

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA**

**Daniele Cristine da Silva Gomes**

**A INFLUÊNCIA DA DUREZA DA ENTRESSOLA EM CALÇADOS ESPORTIVOS  
NO AMORTECIMENTO DE IMPACTO EM CORRIDAS: uma revisão sistemática**

**Porto Alegre**

**2013**

**Daniele Cristine da Silva Gomes**

**A INFLUÊNCIA DA DUREZA DA ENTRESSOLA EM CALÇADOS ESPORTIVOS  
NO AMORTECIMENTO DE IMPACTO EM CORRIDAS: uma revisão sistemática**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Escola de Educação  
Física da Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul como pré-requisito para  
obtenção do título de licenciada em  
Educação Física.

**Orientador: Prof. Jefferson Fagundes Loss**

**Porto Alegre**

**2013**

**Daniele Cristine da Silva Gomes**

**A INFLUÊNCIA DA DUREZA DA ENTRESSOLA EM CALÇADOS ESPORTIVOS  
NO AMORTECIMENTO DE IMPACTO EM CORRIDAS: uma revisão sistemática**

**Conceito Final:**

**Aprovado em ..... de ..... de .....**

**Banca Examinadora**

---

---

**Prof. Jefferson Fagundes Loss**

## AGRADECIMENTOS

Finalmente esse ciclo se fecha, e tenho muito a agradecer. Primeiramente agradeço à **Deus** por todas as oportunidades que surgiram e que fazem hoje com que eu conte tantas histórias boas. Me sinto abençoada por estar concluindo essa etapa e ter conhecido tanta gente bacana.

Agradeço a Srta. que mais admiro na vida, mulher de força, fibra, coragem, que sempre me incentivou e incentiva à correr atrás dos meus sonhos, minha **Mãe**. Mãe obrigada por toda dedicação, carinho e empenho durante todos esses anos, você com certeza é a melhor mãe do mundo! **Vô** obrigada por ter sido um dos, se não o, mais forte dos meus alicerces, sem você eu não teria disciplina para buscar meus sonhos. **Vó** obrigada por ter dedicado tantos anos de vida à nós. Exemplo de bisavó, mãe, que sempre nos acolheu mostrando que amor, carinho, solidariedade, paciência são virtudes dos vencedores. Obrigada **Pai** por ter me ensinado que tudo é possível quando a gente quer e acredita, e apesar da distância, sempre o tive como referência de saúde e persistência. Palavras não descrevem a gratidão e o amor que sinto por vocês!

Obrigada **Diogo** por todos esses anos juntos. Obrigada pelos incentivos, por me ensinar a ver os fatos sob outros ângulos, pela paciência, mas principalmente por me fazer acreditar no amor. Obrigada **Tia Neca, Tio Anselmo, Cássia, Cassiele, Kiko, Jonathan e Emilly** por todo incentivo, principalmente o de relaxar, e por entenderem minha ausência nessa correria do dia-a-dia. Obrigada **Cacá, Robertinho, Vó Regina, Vô Roberto, Lucas, Géssica, Martina** (que em breve estará entre nós) por me acolherem tanto e me fazerem parte dessa família que admiro muito.

Obrigada aos Professores de Educação Física que sem querer (querendo) me fizeram seguir essa profissão, prof<sup>a</sup>. **Rose**, prof. **Matheus**. Obrigada aos profs. que conheci ao longo do caminho e que me fizeram descobrir uma nova e apaixonante área em minha carreira, entre eles prof. **Alexandre Greco** e prof<sup>a</sup>. **Mônica Tagliari**.

Obrigada à todas instituições que passei como estudante e/ou como estagiária, que me ensinaram direta ou indiretamente minha profissão, agradeço principalmente à **Studio Movimentos, Studio Core, Sport Fitt, Body Sull e Cia Athletica**. Obrigada por terem acreditado em mim e em meu trabalho! Obrigada principalmente aos **alunos e alunas**, que fazem nossa profissão ainda mais gratificante. Obrigada principalmente às turmas de **Zumba e Dança de Salão** que são minhas baterias para continuar no caminho. Obrigada à todos **colegas e alunos da Cia Athletica** que não mediram esforços para que eu não fosse embora.

Obrigada à **todos** meus **amigos e amigas**, obrigada principalmente aqueles que de alguma forma incentivaram para que eu concluísse essa etapa. Obrigada **Kelly, Paula, Giu, Dudu, Taty, Matheus, Aline Rolim, Pati Regadas, Grace, Carol, Paulão, Luciano, Renata, Aninha...**

Obrigada aos grupos: Programa de Educação Tutorial (PET), Núcleo de Pesquisas em Psicologia e Pedagogia do Esporte (NP3-Esporte), Grupo de Pesquisa em Biomecânica e Cinesiologia (GPBIC), Grupo de Investigação da Mecânica do Movimento (BIOMECH). Obrigada à prof<sup>a</sup>. **Janice**, Prof. **Balbinotti**, Prof. **Saldanha** pelos ensinamentos. Obrigada Prof. **Marco Vaz** e colega **Rodrigo Rodrigues** pela oportunidade de apresentar um trabalho que foi meu primeiro prêmio destaque de iniciação científica. Obrigada principalmente à prof. **Jeffe, Naomi, Débora**, por terem me acolhido, me incentivado, questionado, escutado minhas dúvidas e lamúrias, e por terem acreditado em mim. Vocês realmente fizeram a diferença! OBRIGADA!

Obs: poderia fazer um livro só de agradecimentos. Como não é possível no momento, agradeço pessoalmente, ok? \ó/

## RESUMO

Os calçados esportivos têm sido desenvolvidos principalmente com o objetivo de reduzir o impacto repetitivo, ajudando a prevenir a integridade física dos corredores. Dentre as partes que constituem o calçado, a entressola é a principal responsável pela atenuação desse impacto. Essa atenuação é influenciada por características mecânicas da entressola, em especial a sua dureza. Assim, o objetivo dessa revisão sistemática foi investigar a influência da dureza da entressola no amortecimento do impacto durante a corrida. Para isso, foi feita uma busca em bases de dados (Science Direct, Pub Med e Scopus) em maio de 2013, sem limitação de período. Foram incluídos estudos experimentais que compararam impacto ou absorção do impacto em diferentes calçados, testados por indivíduos fisicamente ativos. Dos 1036 artigos encontrados, cinco foram incluídos na revisão sistemática. Esses artigos compararam diferentes durezas de entressola, encontrando que o Tempo de Ocorrência do Primeiro Pico de Força Vertical aconteceu tardiamente quando entressola mais macia foi utilizada. Por outro lado, foram divergentes os resultados em relação à magnitude do Primeiro Pico de Força Vertical, à Taxa de Aplicação de Força, bem como ao Pico Máximo da Força Ativa. Portanto, sugere-se que as diferentes durezas de entressolas podem influenciar de forma discreta no amortecimento de impacto da corrida.

**PALAVRAS-CHAVE:** Amortecimento, corrida, sapatos, dureza, biomecânica.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Partes Principais do Calçado: Cabedal, Entressola e Sola.....	8
<b>Figura 2</b> – Representação gráfica das principais variáveis analisadas no estudo na força reação do solo vertical durante a corrida.....	10
<b>Figura 3</b> – Estratégia de Busca.....	13
<b>Figura 4</b> – Modelo de Sistema de Amortecimento de Molas.....	19
<b>Figura 5</b> – Curva de carga-deslocamento retirado de um instrumentado teste de impacto no calcanhar em calçado experimental.....	20

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>2. MÉTODOS</b> .....	<b>13</b>
2.1 ESTRATÉGIA DE BUSCA .....	13
2.2 PROCEDIMENTOS DE INCLUSÃO/EXCLUSÃO .....	13
<b>3. RESULTADOS</b> .....	<b>14</b>
3.1 PRIMEIRO PICO DE IMPACTO DE FORÇA VERTICAL.....	16
3.2 TEMPO DE OCORRÊNCIA DO PRIMEIRO PICO DE IMPACTO DE FORÇA VERTICAL.....	16
3.3 TAXA DE APLICAÇÃO DE FORÇA .....	17
3.4 PICO DE PROPULSÃO DA FORÇA VERTICAL .....	17
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	<b>18</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>23</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>24</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os calçados têm a função de proteger nossos pés durante a locomoção (LAKE, 2000; DIVERT et al., 2005; AZEVEDO et al., 2012). Resguardam a base de nosso corpo de circunstâncias ambientais, superfícies ásperas, temperaturas adversas (HEIDENFELDER et al., 2010), choques de objetos, e ainda podem diminuir cargas mecânicas recebidas pelo corpo (AZEVEDO et al., 2012). A crescente popularização do fitness e da corrida no início da década de 1970, tornaram a pesquisa sobre calçados um ramo atraente para os pesquisadores (NIGG et al., 2005). Desde então, eles têm sido estudados frequentemente no campo da biomecânica (LEE et al., 2011).

Fatores como a melhora do desempenho esportivo (LAKE, 2000), o movimento de retropé em excesso, colisões, altas forças de impacto, entre outros, influenciam nas diferentes construções dos calçados de corrida (MILANI et al., 1997). Essas características os diferenciam de sapatos comuns, uma vez que são desenvolvidos para fornecer tração, controlar o movimento de retropé, (McPOIL, 2000) e reduzir o impacto repetitivo (CLARKE et al., 1983; McNAIR; MARSHALL, 1994; LAKE, 2000; HEIDENFELDER et al., 2010). Assim, os calçados podem ajudar a atuação das estruturas corporais que naturalmente absorvem o impacto no corpo - calcanhar, ossos, músculos - (CLARKE et al., 1983), buscando a prevenção de lesões (LAKE, 2000) e o conforto (MILANI et al., 1997).

Os calçados esportivos são compostos por três partes principais: cabedal, entressola e sola. O cabedal é a parte de cima do calçado em contato direto com o dorso dos pés. No calçado de corrida esta parte é geralmente constituída por tecido transpirável como nylon. Já a sola, parte inferior do calçado é a região em contato direto com o solo, e é a região responsável pela promoção da aderência ao solo. No calçado de corrida, normalmente é constituída de borracha e também tem o papel de proteger a entressola de uma abrasão excessiva. E por fim existe a entressola, que é geralmente constituída de um material elástico complacente, posicionado entre o cabedal e a sola exterior do calçado (SHORTEN, 1993) (Figura 1). A entressola tem como função principal atenuar ou amortecer as forças de impacto que atuam sobre o corpo. Age como uma camada de proteção entre o pé e o solo, e reduz a magnitude

do pico de pressão através da distribuição das forças plantares que atuam nos pés sobre uma área de superfície maior (McPOIL, 2000). A influência da entressola na biomecânica da corrida tem sido estudada por diversos autores na literatura (CLARKE et al., 1983; NIGG et al., 1987; McNAIR; MARSHALL, 1994; KERSTING; BRUGGEMANN, 2006; HEIDENFELDER et al., 2010).

**Figura 1** – Partes Principais do Calçado: Cabedal, Entressola e Sola.



**Fonte:** Adaptado de <<http://www.papodeesteira.com.br/blogs/im-possivel/diga-me-onde-pisas-e-te-direi-o-que-usar/>>

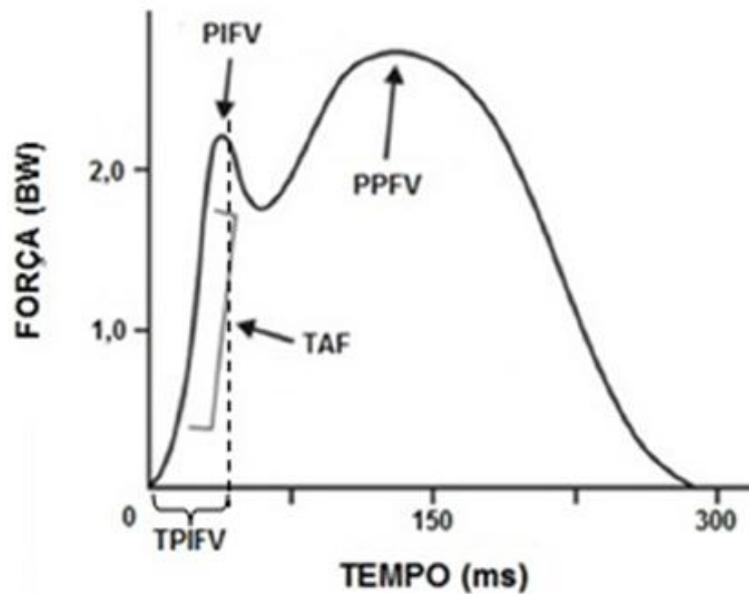
As entressolas dos calçados esportivos geralmente são fabricadas a partir de materiais como espuma de Etileno Acetato de Vinila (EVA) e Poliuretano (PU) (McPOIL, 2000; JENKIS; 2003). Espumas como as de EVA possuem células com gás que durante a corrida são comprimidas no sentido vertical, levando a perda desses gases e mudando a microestrutura dessas células. Consequentemente mudam também as características de absorção de impacto (MILLS, 2003). Uma das características físicas que distinguem estas espumas é a dureza. A dureza é uma medida de controle de qualidade para verificar o módulo de compressão de espumas poliméricas durante seu processo de fabricação (MILLS, 2003).

A dureza do calçado é uma propriedade física que pode ser mensurada com um durômetro, método de medição da resistência do material contra a compressão (NIGG et al., 1987). Segundo Jenkis (2003), as escalas comumente usadas são Asker C e Shore A. Nos testes de dureza, um pino de aço de cerca de um milímetro

de diâmetro é pressionado para dentro da superfície da espuma através de uma mola. Quanto maior a deformação elástica da superfície do material, menor é a sua dureza (JENKIS, 2003), ou seja, quanto mais macia e compressiva ela é, menor será o valor da escala (DUBOIS et al., 2002). A dureza, assim como a escala, pode ainda ser influenciada pela densidade do material. Para dado material, quanto menor a densidade, maior é a maciez. Espumas macias são mais confortáveis e leves se comparadas com materiais mais duros, que possuem maior resiliência (trabalho necessário para deformar um corpo até seu limite elástico) e *rebound* (absorção da energia do impacto e transformação sob a forma de trabalho positivo – absorção e impulsão) (DUBOIS, et al., 2002; NEWTON et al., 2007).

Conforme Clarke et al. (1983) sapatos macios prolongam o tempo de pico de impacto. O Impacto ou Força de Reação do Solo são as forças resultantes do toque do pé com o chão, o qual ocorre antes de 50 milissegundos após o primeiro contato com o solo (NIGG, 1999). Durante o ciclo da marcha, o indivíduo passa também pelo Pico Propulsivo ou Pico Passivo, ponto em que o pé de referência desloca-se do chão (SOUSA, 2009). Podemos avaliar o impacto de diferentes maneiras, entre as quais este estudo se deterá a quatro variáveis principais: Primeiro Pico de Impacto de Força Vertical (PIFV), Tempo de Ocorrência do Primeiro Pico de Impacto de Força Vertical (TPIFV), Taxa de Aplicação de Força (TAF), Pico de Propulsão da Força Vertical (PPFV) (Figura 2).

**Figura 2** – Representação gráfica das principais variáveis analisadas no estudo na força reação do solo vertical durante a corrida. PIFV – Primeiro Pico de Impacto de Força Vertical; PPFV – Pico de Propulsão da Força Vertical; TAF – Taxa de Aplicação de Força; TPIFV – Tempo de Ocorrência do Primeiro Pico de Impacto de Força Vertical.



**Fonte:** Adaptado de <<http://purposefulmovement.wordpress.com/2012/05/14/>>

O PIFV ocorre nos primeiros 20 – 30 ms depois de o pé ter tocado o solo, é uma força resultante do impacto do pé com o solo (CLARKE et al., 1983), expresso em unidade de força (newtons), ou normalizado pelo peso corporal (BW). O TPIFV é o tempo que o primeiro pico leva para acontecer, expresso em unidades de tempo (ms ou s). A TAF corresponde ao maior quociente diferencial dos valores da força de reação do solo verticais adjacentes dividido pelo tempo (MILANI et al., 1997), expressa em unidades de força pelo tempo, ou ainda normalizada pelo peso corporal. E o PPFV é a maior quantidade de força que ocorre durante o tempo em que esta sendo aplicada ativamente no solo (impulsiona o corredor para o ar no próximo passo) (CLARKE et al., 1983), expresso em unidades de força, ou normalizado pelo peso corporal.

As forças de impacto são variáveis importantes que devem ser estudadas para compreender a etiologia de algumas lesões (NIGG et al., 1987). Fatores externos como a dureza da entressola podem influenciar diretamente na absorção do choque repetitivo. Portanto, a proposta desse estudo é investigar na literatura existente qual

a influência da dureza da entressola no amortecimento do impacto durante a corrida. Lembrando que o conhecimento sobre as modificações funcionais dos calçados para afetar a atenuação de choque é um fator chave não só para o desenvolvimento de calçados de corrida (NIGG et al., 1987), mas também para que possamos resguardar a integridade física dos corredores.

## 2. MÉTODOS

### 2.1 ESTRATÉGIA DE BUSCA

A busca incluiu as bases de dados online Science Direct, Pub Med e Scopus, e foi realizada em maio de 2013. Foram utilizados os seguintes descritores: [(Runners OR running OR Runnings OR jogging) AND (Footwear OR running shoes OR barefoot OR shod OR shoe OR shoes OR sport shoes) AND (Impact OR shock absorpchon OR shock attenuation OR ground reaction forces)], limitado em palavras-chave, títulos e resumos, sem ressalvas quanto ao tipo de estudo, idioma ou data de publicação. Para serem incluídos na revisão, os artigos foram avaliados por dois examinadores independentes em três etapas: primeiramente pelo título, se o título estivesse de acordo, avaliávamos o resumo e se passasse dessa etapa, averiguávamos a obra completa.

### 2.2 PROCEDIMENTOS DE INCLUSÃO/EXCLUSÃO

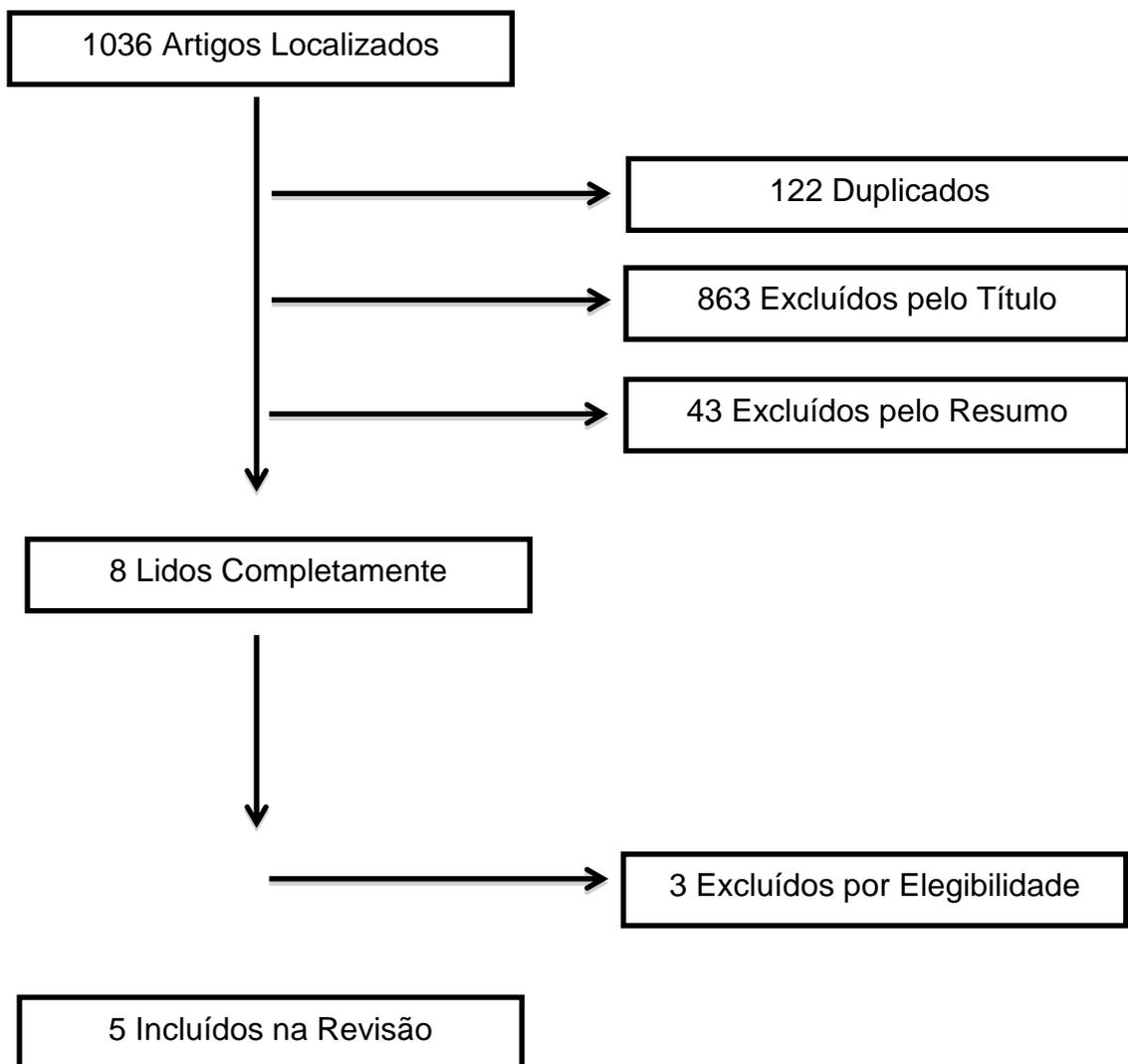
Para ser considerado elegível para a inclusão, ao estudo deveria apresentar os seguintes critérios: (1) utilizar calçado (tênis, tênis minimalista, sapato social, sandália, ou outro) (2) comparar o impacto e/ou a absorção do impacto entre calçados ou acessórios durante a corrida; (3) ter amostra composta por pessoas fisicamente ativas, independente do sexo.

Foram fatores de exclusão: (1) estudos que não compararam diferentes durezas de entressola nos calçados; (2) estudos que utilizavam esteiras no protocolo de avaliação; (3) amostras que utilizavam crianças; (4) órteses; (5) próteses; (6) palmilhas; (7) estudos que tinham o foco em fadiga ou lesões; (8) revisões sistemáticas, revisões de literatura, ou estudos que não possuíssem as descrições de dureza das condições de calçado utilizadas na comparação, ou que mesmo entrando em contato com os autores essas condições não foram informadas.

Em alguns estudos houve divergência entre os avaliadores. Esses casos foram discutidos até que os mesmos entrassem em um consenso. Não houve necessidade de um terceiro avaliador.

### 3. RESULTADOS

A pesquisa em banco de dados resultou num total de 1.036 artigos. Após a exclusão de artigos duplicados, 914 artigos foram avaliados por título e resumo, restando 8 para serem lidos completamente (Figura 3). Após a análise de elegibilidade, 5 trabalhos permaneceram para análise (Tabela 1). Os trabalhos que foram excluídos tiveram duas principais razões: não dar enfoque as diferentes durezas das entressolas (HEIDENFELDER et al., 2010; HAMILL et al., 2011), e utilizar esteira rolante na avaliação (AZEVEDO et al., 2012).



**Figura 3** - Estratégia de Busca.

Tabela 1: Características dos Estudos Selecionados				
Autores	Calçado/Entressola	Amostra/Sexo/Idade/Peso	Superfície/Distância/ Velocidade da Corrida	Variáveis de Interesse
Bates, 1996.	6 calçados com diferentes durezas divididos em três grupos: 2 calçados macios, 2 médios e 2 duros e ainda, cada grupo subdividido em macio e duro.	<b>(n=18)</b> corredores recreacionais do sexo masculino, 20 a 37 anos, peso não informado.	Pista / 25 m / velocidade selecionada pelos corredores e mantida em $\pm 5\%$ usando um sistema de cronometragem de luz, sobre uma plataforma de força.	PIFV <sup>1</sup> [N/Kg].
Clarke, 1983.	Dois calçados com diferentes durezas: um macio, outro duro	<b>(n=10)</b> corredores de distância do sexo masculino, idade não declarada, peso médio = 68,0 kg.	Pista / distância não informada / $4,5 \text{ m.s}^{-1} \pm 5\%$ controlada por fotocélulas, e em contato com uma plataforma de força.	PIFV [BW]; TPIFV <sup>2</sup> [ms]; PPFV <sup>4</sup> [BW].
Kersting, 2006.	5 calçados, entressolas com diferentes durezas na região sob o calcâneo: Extremamente Duro (EH): densidade 100 Shore C; Duro (H): 61 Shore C; Médio (M): 53 Shore C; Macio (S): 45 Shore C; Extremamente Macio (ES); 35 Shore C	<b>(n=8)</b> corredores experientes do sexo masculino. Idade = $28,9 \pm 6,0$ anos; peso = $78,3 \pm 2,3$ kg.	Pista / 50m / $4,0 \pm 0,1$ m/s, velocidade controlada por um medidor eletrônico. O teste foi feito na plataforma de força.	PIFV [BW]; TPIFV [s]; TAF <sup>3</sup> [BW/s]; PPFV [BW].
Milani, 1997.	8 calçados, entressolas com diferente rigidez sob área do calcanhar e médio-pé: B6 (rigidez 65,8 kN/m); B4 (77,9 kN/m); B0 (71,9 kN/m); B8 (77,6 kN/m); A2 (99,7 kN/m); A6 (102,4 kN/m); A4 (126,1 kN/m); A0 (134,8 kN/m).	<b>(n=27)</b> alunos de educação física do sexo masculino, Idade = $27 \pm 3,1$ anos; peso = $71,0 \pm 5,5$ kg.	Pista / distância não informada / $3,3 \text{ m.s}^{-1} \pm 3\%$ velocidade controlada por fotocélulas, foram feitos sobre plataforma de força.	PIFV [BW]; TAF [BW s <sup>-1</sup> ].
Nigg, 1987.	Três calçados idênticos com diferentes durezas de entressola (25 Shore A; 35 Shore A e 45 Shore A).	<b>(n=14)</b> 7 corredores recreacionais, 7 profissionais, sexo masculino, idade não declarada, peso = $73,0 \pm 6,0$ kg.	Pista/ 16m / 3, 4, 5 e $6 \text{ m.s}^{-1} \pm 0,2 \text{ s}^{-1}$ velocidades controladas por fotocélulas sobre uma plataforma de força.	PIFV [kN]; TPIFV [10 <sup>-3</sup> s]; PPFV [Kn].

PIFV<sup>1</sup>= Primeiro Pico de Impacto de Força Vertical; TPIFV<sup>2</sup> = Tempo de Ocorrência do Primeiro Pico de Impacto de Força Vertical;

TAF<sup>3</sup> = Taxa de Aplicação de Força; PPFV<sup>4</sup>= Pico de Propulsão da Força Vertical.

### 3.1 PRIMEIRO PICO DE IMPACTO DE FORÇA VERTICAL

O PIFV foi avaliado pelos cinco trabalhos (CLARKE et al., 1983; NIGG et al., 1987; BATES; STERGIU, 1996; MILANI et al., 1997; KERSTING; BRUGGEMANN, 2006). A maioria destes autores (CLARKE et al., 1983; MILANI et al., 1997; KERSTING; BRUGGEMANN, 2006) aferiram essa variável em BW, ou seja, normalizaram pelo peso corporal dos sujeitos. Entretanto, Nigg et al. (1987) mediram por kN, e Bates et al. (1996) utilizaram N/kg. Bates et al. (1996) e Milani et al. (1997) encontraram diferenças significativas entre as entressolas. Bates et al. (1996) encontraram valores significativamente maiores para os calçados duros, enquanto Milani et al. (1997) encontraram valores significativamente maiores para os calçados macios. Os demais autores (CLARKE et al., 1983; NIGG et al., 1987; KERSTING; BRUGGEMANN, 2006) não encontraram diferenças significativas entre as distintas durezas de entressolas dos calçados.

### 3.2 TEMPO DE OCORRÊNCIA DO PRIMEIRO PICO DE IMPACTO DE FORÇA VERTICAL

Três estudos (CLARKE et al., 1983; NIGG et al., 1987; KERSTING; BRUGGEMANN, 2006) avaliaram o TPIFV. A maioria dos autores (CLARKE et al., 1983; NIGG et al., 1987) encontraram os maiores TPIFV para entressolas mais macias, apenas Kersting et al. (2006) não encontraram diferenças significativas nas diferentes durezas de entressolas dos calçados pesquisados (Extremamente Duras x Duras x Dureza Média x Macia x Extremamente Macias). Nigg et al. (1987) compararam o TPIFV de três calçados de Shore A diferentes (25, 35 e 45). Com mudança da dureza da entressola de 25 Shore A para 35 Shore A acharam uma tendência de o TPIFV manter-se constante. Já na modificação de 35 Shore A para 45 Shore A houve uma tendência significativa à diminuição do TPIFV, ou seja, os calçados mais duros (no caso os calçados 45 Shore A), alcançaram o PIFV mais rápido, enquanto que calçados mais macios levaram mais tempo para alcançar o PIFV. Clarke et al. (1983), encontraram um tempo significativamente maior nas entressolas macias, em comparação com as duras.

### 3.3 TAXA DE APLICAÇÃO DE FORÇA

A TAF foi avaliada por dois trabalhos (MILANI, et al., 1997; KERSTING; BRUGGEMANN, 2006). Para Milani et al. (1997) a TAF apresentou diferenças significativas entre os calçados de distintas durezas, entretanto os resultados não foram lineares, ou seja, a dureza não tem uma relação direta, proporcional com a TAF. Já Kersting et al. (2006), não encontraram diferenças significativas para a TAF entre as diferentes durezas de entressolas dos calçados pesquisados.

### 3.4 PICO DE PROPULSÃO DA FORÇA VERTICAL

Três trabalhos (CLARKE, et al., 1983; NIGG, et al., 1987; KERSTING; BRUGGEMANN, 2006) avaliaram o PPFV. Clarke et al. (1983) encontraram uma magnitude de PPFV significativamente maior no calçado macio. Já Kersting et al. (2006), assim como Nigg et al. (1987), não encontraram diferenças significativas da variável PPFV nas entressolas de distintas durezas dos calçados pesquisados.

#### 4. DISCUSSÃO

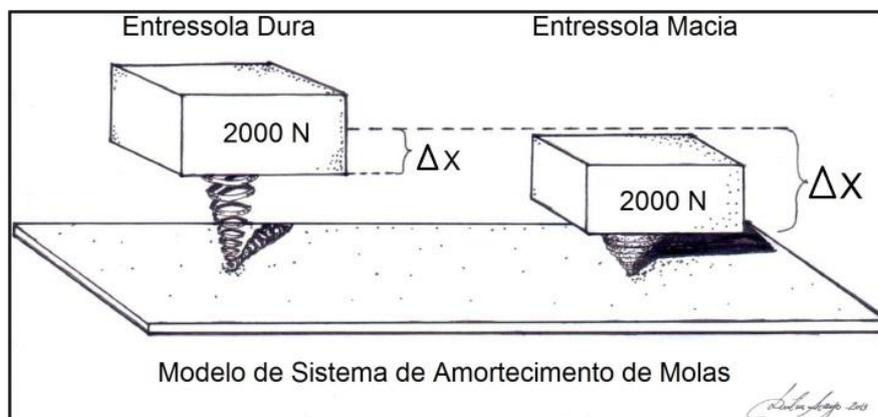
O objetivo desse estudo foi investigar na literatura existente, qual a influência da dureza da entressola no amortecimento do impacto durante a corrida. Esperava-se encontrar impactos significativamente maiores para os calçados duros (CLARKE et al., 1983; NIGG et al., 1987; BATES; STERGIUO, 1996), já que o calçado macio atenuaria melhor as forças de impacto, devido à sua maior capacidade de deformação. Entretanto, apenas Bates et al. (1996) encontraram valores significativamente maiores para os calçados duros. A maioria dos estudos (CLARKE et al., 1983; NIGG et al., 1987; KERSTING; BRUGGEMANN, 2006) não encontraram diferenças significativas, e houve inclusive um trabalho (MILANI et al., 1997) com valores significativamente maiores para os calçados macios para a variável Primeiro Pico de Impacto de Força Vertical (PIFV). Talvez outros fatores possam afetar essa variável como: velocidade do toque vertical do pé, o ângulo do toque e a orientação da perna no plano sagital (KERSTING; BRUGGEMANN, 2006). Ou ainda, o PIFV possa ser afetado pelo padrão cinemático com que o indivíduo toca o solo (CLARKE et al., 1983). Clarke et al. (1983) e Milani et al. (1997) discutem que sujeitos com contato inicial mais pronunciados de retropé poderão ter maiores PIFV, do que corredores que atacam de médio e antepé. O que leva a acreditar que as diferentes estratégias de padrão de ataque de pé influenciam o PIFV. Nigg et al.(1987), acreditam que uma alteração na dureza da entressola é responsável por uma redistribuição de sua carga. Nigg et al. (1987) atribuíram os resultados encontrados em seu estudo à uma reação natural que os seres humanos possuem, como um mecanismo de proteção, o que de certa forma corrobora com os estudos de Bates et al. (1996) e Milani et al. (1997).

Bates et al. (1996) foram os únicos que encontraram valores de PIFV significativamente maiores para os calçados duros. Acreditam que os sujeitos podem e respondem de diferentes formas para a mesma perturbação e que outros estudos podem não ter encontrado impactos significativamente maiores para os calçados com entressola dura, ou devido à falta do poder estatístico, ou à adaptação de parte ou de todos os sujeitos ao protocolo (BATES;

STERGIOU, 1996). Já Milani et al. (1997) encontraram impactos significativamente maiores para os calçados macios. Sugerem que, ao correr com calçados com entressola macia, os indivíduos subestimam a real gravidade do impacto - podendo este, até mesmo ser um dos motivos de lesões. Quando correm com calçados mais duros, os sujeitos são mais cuidadosos, com um ataque de retropé menos pronunciado. Essa adaptação locomotora protege o corpo dos corredores. O que se pode constatar então, é que apesar das divergências entre os autores ambos explicam seus resultados como um comportamento de adaptação locomotora do indivíduo.

Kersting et al. (2006) não encontraram diferenças significativas na variável Tempo de Ocorrência do Primeiro Pico de Impacto de Força Vertical (TPIFV), já Clarke et al. (1983) e Nigg et al. (1987) encontraram valores significativamente maiores nos calçados com entressola macia. Esse resultado é uma indicação de melhor atenuação do choque (CLARKE et al., 1983; HEIDENFELDER et al., 2010) nos calçados de entressola macia. Clarke et al. (1983) explica esse atraso do TPIFV com um modelo de sistema de amortecimento de molas. Nesse sistema, o calçado duro seria uma mola de constante elástica alta, enquanto que o calçado macio seria equivalente a uma mola de constante elástica menor. A mesma carga aplicada sobre as diferentes molas ocasiona uma deformação maior na mola de constante menor (Figura 4), ou seja, à mesma carga o calçado duro deforma pouco, conseqüentemente responde rápido, atenuando pouco o impacto, já o calçado macio deformará mais, absorvendo melhor o impacto. Outra forma de visualizar esse resultado é com as Curvas de Deslocamento da Carga. Cavanagh et al. (1984) apud Clarke et al. (1983) analisaram em uma corrida o pico de pressão do calcanhar e verificaram que no calçado macio a curva de deflexão é consideravelmente maior (Figura 05). Em termos práticos, o atraso no TPIFV indica que, em um calçado macio, esse pico será aplicado ao sistema músculo esquelético à uma taxa inferior.

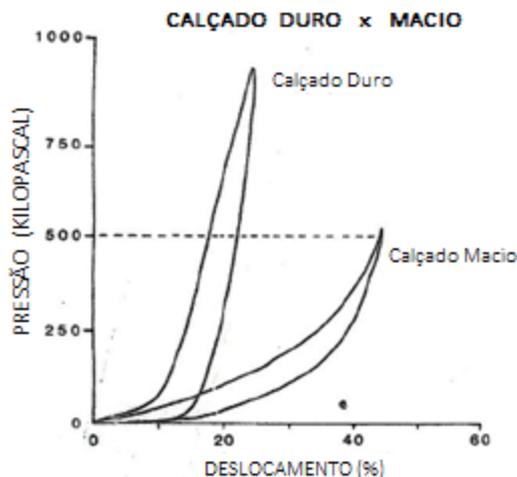
**Figura 4** – Modelo de Sistema de Amortecimento de Molas. O sistema de amortecimento de entressolas duras flexiona menos sob a mesma carga aplicada.



**Fonte:** Adaptado de Clarke et al. (1983).

A Taxa de Aplicação de Força (TAF) foi avaliada por dois estudos. Enquanto Kersting et al. (2006) não encontraram diferenças significativas, Milani et al. (1997) encontraram taxas significativamente maiores nas entressolas mais rígidas. Entretanto, o aumento da dureza da entressola não teve uma relação proporcional ao aumento nas TAF (MILANI et al., 1997). Como Milani et al. (1997) encontraram diferenças significativas para a TAF, verifica-se que, de alguma forma a dureza da entressola influencia a TAF. A TAF é uma razão entre o valor máximo de força e o intervalo de tempo entre o início da força e o pico de força vertical (SCHIEHLL et al., 2007) Ela mostra o comportamento dessa força e frequentemente tem sido ligada à lesões (BUTLER et al., 2003; CHEUNG; DAVIS, 2011; MILNER et al., 2006; SCHIEHLL et al., 2007; POHL et al., 2009). Lesões como dor femoropatelar (CHEUNG; DAVIS, 2011), fascites plantares (POHL et al., 2009) e fratura tibial por estresse (MILNER et al., 2006) tem sido as mais citadas entre os autores como decorrentes de altas TAF. Butler et al (2003) mencionam ainda que, com o aumento não só da TAF, mas também do PIFV os indivíduos são colocados em maior risco de lesões ósseas, tais como osteoartrite e fraturas por stress.

**Figura 5** – Curva de carga-deslocamento retirado de um instrumento que simula o impacto no calcanhar em calçado experimental. Estresse é expresso em kilopascal (0,1N/cm) e o deslocamento é expresso em porcentagem da espessura da entressola.



**Fonte:** Cavanagh et al. (1984) apud Clarke et al. (1983).

Três estudos (CLARKE et al., 1983; NIGG et al., 1987; KERSTING; BRUGGEMANN, 2006) pesquisaram o PPFV (Pico de Propulsão da Força Vertical). Clarke et al. (1983) encontrou picos significativamente maiores nas entressolas macias (em comparação com as duras). O aumento significativo que encontraram nessa variável para o calçado macio pode corresponder a um aumento da compressão do calcanhar na entressola. Como o calcanhar fica em uma posição inferior ao antepé, teoricamente, isso gera maior torque flexor plantar para produzir mais força sobre o arco dos pés, gerando uma propulsão mais eficiente.

Uma das maiores dificuldades desse estudo foi a falta de padronização das variáveis utilizadas nos estudos pesquisados (nem todos utilizaram as mesmas variáveis), bem como a falta de padronização da nomenclatura das mesmas variáveis pesquisadas. Outro ponto fundamental é que as escalas utilizadas pelos autores na medição da dureza do calçado também não seguiram um padrão. As medidas comumente usadas são Asker C e Shore A, entretanto cabe lembrar que cada medida só pode ser correlacionada para um determinado material, de uma espessura específica. Esse critério foi pouco

observado pelos autores uma vez que utilizaram escalas diferentes para medir os mesmos materiais. Entretanto isso não invalida o presente estudo uma vez que, o foco foi a dureza da entressola do calçado, distinguindo-os entre mais duros e/ou mais macios entre si.

## **5. CONCLUSÃO**

Os resultados desse estudo mostram que a dureza da entressola parece influenciar pouco no amortecimento do impacto durante a corrida, sendo o comportamento de adaptação locomotora do indivíduo o fator predominante para alteração do pico de força vertical. Outras propriedades físicas além da dureza da entressola devem ser investigadas para uma melhor compreensão da atenuação do impacto durante as corridas, bem como variáveis cinemáticas descritoras do padrão de locomoção dos indivíduos.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A. P. et al. Effects of replica running shoes upon external forces and muscle activity during running. **Journal of Sports Sciences**, vol.30, ed.9, 2012, p. 929-935.

BATES, B. T.; STERGIOU, N. Performance Accommodation to Midsole Hardness During Running. **Journal of Human Movement Studies**, vol.31, 1996, p.189-21.

BUTLER, R. J. et al. Lower extremity stiffness: implications for performance and injury. **Clinical Biomechanics**, vol.18, ed.6, 2003, p. 511-517.

CHEUNG, R.; DAVIS, I. S. Landing pattern modification to improve patellofemoral pain in runners: a case series. **The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**, vol.41, ed.12, 2011, p.914-919.

CLARKE, T. E. et al. Effects of shoe cushioning upon ground reaction forces in running. **International Journal of Sports Medicine**, vol.4, 1983, p.247-251.

DIVERT, C. et al. Mechanical comparison of barefoot and shod running. **International Journal of Sports Medicine**, vol.26, ed.7, 2005, p.593-598.

DUBOIS, R. et al. The use of ethylene/styrene interpolymers in crosslinked foams for the footwear industry. **Journal of Cellular Plastics**, vol.38, 2002, p.149-161.

HAMILL, J. et al. Impact characteristics in shod and barefoot running. **Footwear Science**, vol.3, ed.1, 2011, p. 33-40.

HEIDENFELDER, J. et al. Systematically modified crash-pad reduces impact shock in running shoes. **Footwear Science**, vol.2, ed.2, 2010, p. 85-91.

JENKIS, M. Introduction. In: SUBIC, A. J. (Org.) **Materials in Sports Equipment vol. 2**. England: Woodhead Publishing in Materials, 2003, p.1-6.

KERSTING, U. G.; BRUGGEMANN, G. P. Midsole material-related force control during heel-toe running. **Research in Sports Medicine**, vol.14, ed.1, 2006, p.1-17.

LAKE, M. J. Determining the protective function of sports footwear. **Ergonomics**, vol. 43, ed.10, 2000, p. 1610-1621.

LEE, Y. et al. Kinematic and kinetic analyses of novice running in dress shoes and running shoes. **Acta of Bioengineering and Biomechanics**, vol.13, ed.3, 2011, p. 55-61.

McNAIR, P. J.; MARSHALL, R. N. Kinematic and kinetic parameters associated with running in different shoes. **Br Jornal Sports Medice**, vol.28, ed.4, 1994, p. 256-260.

McPOIL, T. G. Athletic footwear: Design, performance and selection issues. **Journal of Science and Medicine in Sport**, vol.3, ed. 3, 2000, p. 260-267.

MILANI, T. L. et al. Perceptual and biomechanical variables for running in identical shoe constructions with varying midsole hardness. **Clinical Biomechanics**, vol.12, ed.5, 1997, p. 294-300.

MILLS, N. J. Running shoe materials. In: SUBIC, A. J. (Org.) **Materials in Sports Equipment vol. 2**. England: Woodhead Publishing in Materials, 2003, p. 65-97.

MILNER, C. E. et al. Biomechanical factors associated with tibial stress fracture in female runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, vol.38, ed.2, 2006, p. 323-328.

MOVE WITH A PURPOSE. **The mechanics of running and how it relates to performance and injury: Part 2: Midstance**. Disponível em: <<http://purposefulmovement.wordpress.com/2012/05/14/>> Acesso em: 15 jun. 2013.

NEWTON, R. U. et al. Reducing Ground Impact Forces During Jogging. **Center for Exercise Science and Sport Management Southern Cross University**, 2007, p.1-8.

NIGG, B. M. Acceleration. In: NIGG, B. M.; HERZOG, W. (Org.) **Biomechanics of the musculo-skeletal systems**. West Sussex: Wiley, 1999, p.288-301.

NIGG, B. M. et al. The influence of running velocity and midsole hardness on external impact forces in heel-toe running. **Journal of Biomechanics**, vol.20, ed.10, 1987, p. 951-959.

NIGG, B. M. et al. Footwear research: past, present and future. **7th Symposium on Footwear Biomechanics**. Cleveland, USA., Case Western Reserve University, 2005.

PAPO DE ESTEIRA. **Diga-me onde pisas e te direi o que usar**. 2013. Disponível em: <<http://www.papodeesteira.com.br/blogs/im-possivel/diga-me-onde-pisas-e-te-direi-o-que-usar/>> Acesso em: 04 jun. 2013

POHL, M. B. et al. Biomechanical and Anatomic Factors Associated With a History of Plantar Fasciitis in Female Runners. **Clinical Journal of Sports Medicine**, vol.0, ed.0, 2009, p. 1-5.

SCHIEHLL, P. E. et al. Classificação dos Exercícios no Jump Fit® a partir da Força de Reação Vertical. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, XII, 2007, Rio Claro, São Paulo. **Anais...** Rio Claro, 2007. p.560-565.

SHORTEN, M. R. The energetics of running and running shoes. **Journal of Biomechanics**, vol.26, 1993, p. 41-51.

SOUSA, A. **Análise da marcha baseada em correlação multifactorial.** Dissertação (Mestrado), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2009.