

# RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 13/03/2019.

**GUSTAVO POMPÊO DE CAMARGO LEME**

**Desenvolvimento de Palmilhas Instrumentadas para Retreinamento de Corrida  
com *Biofeedback* em Tempo Real**

**GUSTAVO POMPÊO DE CAMARGO LEME**

**Desenvolvimento de Palmilhas Instrumentadas para Retreinamento de Corrida  
com *Biofeedback* em Tempo Real**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia  
do Campus de Guaratinguetá, Universidade  
Estadual Paulista, para a obtenção do título de  
Doutor em Engenharia Mecânica, área de  
Projetos.

Orientador: Prof. Dr. José Geraldo T. Brandão

Guaratinguetá – SP

2018

L551d Leme, Gustavo Pompêo de Camargo  
Desenvolvimento de palmilhas instrumentadas para retreinamento de  
corrida com Biofeedback em tempo real / Gustavo Pompêo de Camargo  
Leme – Guaratinguetá, 2018  
118 f. : il.  
Bibliografia: f. 94-102

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de  
Engenharia de Guaratinguetá, 2018.

Orientador: Prof. Dr. José Geraldo Trani Brandão

1. Corridas. 2. Acelerômetros. 3. Biomecânica. 4. Corredores  
(Esporte). I. Título.

CDU 612.766(043)

  
Luciana Máximo

Bibliotecária/CRB-8 3595

**GUSTAVO POMPÊO DE CAMARGO LEME**

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
"DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA"

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA  
ÁREA: PROJETOS

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

  
Prof.ª. Dr.ª. Ana Paula Rósifini Alves Claro  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. JOSÉ GERALDO TRANI BRANDÃO  
Orientador / UNESP/FEG

  
Prof. Dr. JOSÉ ELIAS TOMAZINI  
UNESP/FEG

  
Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS  
UNESP/FEG

  
Prof. Dr. RITA DE CASSIA RIGOTTI-VILELA MONTEIRO  
UNITAU

  
Prof. Dr. ELAINE CRISTINA MARTINEZ TEODORO  
FAPI

Março de 2018

## DADOS CURRICULARES

### GUSTAVO POMPÊO DE CAMARGO LEME

NASCIMENTO	09.06.1977 - Campinas / SP
FILIAÇÃO	Dulce Maria Pompêo de Camargo Roberto Silva Leme
1997/2000	Curso de Graduação em Fisioterapia - Pontifícia Universidade Católica de Campinas - PUCC
2001/2002	Curso de Pós Graduação em Fisioterapia Neurológica - nível Especialização - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
2004/2005	Curso de Pós - Graduação em Fisioterapia do Futebol - nível Especialização - CBES – UNIGUAÇU
2011/2013	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Semiológica, nível Mestrado, na Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Guaratinguetá

Dedico este trabalho à minha mãe, Dulce, pela dedicação e doação  
pessoal em prol de seus filhos.

Ao meu pai Roberto, pela importante contribuição na formação do  
meu caráter.

Aos meus amados irmãos André e Mariana, pelo companheirismo  
e amizade.

À minha filha Taís, que aos 2 meses de idade me ensinou o  
verdadeiro significado do que é lutar pela vida.

À minha esposa Carla, pela compreensão, paciência e amor  
demonstrados durante essa longa jornada.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. José Geraldo Trani Brandão, pela sábia contribuição e pelo enorme conhecimento transmitido durante o desenvolvimento desse trabalho. Mesmo nos momentos difíceis que enfrentou no final dessa caminhada, sempre esteve presente e dando o devido suporte nos momentos que precisava.

Aos Professores Doutores do Departamento de Mecânica da FEG: José Elias Tomazini, Mauro Peres e Tamotsu Hirata, por toda imensa bagagem transmitida durante todos esses anos.

Ao meu querido amigo Reynaldo Vianna, pelos ensinamentos que me propiciaram o ingresso nesse programa de Pós-graduação.

Ao Prof. Dr. Luis Filipe Wiltgen Barbosa pela importante colaboração no desenvolvimento desse projeto.

À minha irmã Mariana, por doar um pedaço das suas merecidas férias para revisar esse trabalho, e acima de tudo, por doar um pedaço da sua vida para cuidar daquela que deu a vida por nós.

Aos funcionários da Seção Técnica de Pós-Graduação, pela atenção e grande suporte dado durante todo esse período.

À Renata Barbosa, Supervisora da Seção Técnica de Pós-Graduação, pela paciência, amizade e suporte.

Aos competentes e atenciosos funcionários do Departamento de Mecânica.

Ao coordenador Ronald e todo corpo docente da Faculdade Anhanguera de Taubaté, pelo companheirismo e cumplicidade de tantos anos.

Ao irmão da fisioterapia André Polli Fujita, pela grande amizade e pela importante colaboração na revisão desse trabalho.

Aos amigos Marcelo Barbosa, Wagner Monteiro, Antônio Zangrandi e Luiz Roberto Coutinho Manhães Jr, sempre presentes nos momentos que precisei.

Aos amigos do JOFC, pela convivência e aprendizado diário durante tantos anos.

Aos voluntários que se dispuseram a participar desse estudo.

A toda minha família, campineira e guaratinguetaense, pelo apoio incondicional em todos os momentos em que precisei.





*“Que nossos atos sejam maiores que  
nossas covardias; e o nosso destino seja  
a soma das nossas melhores escolhas”*

***Paulo A. S. Azevedo***

## RESUMO

O retreinamento de corrida vem sendo utilizado por muitos clínicos e pesquisadores com intuito de corrigir padrões lesivos de movimentos que tendem a gerar maior sobrecarga nos tecidos músculoesqueléticos. Para isso algumas formas de *biofeedback* visual e auditivo são frequentemente utilizadas. Porém esses retreinamentos são realizados através de esteiras instrumentadas com plataforma de força, acelerômetros, dispositivos para mensuração de pressão plantar e outros dispositivos de alto custo que inviabilizam essa conduta fora do ambiente laboratorial, dificultando a utilização dessa ferramenta na prática clínica. O número de estudos sobre *biofeedback* em tempo real para retreinamento de corrida vem aumentando, porém seu acesso à imensa maioria dos corredores com padrões inadequados de movimento permanece muito raro. Esse estudo tem o objetivo de desenvolver e avaliar a efetividade de palmilhas instrumentadas com sensores táteis e sinalizadores de LED no retreinamento de corrida através de *biofeedback* visual. Para isso, foram desenvolvidas palmilhas com sensores de contato que informam, em tempo real, qual tipo de contato inicial está sendo realizado pelo corredor. Isso facilita a conduta de retreinamento do padrão de contato de retro pé para mediopé/antepé, como sugerido para alguns casos de lesão musculoesquelética. Essa alteração do padrão de movimento é utilizada para diminuir o pico inicial de força de reação vertical do solo e o pico de aceleração positiva da tíbia, útil em alguns corredores com síndrome do estresse tibial medial e histórico de fratura de estresse na tíbia. Foram recrutados 10 corredores de rua para uma sessão única de retreinamento com análise cinemática e acelerometria realizadas antes e após o período da utilização do *biofeedback*. Os resultados mostraram diminuição significativa do pico de aceleração positiva da tíbia ( $p < 0,01$ ) e com grande tamanho do efeito ( $d = 0,81$ ). As alterações angulares de tornozelo e joelho no contato inicial também apresentaram alterações significativas, propiciando maior absorção do impacto na fase excêntrica da corrida. As palmilhas instrumentadas se mostraram eficazes na alteração das medidas analisadas em favor de uma melhor absorção do impacto na corrida, e parecem ser uma alternativa viável e acessível na prática clínica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Corrida de rua. Retreinamento de corrida. Palmilha. Acelerometria. *Biofeedback*.

## ABSTRACT

The running gait retraining has been used by many clinicians and researchers to correct injurious movement patterns which tend to generate greater overload in the musculoskeletal tissues. To do that many visual and auditory biofeedback are often used. However, these retraining strategies are performed through instrumented treadmills with force platform, accelerometers, devices that measure plantar pressure and other high cost devices that make evaluation infeasible outside the laboratory environment, making it difficult to use this tool in clinical practice. The number of studies on real-time biofeedback for running gait retraining has increased, but the access to the vast majority of runners with inadequate movement patterns remains very rare. This study aims to develop and determine the effectiveness of instrumented insoles with contact sensors and notifying LED signaling system in running gait retraining through visual biofeedback. For this purpose insoles with contact sensors were developed that inform in real time what type of initial contact is being made by the runner in each step with the purpose of re-educating the change of the initial contact pattern from back to midfoot / forefoot, in some cases of musculoskeletal injuries. This change in movement pattern is used to decrease the initial peak of vertical ground reaction force and the peak positive tibial acceleration, useful in some runners with medial tibial stress syndrome and history of tibial stress fracture. Ten runners were recruited for a single retraining session with kinematic and accelerometry analysis performed before and after using the biofeedback. The results showed a significant decrease in the peak of positive acceleration of the tibia ( $p < 0.01$ ) and with a high effect size ( $d = 0.81$ ). The ankle and knee angular changes during the initial contact also showed significant changes, providing a greater absorption of the impact in the eccentric phase of the running cycle. The instrumented insoles proved to be effective in altering the analyzed measures in favor of better absorption of the impact during running, and it seem to be a viable and accessible alternative in clinical practice.

**KEYWORD:** Running. Gait retraining. Insole. Accelerometry. Biofeedback.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	-	Comparação temporal da marcha e da corrida em diferentes velocidades.....	23
FIGURA 2	-	Fases do ciclo da marcha.....	24
FIGURA 3	-	Fases do ciclo da corrida.....	25
FIGURA 4	-	Fase de apoio do ciclo da corrida. A- contato inicial. B- médio apoio. C- retirada dos dedos.....	27
FIGURA 5	-	Fase de balanço do ciclo da corrida. A- balanço inicial. B- balanço médio. C- balanço terminal.....	28
FIGURA 6	-	Padrões de contato inicial. A- retropé, B- mediopé, C- antepé.....	28
FIGURA 7	-	Gráfico ilustrando impacto transitório causado pelo contato inicial com retropé.....	30
FIGURA 8	-	Gráfico ilustrando ausência do impacto transitório no contato inicial com mediopé ou antepé.....	33
FIGURA 9	-	Protocolo de retreinamento de corrida com <i>feedback</i> visual com espelho.....	36
FIGURA 10	-	A: Imagem pré retreinamento; B: Imagem pós retreinamento de corrida com <i>feedback</i> visual com espelho.....	36
FIGURA 11	-	Dispositivo para <i>feedback</i> auditivo com transdutor de força localizado na região do retropé.....	37
FIGURA 12	-	A: acelerômetro acoplado na região anteromedial da tibia. B: imagem do retreinamento com <i>feedback</i> em tempo real.....	39
FIGURA 13	-	Retreinamento com <i>biofeedback</i> com acelerômetro em tempo real. O círculo superior indica impacto alto, o do meio indica impacto médio e o inferior indica impacto aceitável.....	40
FIGURA 14	-	Retreinamento com <i>biofeedback</i> com visualização do gráfico da FRVS em tempo real.....	41
FIGURA 15	-	Identificação de padrão de contato inicial feito por meio de análise cinemática utilizando imagens quadro a quadro de uma filmagem com câmera de alta frequência. A- antepé. B- mediopé. C- retropé.....	49
FIGURA 16	-	Esquema de funcionamento das palmilhas.....	54
FIGURA 17	-	Ilustração do sistema durante a utilização na esteira.....	55
FIGURA 18	-	Posicionamento dos micro-sensores na primeira versão da palmilha e ligação por cabo RJ11.....	56
FIGURA 19	-	Micro-sensores táteis.....	56
FIGURA 20	-	Plantigrafia usada para posicionar os micro-sensores na palmilha.	57
FIGURA 21	-	A- nova versão da palmilha com as eletrofítas. B- detalhe da solda dos micro-sensores.....	58

FIGURA 22	-	Montagem das palmilhas. A- primeira camada de EVA com exposição dos micro-sensores. B- barras infracapital e de calcâneo cobrem a região das micro-chaves. C- segunda camada de EVA cobre a palmilha.....	59
FIGURA 23	-	Circuito eletrônico analógico de controle.....	60
FIGURA 24	-	Circuito eletrônico digital de controle com Arduino UNO R3.....	62
FIGURA 25	-	Caixas do circuito de controle digital microcontrolado das palmilhas (montagem).....	62
FIGURA 26	-	Testes eletrônicos das palmilhas.....	63
FIGURA 27	-	Instante final da fase de balanço.....	64
FIGURA 28	-	Eminência de contato inicial com calcâneo no início da fase de apoio.....	64
FIGURA 29	-	Confirmação de contato inicial de calcâneo com sinalização do LED vermelho.....	64
FIGURA 30	-	Final da fase de balanço.....	65
FIGURA 31	-	Eminência de contato inicial com mediopé no início da fase de apoio.....	65
FIGURA 32	-	Confirmação de contato inicial do mediopé com sinalização do LED verde.....	65
FIGURA 33	-	Acelerômetro biaxial com sensibilidade de 16g, modelo ACL 16g. EMG System do Brasil®.....	66
FIGURA 34	-	Condicionador de sinais EMG 430C. EMG System do Brasil®.....	66
FIGURA 35	-	Curva de calibração e a sua respectiva função.....	67
FIGURA 36	-	Exemplo do funcionamento do sistema de <i>biofeedback</i> visual em tempo real com o corredor fazendo contato inicial com o mediopé. LED verde acesso reforça o comportamento desejado.....	71
FIGURA 37	-	Exemplo do funcionamento do sistema de <i>biofeedback</i> visual em tempo real com o corredor fazendo contato inicial com o retropé. LED vermelho acesso reforça a falha no cumprimento da meta.....	71
FIGURA 38	-	Posicionamento do visor com LEDs fixado no painel da esteira para facilitar a visualização. A orientação consiste em manter apenas os LEDs verdes piscando.....	72
FIGURA 39	-	A: Pele previamente esticada com fita adesiva e acelerômetro coberto com filme plástico para evitar contato com suor. B: Acelerômetro firmemente fixado com fita microporosa na região anteromedial distal da tíbia.....	73
FIGURA 40	-	Marcadores usados nas análises cinemáticas dos corredores.....	73
FIGURA 41	-	Posicionamento dos marcadores com numeração correspondente..	74

FIGURA 42	-	Disposição da sala (em vista superior) com posicionamento dos aparelhos que foram utilizados na coleta dos dados.....	75
FIGURA 43	-	Confirmação de padrão de contato inicial e as angulações da inclinação da tíbia (rosa), tornozelo (amarelo), joelho (vermelho) e quadril (azul). O quadro A foi registrado antes e o quadro B após o retreinamento com <i>biofeedback</i> . As linhas dos ângulos estão afastadas dos marcadores para facilitar a leitura dos valores.....	77
FIGURA 44	-	Análise da acelerometria da tíbia no domínio da frequência.....	78
FIGURA 45	-	Sobreposição de dois PAPT nos diferentes tipos de contato inicial do sujeito 1.....	78
FIGURA 46	-	As colunas azuis mostram a média dos picos de aceleração positiva da tíbia (em g) de cada um dos 10 sujeitos antes do período de retreinamento, com os contatos iniciais realizados no retropé. As colunas vermelhas mostram os picos de aceleração positiva da tíbia no período pós retreinamento, com os contatos iniciais feitos em mediopé/antepé.....	81
FIGURA 47	-	Gráficos sobrepostos de 10 segundos do sujeito 1 durante os dois momentos de coleta.....	82
FIGURA 48	-	Gráficos sobrepostos de 10 segundos do sujeito 3 durante os dois momentos de coleta.....	83
FIGURA 49	-	Média das cadências dos sujeitos antes (azul) e após o retreinamento (vermelho).....	83
FIGURA 50	-	Gráfico das alterações da cadência dos 10 sujeitos antes (azul) e após (vermelho) a intervenção. Retropé (RP) e Mediopé/antepé (MP).....	84
FIGURA 51	-	Gráfico com as médias dos ângulos das articulações durante o contato inicial (CI), antes (azul) e após (vermelho) a intervenção..	85
FIGURA 52	-	Gráfico com as médias dos ângulos das articulações no momento do apoio médio, antes (azul) e após (vermelho) a intervenção. Nesse gráfico, Contato Inicial (CI), se refere a forma de contato no solo e não o momento da mensuração das angulações.....	85
FIGURA 53	-	Variação na média da angulação do tornozelo de cada um dos sujeitos, antes e após a intervenção, no instante do contato inicial. As colunas azuis referem-se aos dados pré retreinamento e as colunas vermelhas aos dados pós retreinamento. Retropé (RP) e Mediopé/antepé (MP).....	86
FIGURA 54	-	Variação na média da angulação do joelho de cada um dos sujeitos, antes e após a intervenção, no instante do contato inicial. As colunas azuis referem-se aos dados pré retreinamento e as	

	colunas vermelhas aos dados pós retreinamento. Retropé (RP) e Mediopé/antepé (MP).....	87
FIGURA 55 -	Varição na média da angulação do quadril de cada um dos sujeitos, antes e após a intervenção, no instante do contato inicial. As colunas azuis referem-se aos dados pré retreinamento e as colunas vermelhas aos dados pós retreinamento. Retropé (RP) e Mediopé/antepé (MP).....	87
FIGURA 56 -	Varição na média da angulação do tronco de cada um dos sujeitos, antes e após a intervenção, no instante do contato inicial. As colunas azuis referem-se aos dados pré retreinamento e as colunas vermelhas aos dados pós retreinamento Retropé (RP) e Mediopé/antepé (MP).....	88
FIGURA 57 -	Varição na média do ângulo de inclinação da tíbia de cada um dos sujeitos, antes e após a intervenção, no instante do contato inicial. As colunas azuis referem-se aos dados pré retreinamento e as colunas vermelhas aos dados pós retreinamento. Retropé (RP) e Mediopé/antepé (MP).....	88



## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	-	Calibração acelerômetro - Valores em Volts equivalentes a -1g, 0g e 1g.....	67
TABELA 2	-	Características individuais da amostra: massa corporal, estatura, IMC, idade, tempo de experiência e gênero.....	68
TABELA 3	-	Protocolo de retreinamento em sessão única, com total de 25 minutos de corrida a 10km/h. Durante o correr livre os sujeitos mantiveram contato inicial de preferência, com retropé, e durante o correr MP (mediopé) os sujeitos foram orientados a manter contato inicial com mediopé/antepé.....	70
TABELA 4	-	Valores médios dos picos de aceleração positiva da tíbia dos 10 sujeitos com os respectivos Desvios Padrões (DP) nos momentos pré retreinamento (Média RP), onde os padrões de contato inicial eram feitos naturalmente no retropé, e pós retreinamento (Média MP), onde os sujeitos alteraram os padrões de contato inicial para mediopé/antepé através do <i>biofeedback</i> visual em tempo real. A coluna da direita mostra a porcentagem da diminuição do Pico de Aceleração Positiva da Tíbia (% ↓PAPT).....	81
TABELA 5	-	Cadência (passadas/min) dos corredores, antes (RP) e após (MP) a intervenção com as palmilhas.....	84
TABELA 6	-	Angulações médias de cada mensuração de cada sujeito no momento do contato inicial. Contato Inicial com Retropé (CI RP), pré retreinamento e Contato Inicial com Mediopé/antepé (CI MP), pós retreinamento. Desvio Padrão (DP).....	86

## LISTAS DE SÍMBOLOS

t	- tempo	[s]
L	- comprimento	[m, cm]
m	- massa	[kg]
F	- força	[N]
d	- distância	[m, cm, mm]
v	- velocidade	[km/h]
V	- voltagem	[V]
A	- área	[mm <sup>2</sup> ]

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FRVS	-	Força de Reação Vertical do Solo
IMC	-	Índice de Massa Corporal
DMO	-	Densidade Mineral Óssea
MID	-	Membro Inferior Direito
MIE	-	Membro Inferior Esquerdo
MMII	-	Membros Inferiores
PAPT	-	Pico de Aceleração Positiva da Tíbia
IC	-	Intervalo de Confiança
cc	-	Corrente Contínua
ca	-	Corrente Alternada
RP	-	Retropé
MP	-	Mediopé

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	19
1.1	OBJETIVOS .....	20
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	20
1.2	DELIMITAÇÃO DA TESE.....	21
1.3	ESTRUTURA DA TESE .....	21
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	22
2.1	BIOMECÂNICA DA CORRIDA .....	22
<b>2.1.1</b>	<b>Ciclo da marcha e corrida</b> .....	23
2.1.1.1	Fase de apoio da corrida .....	27
2.1.1.2	Fase de balanço da corrida .....	29
<b>2.1.2</b>	<b>Padrão de contato inicial</b> .....	29
2.2	RETREINAMENTO DA CORRIDA .....	32
<b>2.2.1</b>	<b>Retreinamento com <i>biofeedback</i> de espelho</b> .....	35
<b>2.2.2</b>	<b>Retreinamento com <i>biofeedback</i> auditivo</b> .....	37
<b>2.2.3</b>	<b>Retreinamento com <i>biofeedback</i> visual</b> .....	38
2.3	LESÕES POR ESTRESSE NA TÍBIA .....	42
<b>2.3.1</b>	<b>Etiologia das lesões e fatores de risco</b> .....	44
2.4	AVALIAÇÃO CINEMÁTICA DA CORRIDA .....	45
2.5	ACELERÔMETRO: CONCEITOS BÁSICOS.....	49
<b>2.5.1</b>	<b>Pico de aceleração positiva da tíbia</b> .....	51
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	53
3.1	DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO ELETRÔNICO E DA PALMILHA INSTRUMENTADA.....	53
<b>3.1.1</b>	<b>Etapas de desenvolvimento da palmilha</b> .....	53
<b>3.1.2</b>	<b>Princípios de funcionamento do dispositivo</b> .....	54
<b>3.1.3</b>	<b>Testes eletrônicos e mecânicos de funcionamento</b> .....	63
3.2	CALIBRAÇÃO DO ACELERÔMETRO .....	66
3.3	DELINEAMENTO DA PESQUISA E COMPOSIÇÃO DA AMOSTRA.....	68
<b>3.3.1</b>	<b>Composição da amostra e avaliação inicial</b> .....	68

<b>3.3.2</b>	<b>Protocolo experimental.....</b>	<b>69</b>
3.4	COLETA DE DADOS.....	72
3.5	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	79
3.6	CONSIDERAÇÕES ÉTICAS.....	79
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>80</b>
4.1	ANÁLISE DA ACELEROMETRIA DA TÍBIA.....	80
<b>4.1.1</b>	<b>Análise da acelerometria de um corredor com grande diminuição do PAPT.....</b>	<b>82</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Análise da acelerometria de um corredor com pequena diminuição do PAPT.....</b>	<b>82</b>
4.2	ANÁLISE DA CADÊNCIA.....	83
4.3	ANÁLISE DAS VARIAÇÕES CINEMÁTICAS APÓS O RETREINAMENTO.....	84
<b>5.</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>89</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>93</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>94</b>
	<b>ANEXO A .....</b>	<b>103</b>
	<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>105</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>108</b>
	<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>109</b>
	<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>111</b>
	<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>116</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A incidência de lesões na corrida varia de 19% a 84% e essa porcentagem não tem diminuído nos últimos 30 anos (NAPIER et al, 2015). Entre as lesões mais comuns estão a síndrome do estresse tibial medial e a fratura por estresse da tíbia, que possuem relação com uma ineficiente absorção de impacto na corrida e totalizam aproximadamente 9% do total (TAUTON et al, 2002). As fraturas por estresse da tíbia especificamente representam de 20 a 49% de todas as fraturas por estresse em corredores (BRUKNER et al, 1996; MATHESON et al, 1987) e o período de recuperação pode superar 14 semanas (ARENDRT et al, 2003). Apesar do longo período de afastamento a taxa de recidiva é alta, ultrapassando 36% dos casos (HAURET et al, 2001; MILGROM et al, 1985). Existem diversos fatores associados ao desenvolvimento de fraturas por estresse: volume e intensidade de treinamento, superfície do terreno na corrida e dieta. Alguns estudos sugerem também, que a mecânica da corrida pode ser um fator de risco para desenvolvimento dessas fraturas (CROWELL, DAVIS, 2011). Por ser um esporte de impacto repetitivo, as lesões na corrida são vistas como resultado de sobrecargas ocasionadas por microtraumas acumulativos (HRELJAC, 2005).

Muitos estudos prospectivos têm documentado a presença de alterações mecânicas nos corredores que desenvolvem lesões na corrida e esses achados sugerem relação causal entre mecânica anormal da corrida e as lesões subsequentes. Davis et al (2004) sugeriram que corredores que apresentavam reação ou fratura de estresse na tíbia tinham um maior Pico de Aceleração Positiva da Tíbia (PAPT) e maior Força de Reação Vertical do Solo (FRVS), tanto nas medidas da média como as instantâneas. Essas variáveis influenciam a absorção da carga pelos membros inferiores, com isso a modificação desse mecanismo responsável pela absorção da carga pode diminuir o risco dos corredores desenvolverem as lesões de estresse na tíbia. Corroborando com esses achados, um estudo retrospectivo de Milner et al (2006) conclui que corredores com histórico de fratura de estresse da tíbia apresentavam um maior pico de aceleração positiva da tíbia.

Para minimizar essas alterações, alguns pesquisadores têm utilizado dispositivos externos para fornecer *biofeedback* visual e/ou auditivo para reeducar a mecânica dos

corredores, que utilizam as informações fornecidas pelos dispositivos para corrigir ou melhorar alguns parâmetros da corrida (AGRESTA, BROWN, 2015). Entre as variáveis usadas para analisar a carga de impacto durante a corrida, a taxa média de carga vertical aparece como importante fator de risco relacionado às lesões em corredores (NAPIER et al, 2015). Vários estudos para retreinamento de corrida através de *biofeedback* visual e auditivo evidenciaram sucesso na diminuição das forças verticais de reação do solo. Porém a maioria dos estudos utilizaram dispositivos de alto custo (esteira com plataforma de força e acelerômetros, ambos com necessidades de hardware e software) para realização do *biofeedback*, além da necessidade de que os participantes realizassem o retreinamento dentro dos laboratórios.

Pelo alto custo dos dispositivos disponíveis e pela dificuldade em encontrar laboratórios que possibilitem esse retreinamento de corrida, a maioria dos corredores que sofrem com essas lesões por estresse ficam impossibilitados de receberem essa conduta. Com isso, o desenvolvimento de aparatos com custo acessível para essa população se torna necessário. As palmilhas instrumentadas com sensores de contato e luzes de LED possibilitam a realização do retreinamento em qualquer esteira e com um custo bem menor, tornando esse tipo de conduta muito mais acessível a clínicos e corredores.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um dispositivo com palmilhas instrumentadas que permita realizar retreinamento de corrida através de *biofeedback* visual em tempo real fora do ambiente laboratorial, que seja acessível na prática clínica e que tenha baixo custo.

### 1.1.1 Objetivos específicos

- Viabilizar um dispositivo de custo acessível que seja eficiente no retreinamento para diminuição do impacto em membros inferiores durante a corrida e que seja acessível a clínicos e corredores.

- Avaliar a influência aguda do dispositivo nos picos de aceleração positiva da tíbia e nas angulações articulares durante a fase de apoio da corrida.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DA TESE

Esse estudo delimita-se a avaliar a viabilidade e a efetividade aguda de um dispositivo desenvolvido através de palmilhas para gerar *biofeedback* visual em tempo real para alterar o padrão de corrida.

## 1.3 ESTRUTURA DA TESE

No Capítulo 1 são feitas as considerações iniciais com uma introdução sobre lesões relacionadas à absorção ineficiente de impacto na corrida, incidência de lesões, fatores de risco e retreinamento de corrida com diferentes tipos de *biofeedback*, explicitando a importância de popularizar esse tipo de abordagem. São apresentados também os objetivos, além da delimitação da tese.

No Capítulo 2 é apresentada uma fundamentação teórica sobre a biomecânica da corrida e os tipos de análise cinemática, acelerometria, as lesões da corrida relacionadas ao estresse na tíbia, os diferentes tipos de *biofeedback* utilizados para retreinamento de corrida e a alteração de padrão de contato inicial.

No Capítulo 3 é apresentada a metodologia do trabalho, a composição da amostra, protocolo de retreinamento e o desenvolvimento, a montagem e os testes das palmilhas instrumentadas.

No capítulo 4 são apresentados os resultados das coletas da acelerometria da tíbia e das análises cinemáticas da corrida no plano sagital direito antes e após a intervenção com as palmilhas instrumentadas.

O quinto capítulo apresenta as discussões sobre a efetividade do retreinamento e as respectivas alterações nos parâmetros da corrida correlacionando os dados com trabalhos prévios.

O sexto capítulo apresenta a conclusão.

O trabalho é finalizado com a apresentação das referências bibliográficas, anexo e apêndices.



## 6 CONCLUSÃO

Pode-se concluir, a partir dos resultados obtidos, que o dispositivo com palmilhas instrumentadas desenvolvido para retreinamento de corrida através de *biofeedback* visual em tempo real é uma ferramenta eficiente para alterar o padrão de contato inicial de corredores, podendo ser uma ferramenta útil na prática clínica. O retreinamento agudo em sessão única evidenciou alteração significativa e com relevância clínica na cinemática do tornozelo após a intervenção.

As palmilhas instrumentadas podem auxiliar corredores com histórico de lesões por estresse na tíbia a reeducar seu padrão de contato inicial com intuito de minimizar os picos de aceleração positiva da tíbia. A utilização do dispositivo pode suprir a falta de acesso da grande maioria dos corredores a sistemas mais avançados de retreinamento de corrida.

## REFERÊNCIAS

- AGRESTA, C.; BROWN, A. Gait retraining for injured and healthy runners using augmented feedback: a systematic literature review. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**. Alexandria, v. 45, n.8, p. 576-583, 2015.
- ANDERSON, L.; BARTON C.; BONANNO, D. The effect of foot strike pattern during running on biomechanics, injury and performance: A systematic review and meta-analysis. **Journal of Science and Medicine in Sport**. Belconnen, v. 20, n.1, p. 54, 2017.
- AREBLAD, M. et al. Three-dimensional measurement of rearfoot motion during running. **Journal of Biomechanics**. New York, v. 23, n.9, p. 933-940. 1990.
- ARENDDT, E. et al. Stress Injuries to Bone in College Athletes. **American Journal of Sports Medicine**. Thousand Oaks, v. 31, n. 6, p. 959-968, 2003.
- BARTON, C. J. et al. Running retraining to treat lower limb injuries: a mixed-methods study of current evidence synthesised with expert opinion. **British Journal of Sports Medicine**. Loughborough, n. 0, p. 1-16, 2016.
- BASSEY, E. J.; LITTLEWOOD, J. J.; TAYLOR, S. J. G. Relations between compressive axial forces in an instrumented massive femoral implant, ground reaction forces, and integrated electromyographs from vastus lateralis during various osteogenic exercises. **Journal of Biomechanics**. New York, n. 30, 213–223, 1997.
- BECK, T. J. et al. Stress fracture in military recruits: gender differences in muscle and bone susceptibility factors. **Bone**. New York, n. 27, p. 437-444, 2000.
- BENNELL, K. et al. Ground reaction force and bone parameters in female with tibial stress fracture. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. Hagerstown, v. 36, n. 3, p. 397-404, 2004.
- BENNELL, K.; BRUKNER, P. Preventing and managing a stress fractures in athletes. **Physical Therapy in Sport**. Edinburgh, v. 6, n.4, p. 171-180, 2005.
- BOLTHOUSE, E. et al. Return to running after a tibial stress fracture: a suggested protocol. **Current Orthopaedic Practice**. Philadelphia, v. 27, n. 1, p. 37-45, 2015.
- BRUKNER, P. et al. Stress fractures: a review of 180 cases. **Clinical Journal of Sport Medicine**. New York, v. 6, n. 2, p. 85-89, 1996.
- BRUKNER, P.; BENNELL, K.; MATHESON, G. **Stress Fractures**. Melbourne: Blackwell Science Asia, p. 41–82. 1999.
- BRUKNER, P.; KHAN, K. Biomechanics of Common Sporting Injuries. In: **Clinics in Sports Medicine**. 3rd edition. Sydney: McGraw-Hill; p. 40–61. 2008.

BRUXEL, Y. **Sistema para análise de impacto na marcha humana**. 86 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

CAVANAGH, P. R.; LAFORTUNE, M. A. Ground reaction forces in distance running. **Journal of Biomechanics**. New York, n. 13, p. 397–406, 1980.

CAVANAGH, P. R.; WILLIAMS, K. R. The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. Hagerstown, n.14, p. 30-35, 1982.

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

CHEUNG, R. T. H. et al. Control of impact loading during distracted running before and after gait retraining in runners. **Journal of Sports Sciences**. London, v. 7, n. 4, p. 1-5, 2017.

CHU, J. J.; CALDWELL, G. E. Stiffness and damping responses associated with shock attenuation in downhill running. **Journal of Applied Biomechanics**. Champaign, n. 20, p. 291-308, 2004.

CLANSEY, A. C. et al. Influence of Tibial Shock Feedback Training on Impact Loading and Running Economy. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. Hagerstown, v. 46, n. 5, p. 973-981, 2014.

CORMACK, S. Validation of 2D Measures of Hip and Knee Frontal Plane Biomechanics During Running. **Journal of Athletic Training**. Dallas, v. 46, n. 3, p. 163, 2011.

CROSSLEY, K. et al. Ground reaction forces, bone characteristics and tibial stress fracture in male runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. Hagerstown, n. 31, p. 1088-1093, 1999.

CROWELL, H. P.; DAVIS, I. S. Gait retraining to reduce lower extremity loading in runners. **Clinical Biomechanics**. Oxford, n. 26, p. 78-83, 2011.

CUEVAS, A. G. L. et al. The location of the tibial accelerometer does influence impact acceleration parameters during running. **Journal of Sports Sciences**. London, v. 35, n. 17, p. 1734–1738, 2017.

DAMSTED, C.; LARSEN, L. H.; NIELSEN, R. O. Reliability of video-based identification of footstrike pattern and video time frame at initial contact in recreational runners. **Gait and Posture**. Oxford, v. 42, n. 1, p. 32-35, 2015.

DAOUD, A. I. et al. Foot strike and injury rates in endurance runners: a retrospective study. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. Hagerstown, v. 44, n. 7, p. 1325-1334, 2012.

DAVIS, I. S.; MILNER, C. E.; HAMILL J. Does increased loading during running lead to tibial stress fractures? A prospective study. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. Hagerstown, v. 36, n. 5, p. 58, 2004.

DAVIS, I. S. Gait retraining in runners. **Orthopaedic Physical Therapy Practice**. v. 17, n. 2, p. 8-13, 2005.

DAVIS, I. S.; BOWSER, B. J.; MULLINEAUX, D. R. Reduced vertical impact loading in female runners with medically diagnosed injuries: a prospective investigation. **British Journal of Sports Medicine**. Loughborough, n. 0, p. 1-7, 2015.

DE WIT, B.; DE CLERCQ, D.; AERTS, P. Biomechanical analysis of the stance phase during barefoot and shod running. **Journal of Biomechanics**. New York, n. 33, p. 269-278, 2000.

DICHARRY, J. Kinematics and kinetics of gait: from lab to clinic. **Clinics in Sports Medicine**. v. 29, n. 3, p. 347-364, 2010.

DINGENEN, B. et al. Are two-dimensional measured frontal plane angles related to three-dimensional measured kinematic profiles during running? **Physical Therapy in Sport**. Edinburgh, n. 29, p. 84-92, 2018.

DUGAN, S.; BHAT, K. Biomechanics and analysis of running gait. **Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America**. Philadelphia, v. 16, n. 3, p. 603-621, 2005.

EDWARDS, W. et al. Effects of stride length and running mileage on a probabilistic stress fracture model. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. Hagerstown, v. 41, n. 12, p. 2177-2184, 2009.

FERBER, R.; MCDONALS, S. L. Running Mechanics and Gait Analysis. **Human Kinetic**. 2014.

FILIPEFLOP. **Placa Uno R3 + Cabo USB para Arduino**. Disponível em: <http://www.filipeflop.com/produto/placa-uno-r3-cabo-usb-para-arduino/>. Acesso em: 15 fev. 2017.

FORD, K. R.; MYER, G. D.; HEWETT, T. E. Reliability of landing 3D motion analysis: Implications for longitudinal analyses. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. Hagerstown, v. 39, n. 11, p. 2021-2028, 2007.

FRANK, D. L. et al. Biofeedback in medicine: who, when, why and how? **Mental Health in Family Medicine**. n. 7, p. 85-91, 2010.

FRANKLYN-MILLER, A. et al. Biomechanical overload syndrome: defining a new diagnosis. **British Journal of Sports Medicine**. Loughborough, n. 48, p. 415-416, 2014.

- GILADI, M. et al. Stress fractures: identifiable risk factors. **American Journal of Sports Medicine**. Thousand Oaks, n. 19, p. 647-652, 1991.
- GIRRBACH, R. T. et al. Flexural wave propagation velocity and bone mineral density in females with and without tibial bone stress injuries. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**. Alexandria, n. 31, p. 54–62, 2001.
- GRIMSTON, S. K. et al. Bone mass, external loads, and stress fractures in female runners. **International journal of Sport Biomechanics**. Champaign, n. 7, p. 293-302, 1991.
- GRIMSTON, S. K. et al. External loads throughout a 45 minute run in stress fracture and non-stress fracture runners. **Journal of Biomechanics**. New York, n. 27, p. 668, 1994.
- GRUBER, A. H. et al. Footfall patterns during barefoot running on harder and softer surfaces. **Footwear Science**. n. 5, p. 39-44, 2013.
- GRUBER, A. H. et al. Economy and rate of carbohydrate oxidation during running with rearfoot and forefoot strike patterns. **Journal of Applied Physiology**. Bethesda, v. 115, n. 2, p. 194–201, 2013.
- GRUBER, A. H. et al. Impact shock frequency components and attenuation in rearfoot and forefoot running. **Journal of Sport and Health Science**. n. 3. P. 113-121, 2014.
- HAMILL, J.; DERRICK, T. R.; HOLT, K. G. Shock attenuation and stride frequency during running. **Human Movement Science**. Amsterdam, n. 14, p. 45-60, 1995.
- HASEGAWA H.; YAMAUCHI T.; KRAEMER W. J. Foot strike patterns of runners at the 15km point during an elite-level half marathon. **Journal of Strength and Conditioning Research**. Colorado Springs, n. 21, p. 888-93, 2007.
- HATALA, K. G. et al. Variation in foot strike patterns during running among habitually barefoot populations. **PLoS One**. n. 8, p. 52548, 2013.
- HAURET K. G.; SHIPPEY, D. L.; KNAPIK, J. J. The physical training and rehabilitation program – duration of rehabilitation and final outcome of injuries in basic combat training. **Military Medicine**. Washington, v. 166, n. 9, p. 820-826, 2001.
- HAYES, P.; CAPLAN, N. Foot strike patterns and ground contact times during high-calibre middle-distance races. **Journal of Sports Sciences**. London, n. 30, p. 1275-1283, 2012.
- HEIDERSCHEIT, B. C. Gait retraining for runners: in search of the ideal. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**. Alexandria, n. 41, n. 12, p. 909-910, 2011.
- HEIDERSCHEIT, B. C. et al. Effects of step rate manipulation on joint mechanics during running. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. Hagerstown, n. 43, p. 296-302, 2011.

HRELJAC, A. Etiology, prevention, and early intervention of overuse injuries in runners: a biomechanical perspective. **Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America**. Philadelphia, v. 16, n. 3, p. 651-667, 2005.

HRELJAC, A.; MARSHALL, R. N.; HUME, P. A. Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. Hagerstown, v. 32, n. 9, p. 1635-1641, 2000.

KASMER, M. E. et al. Foot-strike pattern and performance in a marathon. **International Journal of Sports Physiology and Performance**. n. 8, p. 286-292, 2013.

KAVANAGH, J. J.; MENZ, H. B. Accelerometry: a technique for quantifying movement patterns during walking. **Gait and Posture**. Oxford, n. 28, p. 1- 15, 2008.

KIM, B. Ground Reaction Forces and Bone Parameters in Females with Tibial Stress Fracture. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. Hagerstown, v. 36, n. 3, p. 397-404, 2004.

LAFORTUNE, M. A.; HENNIG, E. M. Cushioning properties of footwear during walking: accelerometer and force platform measurements. **Clinical Biomechanics**. Oxford, n. 7, p. 181-184, 1992.

LAFORTUNE, M. A.; HENNIG, E. M.; VALIANT, G. A. Tibial shock measured with bone and skin mounted transducers. **Journal of Biomechanics**. New York, v. 28, n. 8, p. 989-993, 1995.

LARSON, P. Comparison of foot strike patterns of barefoot and minimally shod runners in a recreational road race. **Journal of Sport and Health Science**. n. 3, p. 137-142, 2014.

LAUGHTON, C. A.; DAVIS, I. M.; HAMILL, J. Effect of strike pattern and orthotic intervention on tibial shock during running. **Journal of Applied Biomechanics**. Champaign, n. 19, p. 153-168, 2003.

LIEBERMAN, D. E. et al. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. **Nature**. London, n. 463, p. 531-535, 2010.

LIEBERMAN, D. E. et al. **Biomechanics of Foot Strikes and Applications to Running Barefoot or in Minimal Footwear**. Disponível em: <http://barefootrunning.fas.harvard.edu/index.html>. Acesso em: 16 out. 2016.

MANN, R. et al. Association of previous injury and speed with running style and stride-to-stride fluctuations. **Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports**. Ahead of print. 2014.

MATHESON, G. O. et al. Stress fracture in athletes. A study of 320 cases. **American Journal of Sports Medicine**. Thousand Oaks, v. 15, n. 1, p. 46-58, 1987.

- MATHIE, M. J. et al. A pilot study of long-term monitoring of human movements in the home using accelerometry. **Journal of Telemedicine and Telecare**. v. 10, n. 3, p. 144-151, 2004.
- MATHIE, M. J. et al. Accelerometry: providing an integrated, practical method for long-term, ambulatory monitoring of human movement. **Physiological Measurements**. n. 25, p. 1-20, 2004.
- MAYKUT, J. N. et al. Concurrent validity and reliability of 2d kinematic analysis of frontal plane motion during running. **International Journal of Sports Physical Therapy**. v. 10, n. 2, p. 136–146, 2015.
- MCLEAN, S. et al. Development and validation of a 3-D model to predict knee joint loading during dynamic movement. **Journal of Biomechanical Engineering**. New York, v. 125, n. 6, p. 864-874, 2003.
- MERCER, J. A. Relationship between shock attenuation and stride length during running at different velocities. **European Journal of Applied Physiology**. Bethesda, n. 87, p. 403-408, 2002.
- MILGROM, C. et al. The long-term followup of soldiers with stress fractures. **American Journal of Sports Medicine**. Thousand Oaks, v. 13, n. 16, p. 398-400, 1985.
- MILGROM, C. The Israeli elite infantry recruit: a model for understanding the biomechanics of stress fractures. **Journal of the Royal College of Surgeons of Edinburgh**. Edinburgh, n. 34, p. 18–22, 1989.
- MILNER, C. E. et al. Biomechanical factors associated with tibial stress fracture in female runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. Hagerstown, n. 38, p. 323-328, 2006.
- MIZRAHI, J.; VERBITSKY, O.; ISAKOVE, E. Fatigue-related loading imbalance on the shank in running: a possible factor in stress fractures. **Annals of Biomedical Engineering**. New York, n. 28, p. 463-469, 2000.
- MIZRAHI, J.; VERBITSKY, O.; ISAKOVE, E. Shock accelerations and attenuation in downhill and level running. **Clinical Biomechanics**. Oxford, n. 15, p. 15-20, 2000.
- MIZRAHI, J. et al. Effect of fatigue on leg kinematics and impact acceleration in long distance running. **Human Movement Science**. Amsterdam, n. 19, p. 139-151, 2000.
- MIZRAHI, J.; VERBITSKY, O.; ISAKOVE, E. Fatigue-induced changes in decline running. **Clinical Biomechanics**. Oxford, n. 16, p. 207-212, 2001.
- MOSS, D. et al. Current applications of biofeedback to physical medicine and rehabilitation. **Europa Medicophysica**. Dez, 2003.

MUNRO, A.; HERRINGTON, L.; CAROLAN, M. Reliability of 2-dimensional video assessment of frontal-plane dynamic knee valgus during common athletic screening tasks. **Journal of Sport Rehabilitation**. Champaign, v. 21, n. 1, p. 7-11, 2012.

NAKAGAWA, T. H. et al. Test–retest reliability of three-dimensional kinematics using an electromagnetic tracking system during single-leg squat and stepping maneuver. **Gait and Posture**. Oxford, v. 39, n. 1, p. 141-146, 2014.

NAPIER, C. et al. Gait modifications to change lower extremity gait biomechanics in runners: a systematic review. **British Journal of Sports Medicine**. Loughborough, n. 49, p. 1382-1388, 2015.

NICOLA, T. L.; JEWISON, D. J. The anatomy and biomechanics of running. **Clinics in Sports Medicine**. n. 31, p. 187-201, 2012.

NIGG, B. M. **Biomechanics of sports shoes**. Calgary: Topline Printing. p. 300. 2010.

NIGG, B. M.; COLE G. K.; BRUGGEMANN, G. Impact forces during heel-toe running. **Journal of Applied Biomechanics**. Champaign, n. 11, p. 407-432, 1995.

NOEHREN, B.; SCHOLZ, J.; DAVIS, I. The effect of real-time gait retraining on hip kinematics, pain and function in subjects with patellofemoral pain syndrome. **British Journal of Sports Medicine**. Loughborough, n. 45, p. 691-696, 2011.

NORRIS, B. S.; OLSON, S. L. Concurrent validity and reliability of two-dimensional video analysis of hip and knee joint motion during mechanical lifting. **Physiotherapy Theory and Practice**. London, v. 27, n. 7, p. 521-530, 2011.

NOVACHECK, T. F. The biomechanics of running. **Gait and Posture**. Oxford, n. 7, p. 77- 95, 1998.

OUNPUU, S. The biomechanics of walking and running. **Clinics in Sports Medicine**. v. 13, n. 4, p. 843-863, 1994.

PERRY J. Anatomy and biomechanics of the hindfoot. **Clinical Orthopaedics and Related Research**. Philadelphia, n. 177, p. 9–15, 1983.

PIPKIN, A. et al. Reliability of a Qualitative Video Analysis for Running. **Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy**. Alexandria, v. 46, n. 7, p. 556-561, 2016.

POHL, M. B. Biomechanical predictors of retrospective tibial stress fractures in runners. **Journal of Biomechanics**. New York, n. 41, p. 1160-1165, 2008.

PRILUTSKY, B.; ZATSIORSKY, V. Tendon action of two-joint muscles: transfer of mechanical energy between joints during jumping, landing, and running. **Journal of Biomechanics**. New York, v. 27, n. 25–34, 1994.



RADIN, E. L. et al. Response of joints to impact loading – III: Relationship between trabecular microfractures and cartilage degeneration. **Journal of Biomechanics**. New York, n. 6, p. 51-57, 1973.

RADIN, E. L.; PAUL, I. L. Response of joints to impact loading. **Arthritis and Rheumatology**. n. 14, p. 356-362, 1971.

RICKERT, B. J. Tibial Acceleration in Male and Female Distance Runners in Reduced Body Weight Conditions. **Physical Therapy in Human Movement Science**. Master's Theses. Paper 1. 2012.

RIOS, J. L.; ANDRADE, M.; C.; AVILA, A. O. V. Analysis of peak tibial acceleration during gait in different cadences. **Human Movement Science**. Amsterdam, n. 11, p. 132-136, 2010.

SASIMONTONKUL, S.; BAY, B.; PAVOL, M. Bone contact forces on the distal tibia during the stance phase of running. **Journal of Biomechanics**. New York, v. 40, n. 15, p. 3503- 3509, 2007.

SCHACHE, A. et al. The coordinated movement of the lumbo-pelvic-hip complex during running: a literature review. **Gait and Posture**. Oxford, n. 10, p. 30-47, 1999.

SCHURR, S. A. et al. Two-dimensional video analysis is comparable to 3D motion capture in lower extremity movement assessment. **International Journal of Sports Physical Therapy**. v. 12, n. 2, p. 163-172, 2017.

SHIH, Y.; LIN, K. L.; SHIANG, T. Y. Is the foot striking pattern more important than barefoot or shod conditions in running? **Gait and Posture**. Oxford, v. 38, n. 3, p. 1-5, 2013.

SOUZA, R. B. An Evidence-based videotaped running biomechanics analysis. **Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America**. Philadelphia, v. 27, n. 1, 217-236, 2016.

TAUTON, G. E. et al. A retrospective case-control analysis of 2002 running injuries. **British Journal of Sports Medicine**. Loughborough, n. 36, p. 95–101, 2002.

THORDARSON, D. B. Running biomechanics. **Clinics in Sports Medicine**. v. 16, n. 2, p. 239-247, 1997.

VORMITTAG, K.; CALONJE, R.; BRINER, W. W. Foot and ankle injuries in the barefoot sports. **Current Sports Medicine Reports**. Philadelphia, v. 8, n.5, p. 262-266, 2009.

WILLY, R. W.; SCHOLZ, J. P.; DAVIS, I. S. Mirror gait retraining for the treatment of patellofemoral pain in female runners. **Clinical Biomechanics**. Oxford, v. 27, n. 10, p. 1045-1051, 2012.

WOOD, C. L.; KIPP, K. Use of áudio biofeedback to reduce tibial impact accelerations during running. **Journal of Biomechanics**. New York, n. 47, p. 1739-1741, 2014.