser alcançada com menor força propulsora e impacto em comparação com outros tipos de piso, tendo um baixo impacto de lesões (Stasulli, s.d.).

No estudo de Nigg, Mohr, & Nigg (2017) diz que a análise biomecânica da corrida nestes pisos oferece um equilíbrio entre a absorção do impacto e no retorno da energia, podendo dizer que é uma corrida eficiente, devido ao menor desgaste físico em comparação com outros pisos.

Capítulo 3

3 Materiais e Métodos

Este trabalho foi dividido em diferentes etapas. Numa parte inicial realizou-se um estudo preliminar (estudo piloto) para estabelecer as condições experimentais. De seguida a corrida foi analisada numa amostra alargada, utilizando técnicas cinemáticas para estimação da cinética.

3.1. Análise Biomecânica

3.1.1. Amostra

Foram convidados a participar neste estudo alunos da faixa etária entre os 18 e os 25 anos de ambos os sexos. Na amostra representativa temos como características Antropométricas uma massa de $67,4 \pm 11,8 \text{ kg}$, uma estatura de $1,69 \pm 0,11 \text{ m}$ e por fim um comprimento da perna de $0,90 \pm 0,05 \text{ m}$.

Cada participante entregou um termo de consentimento livre e esclarecido à equipa de investigação devidamente assinado e autorizando a sua participação. Todos os participantes contactaram pessoalmente com o investigador e esclareceram todas as dúvidas. O estudo foi aprovado previamente pelo Comité de Ética do Instituto Politécnico de Bragança (apêndice 1).

3.1.2. Estudo piloto

Numa primeira fase realizou-se um estudo piloto para determinar as condições experimentais ideais, nomeadamente a distância a ser percorrida nos sprints. Este estudo realizou-se no terreno e consistiu em avaliar 2 sujeitos (20 e 22 anos de idade um do sexo feminino e outro do masculino) seleccionados aleatoriamente.

Inicialmente, durante esta fase, foi estabelecida uma distância de 30 metros para a corrida. No entanto, ao montar o set up experimental, verificamos que com o material disponível só era possível correrem 25 metros. Ao longo da testagem verificamos que na recolha dos dados dos optogates, como só tínhamos um par só detetavam metade do tempo de contacto, assim sendo excluimos a sua utilização, e recorremos a filmagem no plano coronal a nível do chão.

3.1.3. Estudo Cinemático

Na segunda fase do trabalho, procedeu-se à recolha de dados adicionais referentes à corrida em diferentes pisos, envolvendo 28 jovens.

Este estudo incluiu estudantes do ensino superior, com idades entre os 18 e 25 anos, do sexo masculino e feminino, sem qualquer lesão músculo-esquelética diagnosticada nos últimos 6 meses. No caso das participantes do sexo feminino, estas não devem estar grávidas e todos devem assinar o termo de livre consentimento para participar no estudo. Assim, qualquer candidato que não cumprisse estes parâmetros seria de imediato excluído do estudo.

3.2. Análise do solo

Os locais sujeitos a este tipo de ensaio foram a pista de atletismo do IPB revestida por tartan, alcatrão e o chão de um pavilhão desportivo revestido por madeira, que possui caixa de ar por baixo do revestimento.

3.3. Materiais e equipamentos

Para o registo da massa corporal foi utilizada uma balança marca SECA, modelo 884 com origem na Alemanha. Para o registo da altura usou-se uma escala graduada marca SECA, modelo 242, também proveniente da Alemanha.

O trabalho experimental decorreu numa pista de atletismo em tartan, numa zona em mistura betuminosa e num pavilhão desportivo com madeira e caixa de ar com 10 centímetros de profundidade e molas ao longo do pavimento. Em todos os casos os pisos encontravam-se nivelados e sem inclinação. As condições climatéricas foram semelhantes entre os três locais, com temperaturas entre os 11 graus e os 26 graus, humidade entre os 36 % e 40% e uma pressão atmosférica entre os 1016 hPa e 1020 hPa, sendo que as recolhas dos dados foram realizadas dentro do mesmo horário para evitar variações circadianas.

Para as filmagens utilizou-se um IPHONE 13pro na função câmara lenta com uma velocidade de 120 Hz, colocado ao nível do chão no plano coronal posterior.

Para a análise cinemática, os vídeos foram importados para um software de análise do movimento (Kinovea-0.9.5) para extração dos parâmetros gerais do ciclo (tempo de apoio, tempo de voo, frequência do ciclo e a distância de ciclo).

Foram usados microgate (células fotoelétricas) da marca Microgate, modelo Witty ProtecCell com origem em Itália. para registo dos tempos parciais ao longo do sprint de cada participante, na qual cada microgate estava a 5 metros de distância entre si.

No ensaio do módulo de deformabilidade dinâmico do solo usamos o equipamento light weight deflectometer (LWD).

Para a avaliação estrutural dos diferentes pisos foram realizados ensaios com o ZFG 3.0 Light Weight Deflectometer (LWD) da Zorn Instruments. O equipamento tinha uma massa movel de 15 kg, que caía de uma altura de 67 cm, já com o desconto da massa de 15 kg, gerando uma força máxima de 10,6 kN, distribuída pelo solo através da placa de carga de 300 mm de diâmetro. Esta pode gerar uma pressão máxima de $0.15MN/m^2$ no solo (Zorn, 2016).

O equipamento fornece-nos dados como a deformação do pavimento (s , em mm), o módulo de elasticidade dinâmico (E_{vd} , em $15MN/m^2$), a velocidade do impacto (v , em mm/s) e as coordenadas geográficas do local.

3.4. Etapas Experimentais

3.4.1. Estudo piloto para definição do protocolo de ensaio

Definição dos parâmetros cinemáticas a analisar no ensaio

Na determinação dos parâmetros gerais que deveriam ser analisados neste estudo, procedeu-se ao estudo em laboratório de um caso que servia de referência para todo o estudo, na corrida de 25 metros de sprint, com velocidade máxima que o participante conseguiria atingir. O calçado usado foram as sapatilhas de cada participante, com a condição de serem as mesmas para os três pisos, a fim de evitar influência. Assim como o calçado, a roupa foi escolhida pelos participantes, devendo ser confortável, podendo ser diferente nos três pisos.

3.5. Protocolo experimental

Após a conclusão do estudo piloto reviu-se o protocolo experimental, onde ocorre em três pisos diferentes, tartan, alcatrão e pavilhão desportivo em madeira com caixa de ar de 10 centímetros de profundidade, na qual não apresentavam inclinação. As condições atmosféricas eram temperaturas acima dos 16 graus nos pisos exteriores e pavimento seco

e com temperaturas acima dos 11 graus no piso do pavilhão desportivo, o sprint em cada um dos pisos era de 25 metros.

A disposição do material como as microgates estava com uma distância entre elas de 5 metros, sendo a primeira microgate no ponto zero do sprint e assim sucessivamente até ao fim dos 25 metros. Com as filmagens num plano coronal posterior e o tempo de recuperação entre os três pisos de pelo menos um dia.

Na realização dos ensaios de FWD, posicionamos a placa de carga na superfície, e ligamos o cabo do sensor ao dispositivo de leitura, posicionamos a massa móvel no dispositivo de libertação, de seguida soltamos a massa móvel em cada livre e segurando-a antes que caísse pela segunda vez, e repetimos o passo anterior 3 vezes em cada ponto. Realizamos este processo em três pontos diferentes no ponto zero da corrida, no meio e ao fim dos 25 metros.

3.6. Modelação

3.6.1. Massas e Molas

O sistema de massa-mola é utilizado para analisar o comportamento do corpo durante a corrida (McMahon, 1984). Este modelo simplifica o corpo para uma massa (centro de massa do corpo) que se desloca na forma vertical e uma mola (pernas), que representa a rigidez das pernas e a força que o corpo aplica no solo. Neste modelo podemos retirar a rigidez da perna (K_{leg}) e a rigidez vertical (K_{vert}), sendo dos parâmetros importantes neste modelo (Silva J. G., 2019). Foi adaptado o modelo de Morin, Dalleau, Kyröläinen, Jeannin, & Belli (2005) em que:

$$F_{max} = m * g \frac{\pi}{2} * \left(\frac{t_f}{t_c} + 1 \right), BW \quad (1)$$

Onde:

m- Massa corporal (kg)

g- Força da gravidade

tf- Tempo de voo (s)

tc- Tempo de contacto (s)

$$\Delta y_c = \frac{F_{max} * t_c^2}{m * \pi^2} + g * \frac{t_c^2}{8}, m \quad (2)$$

Onde:

t_c - Tempo de contacto (s)

g - Força da gravidade

F_{max} - Força vertical de pico (Kn)

$$\Delta L = L - \sqrt{L^2 - \left(\frac{v \cdot t_c}{2}\right)^2} + \Delta y_c \quad (3)$$

Onde:

Δy -Deslocamento máximo(m)

L - Comprimento da perna(m)

V - Velocidade de corrida(m/s)

t_c - Tempo de contacto (s)

$$K_{vert} = \frac{F_{max}}{\Delta y_c}, kN/m \quad (4)$$

Onde:

K_{vert} - Rigidez vertical (kN/m)

$$K_{leg} = \frac{F_{max}}{\Delta L}, kN/m \quad (5)$$

K_{leg} - Rigidez da perna (kN/m)

De um modo geral, medida que a velocidade da corrida aumenta ocorre um aumento da rigidez vertical, que consequentemente implica que o corpo se adapte a forças superiores de reação ao solo, mas a rigidez da perna permanece constante (Silva J. G., 2019).

3.6.2. Força, Potência e Velocidade

O modelo Samozino et al. (2015) foi utilizado para a análise da relação força-velocidade e potência na biomecânica da corrida. Este baseia-se nas fórmulas que permitem calcular variáveis fundamentais para a performance de sprint, como força

teórica máxima (F0), velocidade teórica máxima (V0), potência máxima (Pmax) e o perfil força-velocidade (Sfv) (Samozino, et al., 2015).

$$v_H = v_H * (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (6)$$

Onde:

v_H - Velocidade máxima no final da aceleração (m/s)

e- Número de Euler's (2.71828)

t- Tempo(s)

T- Constante de tempo de aceleração

$$Af = (0.2025 * H^{0.725} * m^{0.425}) * 0.266 \quad (7)$$

Onde:

Af- Área frontal do participante (m^2)

H- Altura (m)

m- Massa corporal (kg)

$$k = 0.5 * \rho * Af * Cd \quad (8)$$

Onde:

k- Coeficiente de resistência aerodinâmica do participante

ρ - Densidade do ar

Cd- Coeficiente de arrasto (0.9)

$$F_{aero}(t) = k * (v_H(t) - v_w)^2 \quad (9)$$

Onde:

F_{aero} - Resistência aerodinâmica (N)

v_w - Velocidade do vento (m/s)

$$a_H(t) = \left(\frac{v_{Hmax}}{t} \right) * e^{-t/T} \quad (10)$$

Onde:

a_H - Aceleração horizontal (m/s^2)

v_{Hmax} -Velocidade horizontal máxima no final da aceleração (m/s)

$$F_H(t) = m * a_H(t) + F_{aero}(t) \quad (11)$$

Onde:

F_H - Força externa horizontal (N)

$$F_v(t) = m * g \quad (12)$$

Onde:

F_v - Força vertical externa (N)

$$RF = \frac{F_H}{\sqrt{F_H^2 + F_v^2}} * 100 \quad (13)$$

Onde:

RF- Rácio entre F_H e a GRF resultante

$$P_{max} = \frac{F_o * v_o}{4} \quad (14)$$

Onde:

P_{max} - Potência máxima de saída (W)

F_o -Força externa horizontal máxima(N)

v_o - Velocidade máxima (m/s)

Sendo estes parâmetros uteis para a otimização do desempenho da corrida, em que consideramos a relação inversa entre a força e velocidade, na qual a medida que a força aplicada aumenta a velocidade tende a diminuir (Teixeira, et al., 2022).

3.7. Procedimentos estatísticos

Análise exploratória incluiu a determinação da normalidade dos dados, assim como, assimetria e valores extremos.

Estatísticas descritivas incluíram a média, desvio-padrão e, 95% intervalo de confiança.

Foram efetuadas comparações entre condições com recurso a análise da variância com medidas repetidas (ANOVA). Para análise emparelhada post-hoc no caso de variâncias significativas adotou-se o teste de Bonferroni. Concomitante, foram analisados os tamanhos dos efeitos da análise de variância – efeitos principais (η^2 quadrado) e das comparações post-doc (d de Cohen), para determinar se o tamanho é nulo, pequeno, médio ou até mesmo largo. Na determinação do tamanho de efeito temos em conta para o η^2 , considerou-se um efeito nulo quando $\eta^2 < 0.01$, pequeno quando $0.01 < \eta^2 < 0.06$, médio para $0.06 < \eta^2 < 0.14$ e elevado quando $\eta^2 \geq 0.14$. No d de Cohen o efeito foi considerado nulo se $d < 0.20$, pequeno quando d esta entre $0.20 \leq d < 0.50$, médio para $0.50 \leq d < 0.80$ e elevado para $d \geq 0.80$ com um nível de significância foi determinado como $p < 0.05$.

Relativamente ao cálculo da potência a priori da amostra, para um tamanho do efeito $f=0.25$ (efeito médio), um erro probabilístico de $\alpha=0.05$, uma potência de 80%, analisando variância para medidas repetidas de 3 condições, seriam necessários 28 participantes (no qual eram 14 do sexo feminino e 14 do sexo masculino). Com efeito, o estudo experimental consistiu na análise de 28 participantes tal como sugerido para assunção da validade externa dos resultados.

4 Resultados

4.1. Variáveis Cinemáticas

As tabelas 2 e 3 apresentam a análise descritiva e da variância, bem como dos post-hoc tests, respetivamente. Na variável do tempo de contacto verificou-se uma variação significativa com base no tipo de piso com um elevado efeito dos tamanhos ($p=0.001$; $\eta^2=0.308$). A análise post-hoc sugeriu uma diferença significativa com grande efeito entre o alcatrão e o tartan ($p<0.001$; $d=1.164$) e, entre o tartan e o piso madeira e caixa de ar ($p=0.003$; $d=1.164$) onde o tempo de contacto foi inferior no alcatrão e superior no piso de madeira e caixa de ar. Na variável do tempo de voo verificou-se uma variação significativa com base no tipo de piso com um efeito médio dos tamanhos ($p=0.94$; $\eta^2=0.089$). A análise post-hoc sugeriu uma diferença significativa com um efeito médio entre tartan e piso de madeira e caixa de ar ($p<0.001$; $d=0.633$) onde o tempo de voo é inferior no piso de madeira e caixa de ar e superior no tartan. Para a frequência de ciclo verificou-se uma variação significativa com base no tipo de piso com um elevado efeito dos tamanhos ($p<0.001$; $\eta^2=0.270$). A análise post-hoc sugeriu uma diferença significativa com grande efeito entre alcatrão e tartan ($p<0.001$; $d=0.854$) e entre o tartan e o piso de madeira e caixa de ar também com um efeito médio ($p=0.001$; $d=0.633$) onde a frequência de ciclo é superior no piso de madeira e caixa de ar e inferior no tartan. Na distância de ciclo verificou-se uma variação significativa com base no tipo de piso com um elevado efeito dos tamanhos ($p<0.001$; $\eta^2=0.340$). A análise post-hoc sugeriu uma diferença significativa com grande efeito entre alcatrão e tartan ($p<0.001$; $d=1.180$) e entre o tartan e o piso de madeira e caixa de ar também com um grande efeito ($p<0.001$; $d=1.121$) onde a distância de ciclo tem valores superiores no piso de tartan de e inferior no alcatrão. Na velocidade média verificou-se uma variação significativa com base no tipo de piso com um elevado efeito dos tamanhos ($p<0.001$; $\eta^2=0.617$). A análise post-hoc sugeriu uma diferença significativa com grande efeito entre alcatrão e tartan ($p<0.001$; $d=0.902$), o piso de madeira e caixa de ar e alcatrão também com um efeito

médio ($p < 0.001$; $d = 0.657$) onde a velocidade média temos valores superiores no tartan e inferior no alcatrão.

Tabela 2- Resultados das variáveis cinemáticas pela análise descritiva e pela Anova

	Alcatrão $\bar{x} \pm SD$ (95% IC)	Madeira e caixa de ar $\bar{x} \pm SD$ (95% IC)	Tartan $\bar{x} \pm SD$ (95% IC)	F	η^2	P
tc [s]	0.200 \pm 0.041 (0.185;0.266)	0.206 \pm 0.076 (0.176;0.235)	0.280 \pm 0.082 (0.249;0.312)	12.03	0.308	<0.001
tf [s]	0.119 \pm 0.110 (0.076;0.161)	0.096 \pm 0.029 (0.085;0.107)	0.139 \pm 0.031 (0.127;0.151)	2.465	0.084	0.094
FC [Hz]	3.387 \pm 0.796 (3.078;3.695)	3.703 \pm 1.430 (3.148;4.258)	2.524 \pm 0.587 (2.297;2.752)	9.969	0.270	<0.001
DC [m]	0.950 \pm 0.444 (0.778;1.123)	0.973 \pm 0.321 (0.848;1.097)	1.392 \pm 0.346 (1.258;1.526)	13.884	0.340	<0.001
v [m/s]	2.932 \pm 0.395 (2.779;3.086)	3.237 \pm 0.483 (3.050;3.424)	3.350 \pm 0.505 (3.154;3.546)	43.412	0.617	<0.001

Tabela 3-Resultados da análise post-hoc das variáveis cinemáticas

	Alcatrão vs Tartan			Alcatrão vs Madeira e caixa de ar			Tartan vs Madeira e caixa de ar		
	T	d	P	T	D	P	T	d	P
tc [s]	-4.755	1.164	<0.001	-0.319	0.079	1	-3.631	1.164	0.003
tf [s]	-0.876	0.297	1	0.999	0.336	0.979	-4.975	0.633	<0.001
FC [Hz]	4.418	0.859	<0.001	-0.984	0.315	1	4.101	1.174	0.001
DC [m]	-4.682	1.180	<0.001	-0.212	0.059	1	-5.037	1.121	<0.001
v [m/s]	-9.363	0.902	<0.001	-6.443	0.657	<0.001	-2.400	0.244	0.071

4.2. Variáveis cinéticas

4.2.1. Massa e Molas

As tabelas 4 e 5 apresentam a análise descritiva e da variância, bem como dos post-hoc tests, respetivamente. Na variável da força máxima verificou-se uma variação que não é significativa com base no tipo de piso com um efeito dos tamanhos nulo ($p=0.960$; $\eta^2=0.002$). A análise post-hoc não sugeriu uma diferença significativa em nenhum dos pisos. Na variável da força máxima em BW não se verificou uma variação significativa com base no tipo de piso com um efeito dos tamanhos nulo ($p=0.830$; $\eta^2=0.007$). A análise post-hoc não sugeriu uma diferença significativa em nenhum dos pisos. Para o ΔY verificou-se uma variação significativa com base no tipo de piso com um elevado efeito dos tamanhos ($p<0.001$; $\eta^2=0.293$). A análise post-hoc sugeriu uma diferença significativa com grande efeito entre alcatrão e tartan ($p<0.001$; $d=1.133$), nos pisos alcatrão e madeira e caixa de ar com um efeito médio ($p=0.001$; $d=0.123$) e com grande efeito entre o tartan e o piso de madeira e caixa de ar ($p=0.011$; $d=1.010$) onde no ΔY temos valores superiores no tartan e inferiores no alcatrão. No ΔL verificou-se uma variação significativa com base no tipo de piso com um elevado efeito dos tamanhos ($p<0.001$; $\eta^2=0.354$). A análise post-hoc sugeriu uma diferença significativa com grande efeito entre alcatrão e tartan ($p<0.001$; $d=1.329$) e com grande efeito entre o tartan e o piso de madeira e caixa de ar ($p=0.004$; $d=1.122$) onde no ΔL temos valores superiores no piso de tartan e inferiores no alcatrão. Na K_{vert} verificou-se uma variação significativa com base no tipo de piso com um elevado efeito dos tamanhos ($p=0.001$; $\eta^2=0.201$). A análise post-hoc sugeriu uma diferença significativa com um efeito médio entre alcatrão e tartan ($p=0.003$; $d=0.569$) e com grande efeito entre o tartan e o piso de madeira e caixa de ar ($p=0.006$; $d=0.954$) onde na rigidez vertical temos valores superiores no piso de madeira e caixa e inferiores no tartan. Na K_{leg} verificou-se uma variação significativa com base no tipo de piso com um elevado efeito dos tamanhos ($p=0.002$; $\eta^2=0.201$). A análise post-hoc sugeriu uma diferença significativa com um efeito médio entre alcatrão e tartan ($p=0.002$; $d=0.654$) e com grande efeito entre o tartan e o piso de madeira e caixa de ar ($p=0.005$; $d=0.914$) onde na rigidez da perna temos valores superiores no piso de madeira e caixa e inferiores no tartan. Os valores da rigidez vertical e da rigidez da perna são inferiores no tartan.

Tabela 4- Resultados das variáveis cinéticas para massas e molas pela análise descritiva e pela Anova

	Alcatrão $\bar{x}\pm SD$ (95% IC)	Madeira e caixa de ar $\bar{x}\pm SD$ (95% IC)	Tartan $\bar{x}\pm SD$ (95% IC)	F	η^2	P
Fmax [N]	1568.006±373.840 (1423.046;1712.967)	1556.270±316.967 (1433.363;1679.177)	1565.480±303.057 (1445.595;1685.365)	0.041	0.002	0.960
Fmax [BW]	2.362±0.313 (2.241;2.484)	2.355±0.275 (2.248;2.462)	2.395±0.210 (2.314;2.477)	0.177	0.007	0.838
ΔY [m]	0.147±0.055 (0.125;0.168)	0.166±0.113 (0.122;0.210)	0.322±0.236 (0.230;0.413)	11.194	0.293	<0.001
ΔL [m]	0.203±0.086 (0.170;0.237)	0.242±0.180 (0.173;0.312)	0.456±0.262 (0.354;0.558)	14.793	0.354	<0.001
Kvert [kN/m]	12.342±6.274 (9.910;14.775)	15.778±13.328 (10.610;20.946)	7.263±4.711 (5.436;9.089)	6.781	0.201	0.002
Kleg [kN/m]	9.362±5.422 (7.260;11.465)	11.079±9.352 (7.452;14.705)	5.042±3.743 (3.59;6.493)	6.809	0.201	0.002

Tabela 5- Resultados da análise post-hoc das variáveis cinéticas para massas e molas

	Alcatrão vs Tartan			Alcatrão vs Madeira e caixa de ar			Tartan vs Madeira e caixa de ar		
	T	d	P	T	d	P	T	d	P
Fmax[N]	-0.070	0.010	1	0.183	0.031	1	-0.300	0.040	1
Fmax [BW]	-0.488	0.123	1	0.091	0.027	1	-0.575	0.150	1
ΔY [m]	-4.002	1.133	<0.001	-0.770	0.123	0.001	-3.176	1.010	0.011
ΔL [m]	-5.140	1.329	<0.001	-1.031	0.206	0.935	-3.541	1.122	0.004
Kvert [kN/m]	3.755	0.569	0.003	-1.197	-0.358	0.726	3.429	0.954	0.006
Kleg [kN/m]	3.944	0.654	0.002	-0.829	0.260	1	3.460	0.914	0.005

4.2.2. Força, Potência, Velocidade

As tabelas 6 e 7 apresentam a análise descritiva e da variância, bem como dos post-hoc tests, respetivamente. Na variável da força máxima teórica verificou-se uma variação significativa com base no tipo de piso com um elevado efeito dos tamanhos ($p < 0.001$; $\eta^2 = 0.425$). A análise post-hoc sugeriu uma diferença significativa com grande efeito entre alcatrão e tartan ($p = 0.003$; $d = 0.969$), temos também um efeito médio entre o alcatrão e o piso de madeira e caixa de ar ($p = 0.023$; $d = 0.758$) e ainda um grande efeito entre o tartan e o piso de madeira e caixa de ar ($p < 0.001$; $d = 1.727$) onde a força é inferior no de madeira e caixa de ar e superior no tartan. Na variável da velocidade máxima teórica verificou-se uma variação significativa com base no tipo de piso com um elevado efeito dos tamanhos ($p < 0.0001$; $\eta^2 = 0.322$). A análise post-hoc sugeriu uma diferença significativa com um efeito médio entre alcatrão e tartan ($p < 0.001$; $d = 0.774$), e ainda um grande efeito entre o tartan e o piso de madeira e caixa de ar ($p < 0.001$; $d = 0.923$) onde a velocidade temos valores superiores no piso de madeira e caixa de ar e inferiores no tartan. Para a potência máxima verificou-se uma variação significativa com base no tipo de piso com um elevado efeito dos tamanhos ($p < 0.0001$; $\eta^2 = 0.337$). A análise post-hoc sugeriu uma diferença significativa com grande efeito entre alcatrão e piso de madeira e caixa de ar ($p < 0.001$; $d = 0.879$), temos ainda um grande efeito entre o tartan e o piso de madeira e caixa de ar ($p < 0.001$; $d = 0.987$) onde a potência máxima temos valores superiores no tartan e inferiores no piso de madeira e caixa de ar. No FV Slope verificou-se uma variação significativa com base no tipo de piso com um elevado efeito dos tamanhos ($p < 0.0001$; $\eta^2 = 0.426$). A análise post-hoc sugeriu uma diferença significativa com grande efeito entre alcatrão e tartan ($p < 0.001$; $d = 1.218$), temos ainda um grande efeito entre o tartan e o piso de madeira e caixa de ar ($p < 0.001$; $d = 1.618$) onde o FV Slope temos valores superiores no piso de madeira e caixa de ar e inferiores no tartan. Na RF max verificou-se uma variação significativa com base no tipo de piso com um elevado efeito dos tamanhos ($p < 0.0001$; $\eta^2 = 0.488$). A análise post-hoc sugeriu uma diferença significativa com grande efeito entre alcatrão e tartan ($p < 0.001$; $d = 1.236$), temos também um efeito médio entre o alcatrão e o piso de madeira e caixa de ar ($p = 0.009$; $d = 0.535$) e ainda um efeito médio entre o tartan e o piso de madeira e caixa de ar ($p < 0.001$; $d = 0.701$) onde na RF max temos valores superiores no alcatrão e inferiores no tartan. Na Drf verificou-se uma variação significativa com base no tipo de piso com um elevado efeito dos tamanhos ($p < 0.0001$; $\eta^2 = 0.416$). A análise post-hoc sugeriu uma diferença

significativa com grande efeito entre alcatrão e tartan ($p < 0.001$; $d = 1.213$), temos ainda um grande efeito entre o tartan e o piso de madeira e caixa de ar ($p < 0.001$; $d = 1.573$) onde na diminuição na Drf temos valores superiores no e inferiores no piso madeira e caixa de ar.

Tabela 6- Resultados das variáveis cinéticas para Força, Potência, Velocidade pela análise descritiva e pela Anova

	Alcatrão $\bar{x} \pm SD$ (95% IC)	Madeira e caixa de ar $\bar{x} \pm SD$ (95% IC)	Tartan $\bar{x} \pm SD$ (95% IC)	F	η^2	P
F0 [N/kg]	10.921 \pm 2.253 (10.048;11.795)	7.998 \pm 2.646 6.971-9.024	14.659 \pm 5.706 (12.446;16.871)	19.975	0.425	<0.001
V0 [m/s]	6.740 \pm 1.137 (6.299;7.181)	6.995 \pm 2.491 (6.029;7.961)	5.419 \pm 1.117 4.986;5.852	12.825	0.322	<0.001
Pmax [W/kg]	18.576 \pm 5.511 (16.439;20.713)	13.710 \pm 5.255 (11.673;15.748)	19.174 \pm 5.833 (16.912;21.436)	13.697	0.337	<0.001
FV Slope [Ns/kgm]	-1.657 \pm 0.414 (-1.818; -1.497)	-1.246 \pm 0.513 (-1.445; -1.047)	-2.911 \pm 1.656 (-3.553; -2.696)	20.004	0.426	<0.001
RF max [%]	42.536 \pm 6.161 (40.147;44.925)	38.179 \pm 6.717 (35.574;40.783)	32.464 \pm 10.779 (28.285;36.644)	25.773	0.488	<0.001
Drf [%]	-15.715 \pm 4.211 (-17.348; -14.082)	-11.882 \pm 4.918 (-13.789; -9.975)	-28.628 \pm 17.269 (-35.324; -21.931)	19.257	0.416	<0.001

Tabela 7- Resultados da análise post-hoc das variáveis cinéticas para Força, Potência, Velocidade

	Alcatrão vs Tartan			Alcatrão vs Madeira e caixa			Tartan vs Madeira e caixa		
	T	d	P	T	d	P	T	d	P
F0 [N]	-3.537	0.969	0.003	2.738	0.758	0.023	-6.305	1.727	<0.001
V0 [m/s]	3.955	0.774	<0.001	-0.762	0.149	1	4.717	0.923	<0.001
Pmax [W]	-0.522	0.108	1	4.249	0.879	<0.001	-4.771	0.987	<0.001
FV Slope	4.573	1.218	<0.001	-1.498	0.399	0.420	6.071	1.618	<0.001

RF max [%]	7.158	1.236	<0.001	3.097	0.535	0.009	4.061	0.701	<0.001
Drf [%]	4.567	1.213	<0.001	-1.356	0.360	0.542	5.923	1.573	<0.001

4.3. Ensaio do LFWD

Os resultados foram obtidos através do ZFG 3.0 Light Weight Deflectometer (LWD) da Zorn Instruments tendo sido apresentados nas seguintes tabelas, com o resultado obtido de $E_{vd}(MN/m^2)$ para cada teste.

Sendo que através do equipamento, temos o fornecimento como da deformação do pavimento com a velocidade do impacto (s/v, em m.s) e o mais importante o módulo de elasticidade dinâmico (E_{vd} , em MN/m^2).

Em cada piso foram realizados três ensaios na distância de 25m, no ponto de partida, a meio e no fim dos 25m.

A tabela 8 apresenta os dados da deformabilidade com a respetiva figura 9 do módulo da deformabilidade do piso da pista de atletismo.

Tabela 8- Resultados do ensaio LFWD para a pista de atletismo

Teste	s/v (m.s)	$E_{vd}(MN/m^2)$
1	3.198	18.65
2	3.016	20.19
3	2.631	29.35

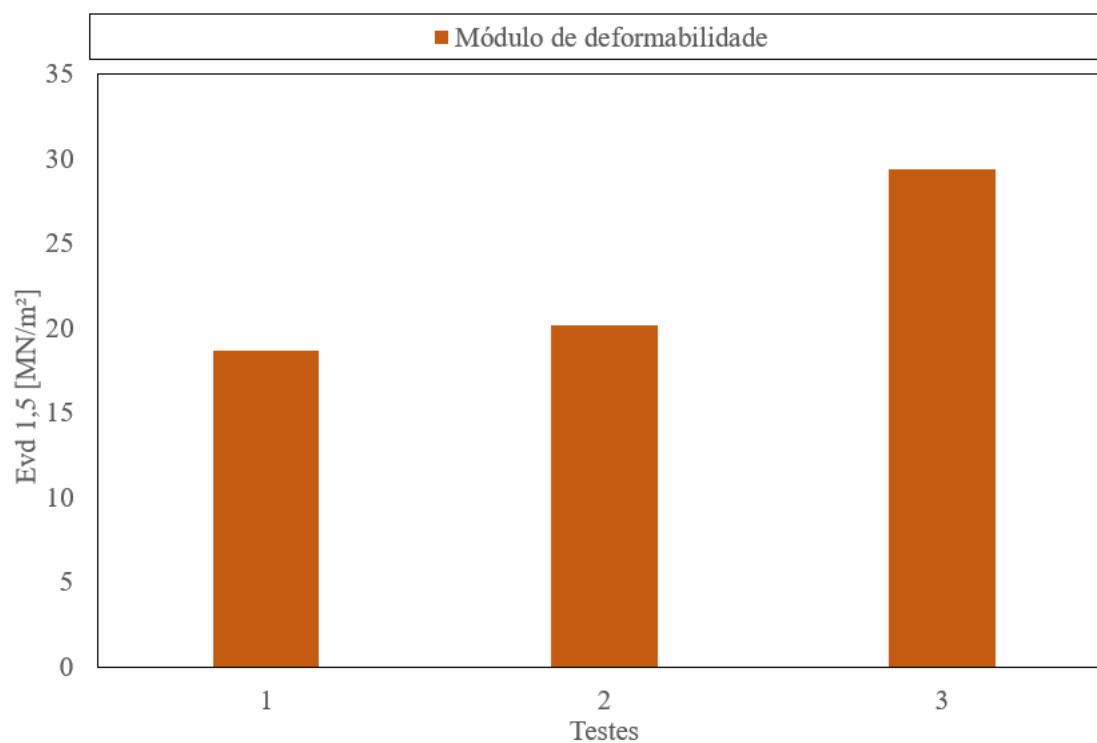


Figura 9-Gráfico do Módulo de Elasticidade LFWD nos 3 pontos para pista de atletismo

A tabela 9 apresenta os dados da deformabilidade com a respetiva figura 10 do módulo da deformabilidade do piso do pavilhão.

Tabela 9-Resultados do ensaio LFWD para o pavilhão

Teste	s/v (m.s)	$E_{vd}(MN/m^2)$
1	5.279	6.35
2	5.752	6.5
3	4.863	8.42

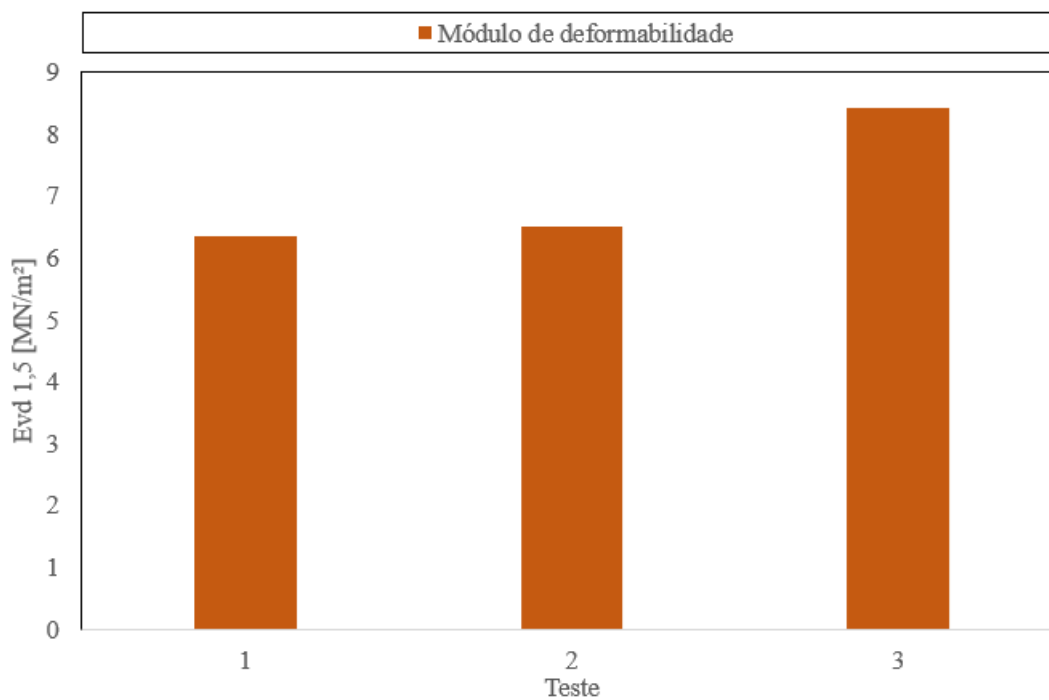


Figura 10- Gráfico do Módulo de Elasticidade LFWD nos 3 pontos para o pavilhão

A tabela 10 apresenta os dados da deformabilidade com a respetiva figura 11 do módulo da deformabilidade do piso do alcatrão.

Tabela 10-Resultados do ensaio LFWD para o alcatrão

Teste	s/v (m.s)	$E_{vd}(MN/m^2)$
1	3.072	183.42
2	3.214	168.75
3	3.032	142.41

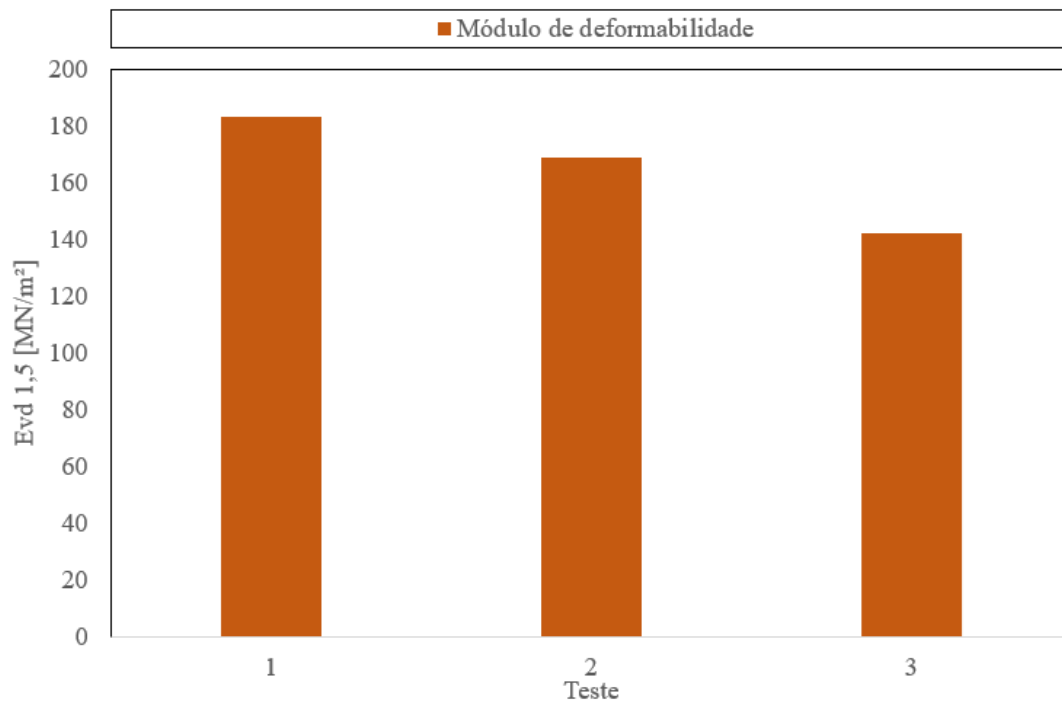


Figura 11-Gráfico do Módulo de Elasticidade LFWD nos 3 pontos para o alcatrão

Por fim temos uma comparação do módulo da deformabilidade com os diferentes pisos na Figura 12.

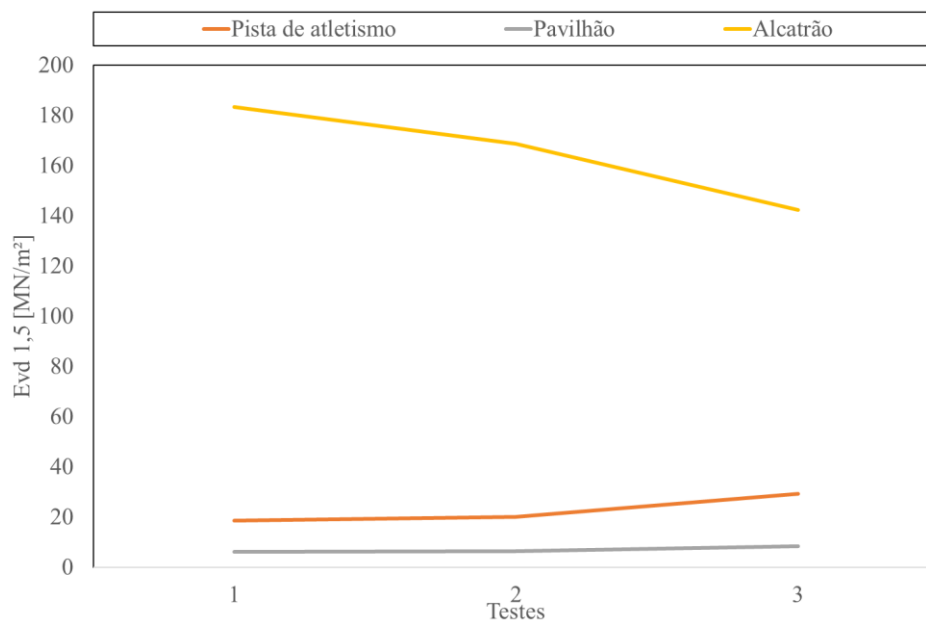


Figura 12- Gráfico do Módulo de Elasticidade LFWD nos diferentes pisos

5. Discussões dos Resultados

5.1. Variáveis Cinemáticas

Na tabela 2, apresenta-se a comparação entre os três pisos das variáveis da cinemática. O piso em tartan influencia significativamente o tempo de contato, a frequência de ciclo, a distância de ciclo e a velocidade. O piso de madeira e a caixa de ar tem um efeito elevado da frequência de ciclo em comparação com o alcatrão ($p < 0.001$; $\eta^2 = 0.270$). Este facto deve-se ao menor tempo de voo na madeira e caixa de ar. Da comparação post-hoc, tabela 3, verificou-se que existem diferenças significativas entre os pisos de alcatrão e tartan em várias variáveis (tc, FC, DC e v). Mas entre o alcatrão e o piso de madeira e caixa de ar apenas a velocidade apresenta diferenças significativas. Entre o piso de madeira e caixa de ar e o tartan, temos várias diferenças estatisticamente significativas (tc, tf, FC e DC).

A literatura diz que o alcatrão resulta em menor tempo de contato e uma maior frequência de ciclo (Jones, 2023). Enquanto o tartan resulta numa maior velocidade, sendo que os valores estão dentro da literatura (Tai, Zhang, & Zhao, 2023). O tartan, tem uma elevada força máxima, que aumenta a velocidade (Jones, 2023; Tai, Zhang, & Zhao, 2023). De acordo com o estudo encontrado, os pisos como o tartan as variáveis tc, FC, DC e v aumentam o tempo de contato devido à sua flexibilidade (Jones, 2023).

Os pisos têm impacto significativo em algumas das variáveis, com atenção especial na comparação do tartan com o alcatrão e piso de madeira e caixa de ar. O tartan tem maior tempo de contato e velocidade. Por um lado, o piso de madeira e caixa de ar e o alcatrão não apresentam diferenças significativas nas variáveis, podendo considerar que aqui nesta parte do estudo o tartan é o piso mais indicado.

5.2. Variáveis Cinéticas

5.2.1. Massa e Molas

Na tabela 4 temos uma comparação entre os três pisos e as variáveis da cinética, com recurso à modelação de massa e molas. F_{max} não apresenta variações significativas entre os pisos. No ΔY e ΔL os valores são superiores no tartan (o centro de massa oscila mais e os membros inferiores fletam mais). Pelas equações 3 (estimação do ΔL), 4 (estimação do K_{vert}) e 5 (estimação do K_{leg}) verificamos que no denominador encontramos a velocidade e o tempo de contacto pela equação do ΔL que também são superiores no tartan, mas o ΔY e o ΔL encontram-se no denominador o que leva a diminuição da rigidez da perna e a rigidez vertical.

Os valores da rigidez observados estão abaixo do esperado segundo o estudo de (Nummela & Keränen (2007) que podem ser atribuído à qualidade da técnica dos participantes, já que o t_c deviam estar no 0.1s e varia entre os 0.2s e 0.3s. O maior t_c contribui para a flexão do membro inferior (Nummela & Keränen, 2007). No ΔY e no ΔL o tartan apresentou valores que estão fora dos parâmetros esperados, o que indica um maior deslocamento e, conseqüentemente, um K menor, que compromete a capacidade de a mola reutilizar a energia elástica.

No alcatrão e no piso de madeira e caixa de ar temos uma maior rigidez. A comparação post-hoc, tabela 5, apresenta diferenças significativas ($p < 0.001$) entre o alcatrão e o tartan em relação a ΔY e ΔL , confirmando uma maior absorção do impacto no tartan.

Na comparação dos resultados com a literatura, observam-se algumas diferenças significativas. No caso da F_{max} os valores estão de acordo com a literatura para pisos de corrida em estudo. A F_{max} em N depende do peso do participante, quanto maior o peso maior é a F_{max} que resulta de uma velocidade mais elevada. Como indica Kulmala (2013) que diz que os valores estão compreendidos entre 1500 e 1800 N em superfícies como o alcatrão e tartan. As velocidades mais elevadas foram no tartan e no alcatrão o que também corresponde aos valores mais elevados da F_{max} . Nos valores de ΔY , especialmente no tartan, os valores são superiores aos valores indicados pela literatura, no que sugerem que os valores deviam estar compreendidos entre 0.15 e 0.25m (Kulmala, Korhonen, & Kuitunen, 2013). Em alguns estudos, como o de Hardin et al. (2003) indicam que o ΔY e o ΔL para o tartan e outros pisos, que pode ser explicado devido a

alguma falta de técnica de corrida e ao calçado que era inadequado para pisos como o tartan. O ΔL na parte do tartan também apresenta valor muito superior com os valores sugeridos pela literatura, que diz que os valores deviam estar compreendidos entre os 0.2 e 0.35 m, dependendo dos pisos (Miyashiro, Nagahara, Yamamoto, & Nishijima, 2019; Kenneth, Laurence, & Peter, 2017).

Para os valores de K_{vert} e K_{leg} , os valores do alcatrão e madeira e caixa de ar estão dentro dos da literatura. Mas no alcatrão os valores de K_{vert} e K_{leg} são superiores em comparação com o tartan (Ferris, Liang, & Farley, 1999). Os valores de K_{vert} e K_{leg} , pela literatura o valor de K_{vert} tem de estar entre os 25 a 35 kN/m para pisos como o alcatrão e para o tartan devia estar entre os 20 a 30 kN/m e para K_{leg} no alcatrão varia entre os 8 a 12 kN/m e no tartan entre os 6 a 10 kN/m (Ferris, Liang, & Farley, 1999). E os do presente estudo estão ligeiramente inferiores aos esperado, o que pode ser explicado pelo desempenho dos participantes (Ferris, Liang, & Farley, 1999). Mas os valores de ΔY e no ΔL no tartan estão ligeiramente acima, em comparação com valores de estudos anteriores, o que pode ser justificado pela menor qualidade técnica de corrida.

Considerando que observamos a F_{max} significativa nos ΔY e ΔL e na rigidez entre os pisos. A força máxima não apresenta diferenças significativas entre os pisos, tanto em N e como em BW. O tartan apresenta um maior deslocamento tanto no ΔY como no ΔL , na qual vai apresentar uma maior absorção de energia, com menor capacidade de reutilização.

5.2.2. Força, Potência, Velocidade

Na tabela 6, temos uma comparação entre os três pisos e as variáveis da cinética da força, velocidade, potência pela ANOVA. O tartan apresenta maior força e potência máxima, mas indica um efeito mais acentuado na relação força-velocidade. No alcatrão e madeira e caixa, a velocidade máxima é mais elevada, no tartan, a velocidade máxima diminui.

No declive força-velocidade, o alcatrão apresenta um maior desempenho em relação a força com a velocidade. Por outro lado, o tartan, tem um maior declive na eficiência da transferência de força para velocidade. Concluindo que, no tartan os valores são superiores na força máxima teórica, e inferiores na velocidade máxima teórica. O sprint tem como base a força máxima teórica do que a velocidade máxima teórica e o declive força-velocidade são mais inclinadas no tartan.

A potência máxima, no tartan apresenta valores superiores em relação ao piso de madeira e caixa de ar, mas muito próximos ao alcatrão. No RF max observamos que o alcatrão apresenta valores superiores e o tartan tem valores inferiores para a força que foi gerada pelos participantes nos diferentes pisos. O RF max indica que há um inferior contributo dos resultados do ΔY e ΔL . A comparação post-hoc, tabela 7, temos diferenças significativas entre os 3 pisos, como o tartan se destaca na F0 e V0, em comparação com o piso de madeira e caixa de ar e no alcatrão ($p < 0.001$). A Pmax, RFmax também apresentam um desempenho superior no tartan.

Os resultados estão dentro dos valores da literatura para os diferentes pisos, sendo que temos algumas variações. Segundo Samozino sa(2015) e Morin et al. (2005), os valores de F0 e V0 são por norma semelhantes, dependendo do piso e da rigidez muscular dos participantes. Mas os valores de F0 e Drf no tartan estão um pouco acima do esperado, sendo que F0 devia estar entre 6 e 10 N/kg e os valores de Drf deviam variar entre -5% e -9%, que possivelmente tem a ver com a técnica da corrida aplicada (Samozino, et al., 2015; Morin, Dalleau, Kyröläinen, Jeannin, & Belli, 2005).

No alcatrão, temos um equilíbrio entre a força, velocidade e eficiência mecânica, declive força-velocidade e menor declive da eficiência. O tartan, tem mais F0, mas compromete a velocidade e a eficiência da relação força-velocidade, apresentando um declive mais acentuado. Por fim o piso de madeira e caixa de ar fornece dados intermédios, com maiores velocidades teóricas, mas com potência e eficiência da relação força-velocidade inferiores comparando com o alcatrão.

5.3. Ensaio do LFWD

Pista de atletismo

Numa primeira parte verificamos uma diminuição do s/v do teste 1 para o teste 3, que vai implicar um aumento de $E_{vd} (MN/m^2)$ que sugere que o material está a tornar mais rígido à deformabilidade conforme o valor do s/v diminui. Este acontecimento é consequência do comportamento típico do material, mas considerando que os testes foram realizados numa pista de atletismo e só foram realizados em 25m da pista e esta mudança das variáveis pode ter a ver com a sua colocação.

Pavilhão

Inicialmente tivemos um aumento do teste 2 em relação ao teste um na variável s/v e num teste 3 temos uma redução do teste 2. Sendo que temos um aumento progressivo de $E_{vd}(MN/m^2)$, do teste 2 e para o teste 1 e depois do teste 3 para teste o 2, o que pode dizer que o material se torna mais rígido, mas no teste 3 temos uma queda do s/v , mas o módulo $E_{vd}(MN/m^2)$ aumenta substancialmente, que se pode dever a estar no limite da caixa de ar e as molas ao longo do pavilhão e o teste 3 fica na linha onde terminam estas características, mas o teste 1 foi feito perto da parede do pavilhão e que faz com que as ondas não se propagem.

Alcatrão

Para a variável s/v temos mudanças muito leves nos diferentes testes, mas para o módulo $E_{vd}(MN/m^2)$ temos uma diminuição progressiva o que nos indica que o material vai perdendo a sua rigidez a medida que os testes avançaram. Temos uma relação inversa entre s/v e $E_{vd}(MN/m^2)$ nos testes. A taxa de deformação aumenta subtilmente no teste 2 mas depois diminui do teste 3, mas o módulo de deformação diminui subitamente. Isto pode indicar que o piso não foi bem construído que tem sítios que tem material mais rígido e outros sítios menos rígidos o que comprova esta variação.

Comparação dos 3 pisos

A pista de atletismo e o alcatrão tem comportamentos opostos. Na tabela 8, o s/v diminui e o $E_{vd}(MN/m^2)$ aumenta, sugerindo que a medida que a deformação diminui, o material aumenta a sua rigidez. Na tabela 10, o s/v encontra-se relativamente constante, mas o $E_{vd}(MN/m^2)$ diminui ao longo dos testes, o que nos indica que a uma perda de rigidez significativa, o que concluímos que a sua resistência não se mantém.

Para o pavilhão temos um caso intermedio, a taxa de deformação é a mais elevada em relação os outros pisos. Sendo que esta taxa pode ser devido a resposta diferente às considerações diferentes dos testes. A rigidez $E_{vd}(MN/m^2)$ aumenta de maneira moderada, o diz que remos um material com estabilidade.

5.4. Comparação dos pisos com o comportamento Biomecânico

No módulo de deformabilidade E_{vd} temos a rigidez do piso, sendo que quanto mais alto o valor maior rigidez. O tartan tem valores de deformabilidade altos, o que podemos dizer que é um piso rígido, mas ainda relativamente macio comparando com outros pisos. Isto de acordo com o desempenho biomecânico vai aumentar o tc com o solo e diminui a FC e um aumento no ΔY , que sugere um maior amortecimento no tartan, que devido ao amortecimento permite ter um maior ΔY do corpo durante o movimento o que implica uma resposta mais lenta. No piso de madeira e caixa de ar podemos indicar que é o piso mais macio no estudo, o que implica a nível do desempenho biomecânico uma velocidade mais elevada e um ΔY mais elevado que no alcatrão, mas menor no tartan, o que podemos indicar que tem algum amortecimento. Mas este tipo de piso por ser macio um maior ΔY do corpo durante a corrida, o que faz que tenha uma menor eficiência para sprint. No alcatrão tem uma elevada rigidez, o que indica um piso muito rígido, que afeta no desempenho biomecânica no tc que é menor, que vai indicar uma resposta mais rápida do solo, uma elevada FC que diz que aumenta a passada, que pode ter influência da rigidez do solo, e por fim um ΔY menor, que indica uma absorção do impacto, tendo uma resposta menor absorção de impacto. O alcatrão de acordo com o desenvolvimento mecânico para F0 tem um maior impacto, devido a sua rigidez, enquanto o piso de madeira e caixa de ar é o mais macio e diminui o impacto. Na V0 o piso de madeira e caixa de ar é mais favorável em termo de velocidade uma vez que reduz o impacto, sendo que acontece o contrário no alcatrão. No piso de madeira e caixa de ar temos uma diminuição da Pmax com boa absorção devido a característica do piso, pelo contrário o alcatrão apresenta uma elevada Pmax e o tartan um impacto medio devido ao piso ter uma combinação de amortecimento e rigidez. Para FV Slope o piso de madeira de acordo com o comportamento biomecânico é favorável enquanto o alcatrão tem uma alta rigidez, que faz com que gere mais impacto. O tartan de acordo com de desempenho para Dfr e RF max apresenta um equilíbrio de absorção com a eficiência do sprint.

Capítulo 6

6.1. Aplicações

O tema desta dissertação pode ter diversas aplicações, desde o desporto de rendimento até à prevenção de lesões em praticantes de corrida de diferentes níveis competitivos. Na prevenção das lesões, podemos adaptar o calçado às características do piso, considerando a sua alta ou baixa rigidez ou o amortecimento, a fim de oferecer um maior conforto do corredor nos diversos pisos. Além disso, através da análise biomecânica, podemos identificar qual o tipo de piso mais seguro para a prática de corrida, para atletas prevenirem lesões ou até mesmo recuperar delas.

Podemos otimizar os treinos e compreender as dificuldades de cada atleta em diferentes pisos, ajustando os treinos de forma a maximizar o seu desempenho. A biomecânica ajuda os atletas a encontrar certos desafios e a desenvolver estratégias, permitindo ajustar a técnica de corrida garantindo um bom alinhamento corporal e eficiência muscular. Com a utilização de diversos pisos, podemos maximizar o rendimento em competições. A personalização de treinos permite ajustar a carga em função do terreno, e a tecnologia dos sensores possibilita a monitorização do impacto mecânico em tempo real.

6.2. Limitações

Ao longo desta dissertação, encontramos diversas limitações. A principal foi no recrutamento dos participantes, uma vez que estes se tinham de deslocar aos diferentes locais em horários específicos durante a realização do estudo.

Uma segunda limitação refere-se ao nível de proficiência na execução da técnica de corrida dos participantes. Estes apresentavam um nível não competitivo, o que os torna menos representativos de grupos demográficos que praticam esta atividade forma regular.

A terceira limitação foi a impossibilidade de todos os participantes usarem o mesmo modelo de calçado desportivo. No entanto, cada participante utilizou o mesmo calçado nas três condições, a fim de minimizar os efeitos de viés nas comparações intra-individuais.

6.3. Conclusão

Para se chegar a conclusões mais precisas do nosso estudo, inicialmente realizamos um estudo piloto, com um participante de cada sexo. Só posteriormente foram analisados todos os participantes para obter os dados da cinemática e da cinética nos modelos de massa e molas, e, por fim, da força, potência e velocidade. Realizamos também um ensaio do LFWD para cada piso.

Na parte da cinemática, podemos concluir que o piso escolhido influencia as variáveis em estudo. O tartan apresenta melhor flexibilidade e absorção de impacto, que resulta num maior t_c e v e maior DC e menor FC. Em comparação, o piso de madeira e caixa de ar tem uma maior FC, mas a v tem uma diferença significativa em relação ao alcatrão. Assim, concluímos que o tartan é o mais favorável, sendo um piso com mais vantagem e comparação com os outros pisos.

No estudo cinético da modelação das massas e molas, podemos concluir que o tipo de piso escolhido tem impactos nas variáveis do ΔY e ΔL e no K_{vert} e K_{leg} . O tartan, é o piso mais flexível, pois apresentou um maior ΔY e ΔL e um maior t_c e t_f , o que nos diz que temos maior absorção de impacto e menor rigidez. O que podemos dizer que este tipo de piso exige menos dos músculos inferiores que reutiliza a energia e funciona como uma “mola”, ao contrário dos outros pisos que aumentam a rigidez das pernas e dos membros inferiores.

No estudo cinético da modelação da força, potência e velocidade podemos concluir que o tartan, sendo macio, favorece a força e P_{max} , mas compromete a velocidade máxima e S_{fv} . O alcatrão e o piso de madeira e caixa de ar, são mais rígidos o que faz com que a velocidade máxima aumente e a S_{fv} seja mais eficiente. O alcatrão proporciona um equilíbrio favorável entre a força e velocidade. O tartan é vantajoso para F_{max} , mas o alcatrão se destaca na velocidade.

No estudo do ensaio do LFWD, podemos concluir que o tipo de piso tem influência no comportamento biomecânico da corrida. No tartan, temos um piso que torna mais rígido a medida que o teste avançou, o que aumenta a resistência ao impacto. O alcatrão, por sua vez, perdeu rigidez à medida que o teste avançou, o que indica que a resistência diminui com o uso. Mas o piso de madeira e caixa de ar temos uma maior deformação, mas a rigidez mantém-se sempre estável, o que indica um bom equilíbrio entre a absorção do impacto e resistência.

Para concluir, realizamos uma comparação entre a rigidez dos pisos com a sua influência do desempenho biomecânico da corrida. O alcatrão sendo rígido, favorece uma passada rápida e uma maior FC, mas apresenta pouca absorção do impacto-O piso de madeira e caixa de ar é mais macio, aumentando a velocidade e o deslocamento, embora tenha menor eficiência em sprints. Por fim, o tartan, que possui um amortecimento moderado, resulta em um aumento no tempo de contato e no deslocamento do corpo, mas tivemos uma redução da eficiência do sprint.

7. Bibliografia

- Adão, C., & Adão, D. (2003). Modelling of the dynamic load plate test with the Light Falling Weight Device. Vienna: Asian Journal of Civil Engineering.
- Albano, J. F. (2016). *Vias de Transporte*. Porto Alegre: Bookman.
- Amundsen, F. (n.d.). *A Influência dos tipos de pisos na corrida*. Retrieved from A minha corrida: <https://aminhacorrida.pt/a-influencia-dos-tipos-de-pisos-na-corrida/>, Consultado a 23 de maio de 2024.
- Assessorcor. (2016). *Corrida em diferentes pisos*. Retrieved from ASSESSOCOR: https://www.assessorcor.com.br/noticias.aspx?CORRIDA+EM+DIFERENTES+PISOS&__idNot=208, Consultado a 23 de maio de 2024.
- Baker, J. M. (2017). Gait Disorders. *The American Journal of Medicine*, Volume 131, Edição 6, pp 1-6.
- Barbosa, T. (2010). *Introdução à Biomecânica*. IPB: Bragança.
- BMClab. (2015). *Método de Avaliação Biomecânica da Corrida*. Retrieved from Laboratório de Biomecânica e Controle Motor: <https://bmclab.pesquisa.ufabc.edu.br/servicos/rba-2/metodo-de-avaliacao-biomecanica-da-corrida/>, consultado a 20 de março de 2024.
- Branco, F., Pereira, P., & Santos, L. P. (2016). *Pavimentos Rodoviários*. Coimbra.
- Brochado, J. C. (2016). *Análise biomecânica da influência do calçado desportivo na corrida*. IPB: Bragança.
- Bruneira, C. A. (1998). *Análise Biomecânica da Locomoção Humana: Andar e Correr*. Treinamento Desportivo: Universidade Estadual de Londrina.
- Calhau, A., Pisco, A., Valente, L., & Santos, N. (2007-2008). *Análise cinemática da marcha*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.
- Carlos Amadio, A. &. (2007). *Contextualização da biomecânica para a investigação do movimento: fundamentos, métodos e aplicações para análise da técnica*

esportiva. Revista Brasileira de Educação Física e Esporte: Universidade de São Paulo .

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*, pp. Volume 4, pp1-24.

Completo, A., & Fonseca, F. (2011). *Fundamentos de Biomecânica*. Porto: Publindústria. Departamento Nacional de Infratuturas de Transportes. (2006). *Manual de Pavimentação*. Ministério dos Transportes: Rio de Janeiro.

Dicharry, J. (2010). *Cinemática e Cinética da marcha: Do laboratório à clínica*. Elsevier: Neerlandesa.

Elhakim, A. F., Elbaz, K., & Amer, M. I. (2014). “The use of light weight deflectometer for in situ evaluation of sand degree of compaction. *HBRC- Journal*, Volume 10, pp 298-307.

Estrázulas, J. e. (2009). Características biomecânicas da marcha em crianças, adultos e idosos. p. Volume 14. Retrieved from Características biomecânicas da marcha em crianças, adultos e idosos: www.efdeportes.com

Ferris, D. P., Liang, K., & Farley, C. T. (1999, March 8). Runners adjust leg stiffness for their first step on a new running surface. *Journal of Biomechanics*, pp. 787-794.

Ferro-Sánchez, A., Martín-Castellanos, A., Rubia, A. d., García-Aliaga, A., Hontoria-Galán, M., & Marquina, M. (2023). An Analysis of Running Impact on Different Surfaces for Injury Prevention. pp. Volume 20, pp-6405-6405.

Filho, E. G. (2020). *Rigidez da Perna na Corrida recreacional e sua relação com assimetrias bilaterais, testes funcionais e com a força de membros inferiores*. Londrina: Universidade Estadual de Londrina.

Fitpeople. (2019). *Vantagens e desvantagens de correr em superfícies diferentes*. Retrieved from <https://fitpeople.com/pt/cardio/corrida/vantagens-e-desvantagens-de-correr-em-superficies-diferentes/>, Consultado a 13 de abril de 2024.

- Fukuchi, R. K., & Duarte, M. (2016). *Biomecânica da corrida*. UFABC: Brasil.
- Hardin, E. C., Van Den Boget, A. J., & Hamill, J. (2003). Kinematic Adaptations during Running: Effects of Footwear, Surface, and Duration. *MEDICINE & SCIENCE IN SPORTS & EXERCISE*, pp. pp 838-844.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement analysis and design*. Upper Saddle River.
- Iyer, K. (2020). *The Science Behind Running Power*. Retrieved from Geeks on Feet: <https://geeksonfeet.com/blog/science-runningpower/>, Consultado a 5 de fevereiro de 2024.
- Jafarnezhadgero, A., Amirzadeh, N., Fatollahi, A., Siahkoughian, M., Oliveira, A. S., & Granacher, U. (2022, January 13). Effects of Running on Sand vs. Stable Ground on Kinetics and Muscle Activities in Individuals With Over-Pronated Feet. *frotiers*, p. Volume 12.
- Jean-Benoit, M., & Pierre, S. (2018). Innovative Concepts and Simples Field Methods. In J.-B. Morin, & P. Samozino, *Biomechanics of Training and Teste* (pp. 237–267).
- Jin, L., & Hahn, M. E. (2022). Relationship between Joint Stiffness, Limb Stiffness and Whole–Body Center of Mass Mechanical Work across Running Speeds. *Biomechanics-MPDI*, pp. Volume 2, pp 441-452.
- João Paulo Vilas-Boas. (2016). *Biomecânica do Desporto a Biomecânica na Avaliação do Movimento Desportivo e no Fornecimento de Feedback ao Executante*, Instituto Português do Desporto e Juventude.
- Jones, P. (2023). *Curve Your Speed: Biomechanical Insights Into Developing Curvilinear Running Speed*. Retrieved from Science of Multi-Directional Speed: <https://sciofmultispeed.com/curved-sprinting-101/>, Consultado a 20 de Janeiro de 2024.
- Kenneth, P. C., Laurence, J. R., & Peter, G. W. (2017). A general relationship links gait mechanics and running ground reaction forces. *Journal of Experimental Biology*, pp. Volume 220,n2,pp 247-258.
- Kolodi, W. E. (2023). *Avaliação do comportamento mecânico e funcional de uma estrada de baixo volume de tráfego não pavimentada*. IPB: Bragança.

- Krzeszowski, T., Switonski, A., Kepsk, M., & Calafate, C. T. (2022). Intelligent Sensors for Human Motion Analysis. pp. Volume 22,n13, pp 4952.
- Kulmala, J.-P., Korhonen, M. T., & Kuitunen, S. (2013). Running in different shoes. *Journal of Biomechanics*, pp. Volume 27,n9,pp 956-963.
- Lejeune, T. M., Willems, P. A., & Heglund, N. C. (1998). Mechanics and Energetics of Human Locomotion on Sand. *Journal of Experimental Biology*, pp. Volume 201, n13, pp2071-2080. Retrieved from Journal of Experimental Biology.
- Leyva, W. D., Wong, M. A., & Brown, L. E. (2017). Resisted and Assisted Training for Sprint Speed:A Brief Review. *Journal of Physical Fitness, Medicine & Treatment in Sports*, pp. Volume 657, pp278-284.
- Liu, L., Cooper, J. L., & Ballard, D. H. (2021). Computational Modeling: Human Dynamic Model. *frontiers in Neurorobotics*, p. Volume 15.
- Maganhoto, T., Torro, T., Rebelo, P., Freitas, T., Campos, A., Ribeiro, D., & Oliveira, C. (n.d.). *Análise Cinemática e Cinética da Marcha Normal – Uma Revisão Bibliográfica*. FCS-UNIVAP; IP&D-UNIVAP.
- Marques, D. M. (2015). *Controlo de Qualidade de Estradas de Baixo Volume de Tráfego*. FCT: Lisboa .
- Materials, A. S. (2011). *E2835 - 11: Standard Test Method for Measuring Deflections using a Portable Impulse Plate Load Test Device*. West Conshohocken.
- McMahon, T. A. (1984). *Muscles, Reflexes, and Locomotion*. Princeton University Press: Oxford .
- Milosevic, B., Leardini, A., & Farella, E. (2020). Kinect and wearable inertial sensors for motor rehabilitation programs at home: state of the art and an experimental comparison. *BioMedical Engineering Online*, pp. Volume 24, pp19.
- Miyashiro, K., Nagahara, R., Yamamoto, K., & Nishijima, T. (2019). Kinematics of Maximal Speed Sprinting With Different Running Speed, Leg Length, and Step Characteristics. *fortiers*, pp. 1-37.
- Monteiro, W. D., & Soares de Araújo, C. G. (2001). Transição caminhada-corrída: considerações fisiológicas e perspectivas para estudos futuros. pp. 207-222.

- Morin, J.-B., Dalleau, G., Kyröläinen, H., Jeannin, T., & Belli, A. (2005). A Simple Method for Measuring Stiffness During Running. *Journal of Applied Biomechanics*, pp. 167-180
- Nazzari, M. D., Abu-Farsakh, M. Y., Khalid, & Louay. (2007). *Evaluating the Light Falling Weight Deflectometer Device for In Situ Measurement of Elastic Modulus of Pavement Layers*. National Academy of Sciences : Washington D.C.
- Nigg, B. M., Mohr, M., & Nigg, S. R. (2017). Muscle tuning and preferred movement path – a paradigm shift. *Current Issues in Sport Science*, pp. 1-11.
- Nogueira, M. M. (2008). *Análise e comparação das alterações biomecânicas associadas à corrida de velocidade com arrasto*. Universidade do Porto: Porto.
- Nummela, A. T., & Keränen, T. (2007). Factors Related to Top Running Speed and Economy. *International Journal of Sports Medicine*, 665-661.
- Osorio, J. H., & Valencia, M. H. (2013). Universidad de Manizales. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273828094009>, consultado a 10 de abril de 2024
- Paulo, A. (n.d.). *Simulação Musculoesquelética e Controlo Neuromuscular: OpenSim*. Lisboa: Núcleo de estudantes de Engenharia Biomédica e Biofísica.
- Petróleos, C. P. (2014). *Manual de Pavimentação*. Portugal:Lisboa.
- Pinto, F. (2014). *A importância do calçado desportivo*. Retrieved from <https://100metros.wordpress.com/2014/03/09/a-importancia-do-calcado-desportivo/>, Consultado a 17 de março de 2024.
- Plati, C. (2019). “Sustainability factors in pavement materials, design, and preservation strategies: A literature review. pp. Volume 211, pp 539-555.
- Rodrigues, M. E. (2019). *Análise da técnica de corrida por meio de variáveis biomecânicas em corredores de rua de diferentes faixas etárias*. Universidade Federal de Uberlândia: Uberlândia.
- Samozino, P., Dorel, S., Rabita, G., Slawinski, J., Peyrot, N., Villarreal, E. S., & Morin, J. -B. (2015). A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in*

- sprint running: Simple method to compute sprint mechanics*, pp. Volume 48, n7, pp 1472-1477.
- Shell. (2015). *The shell bitumen handbook*. Londres.
- Silva, J. d. (2015). *Repercussões biofísicas da locomoção de crianças pré-pubertárias com cargas às costas.as implicações da utilização de mochilas escolares*. Universidad de Valladolid.
- Silva, J. G. (2019). *Análise dos parâmetros espaço temporais do sistema massa mola em corridas na velocidade preferida e sugerida*. . UFPE: Vitória de Santo Antão .
- Sousa, A. S. (2010). *Controlo Postural e Marcha Humana: Análise Multifatorial*. Porto: FEUP. Retrieved from Painel personalizado da placa da covinha estampada: <https://www.paulmueller.com/heat-transfer/custom-stamped-dimple-plate-panel>, Consultado a 18 de março de 2024.
- Spiegato. (n.d.). *Qual é a biomcânica da caminhada?* Retrieved from Spiegato: <https://spiegato.com/pt/qual-e-a-biomecanica-da-caminhada>, Consultado a 10 de agosto de 2024.
- Stasulli, D. (n.d.). *Comparing the Biomechanical Demands of Different Running Surfaces*. Retrieved from Freelap Freedom of timing: <https://www.freelapusa.com/comparing-the-biomechanical-demands-of-different-running-surfaces/>, Consultado a 26 de Fevereiro de 2024.
- Tai, W.-H., Zhang, R., & Zhao, L. (2023). Cutting-Edge Research in Sports Biomechanics: From Basic Science to Applied Technology. *bioengineering*, pp. Volume 10,n6, pp668-668.
- Teixeira, J. E., Forte, P., Ferraz, R., Branquinho, L., Leal, M., Ribeiro, J., . . . Barbosa, T. M. (2022). Measuring power, force, velocity, and mechanical effectiveness in Football: Theoretical Considerations. pp. 1-15.
- Thomas, H., David, M., & Gertjan, E. (2019). *European Jormal of Applied Physiology*. In T. Haugen, D. McGhie, & G. Ettema, *Sprint running: from fundamental mechanics to practice—a review* (pp. 1273–1287).
- Vasconcellos, E. A. (2006). *Transporte e meio ambiente: conceitos e informações para análise de impactos*. São Paulo.

Zorn. (2016). *User Manual for Light Weight Deflectometer (LWD) ZFG 3.0*. Stebdal, Germany: Zorn Instruments.

Apêndice 1



Parecer

Dados do Funcionário

Nome: Ana Maria Nunes Português Galvão

Email: anagalvao@ipb.pt

Filiação: /Comissões Especializadas/Ética/Presidente

Parecer

Somos de parecer favorável ao desenvolvimento o estudo "Estudo da influência do tipo de piso na biomecânica da corrida" com o objetivo de determinar a influência da rigidez de diferentes tipos de pisos na biomecânica da corrida.

Data

06/02/2024