



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E DESPORTOS – CEFID
COORDENADORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE MESTRADO

WANDERLEI DE OLIVEIRA GONSALEZ

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICO-DINÂMICAS E
BIOMECÂNICAS DE MATERIAIS PARA SOBREPALMILHA DE
CALÇADOS DE USO DIÁRIO**

FLORIANÓPOLIS - SC

2007



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
CENTRO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E DESPORTOS – CEFID
COORDENADORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
DO MOVIMENTO HUMANO**

CURSO DE MESTRADO

WANDERLEI DE OLIVEIRA GONSALEZ

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICO-DINÂMICAS E
BIOMECÂNICAS DE MATERIAIS PARA SOBREPALMILHA DE
CALÇADOS DE USO DIÁRIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Movimento Humano, Linha de Pesquisa Biomecânica, da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

Orientador: Dra. Susana Cristina Domenech

FLORIANÓPOLIS – SC

2007

WANDERLEI DE OLIVEIRA GONSALEZ

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICO-DINÂMICAS E
BIOMECÂNICAS DE MATERIAIS PARA SOBREPALMILHA DE
CALÇADOS DE USO DIÁRIO**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação do curso de Mestrado em Ciências do Movimento Humano pela Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Banca Examinadora:

Orientador:

Dr. Susana Cristina Domenech
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

PhD. Aluísio Otávio Vargas Ávila
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

Dr. Antônio Renato Pereira Moro.
Universidade Federal de Santa Catarina

Membro:

Dr. Valdir Soldi.
Universidade Federal de Santa Catarina

Membro (suplente):

Dr. Noé Gomes Borges Júnior
Universidade do Estado de Santa Catarina

FLORIANÓPOLIS, julho de 2007.

DEDICATÓRIA

À memória de meus pais, Isaura e Delmar pelo exemplo de amor a verdade e ao estudo como única forma de crescimento do indivíduo.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa pelo apoio, compreensão e as minhas filhas Priscila e Tainara nas sugestões e correções, em especial a Tainara na edição de figuras e gráficos.

À minha orientadora, que durante a jornada além dos conselhos seguros demonstrou paciência e um profundo respeito à divergência de opinião, o que a torna uma verdadeira cientista.

Ao amigo e professor PhD. Aluísio O. V. Ávila pelo convite para fazer o mestrado.

Às minhas amigas Andresa M. C. Santos do IBTeC e Aline Faquin pela ajuda inestimável nas coletas, informações e sugestões.

Ao meu amigo Martinho Fleck pelo seu apoio incondicional em todos os momentos que o solicitei.

Ao meu caro professor Ênio Klein por sua confiança em prontamente indicar-me para o curso de mestrado.

Aos amigos doutores Milton Zaro e Eduardo Nabinger do IBTeC pelas constantes trocas de idéias.

À minha amiga Carmen Buffon que desde o primeiro momento colocou o laboratório do IBTeC a disposição do projeto, discutindo resultados e participando de maneira efetiva no trabalho do dia-a-dia.

À minha amiga Maria P. M. Rauber do IBTeC que me ajudou nas traduções e comentários sobre os artigos em alemão.

Aos profissionais do IBTeC: Cátia C. Gonçalves, Adriana D. Boyen, Rafael Gallas, Greice L. de Souza, Elisângela R. Frey, João O. L. Santos e Rudnei Palhano, Andréa F. da Silva pela ajuda e disponibilidade e, em especial ao Marcelo Lauxen por sua dedicação e zelo durante todo o trabalho.

Ao Centro de Tecnologia de Polímeros/SENAI na pessoa de sua diretora Viviane Lovison por abrir o laboratório e a biblioteca e aos seus profissionais Fernanda F. N. Escher, Marcelo A. Carvalho, Solange M. Lopes, Felipe S. Xerxeneski, Gisele S. Schmidt, Nilso J. Pierozan, Jordan Gueller, Adriana Tedesco, Fabiane Trombeta paciência e disponibilidade a qualquer hora.

Aos bolsistas Andrea Almeida, Lisiane Trevisan e Leonardo Bittencourt do Centro de Tecnologia e Mecânica de Precisão/SENAI nos ensaios de microscopia eletrônica.

Ao Centro de Tecnologia do Calçado/SENAI e aos seus profissionais César A. Metz, Cristina Beroth, Márcia Etzberger, Luiz Carlos Robinson e Fausto Girolla.

À UFSC na pessoa da prof. Dr. Marli S. Soldi e das bolsistas Luana Bendo e Caroline Vasques do laboratório de Polímeros.

À Dr. Bluma G. Soares do Instituto de Macromoléculas do Rio de Janeiro.

Aos bolsistas Jonathan Ache e Murilo C. Schwinden do LABIN nas coletas e tratamento dos dados.

À ABECA na pessoa de seu presidente Sr. Juan Almada.

À empresa Plínio Fleck S/A e seus profissionais Fabrício L. Wilbert, Eduardo Morschl e Vítor C. S. Becker pelas informações e amostras de material para os ensaios em poliuretano.

À Borrachas Franca e sua química Aline K. de Moraes pelas informações e amostras de material EVA expandido.

A Petroflex nas pessoas de Isabela Pedrinha e Mônica R. Fernandes pelas informações sobre o látex de SBR.

A Zahonero Brasil na pessoa de Cláudia A. de Farias pelas informações e amostras para os ensaios na espuma de látex de SBR.

À Petroquímica Triunfo na pessoa de Tadeu Demboski

A Politenio na pessoa de Omar Renck.

A Freios Controil na pessoa de seu químico Diogo Hahn por possibilitar que se fizessem os ensaios em seu laboratório.

Aos profissionais Aldo Pospichil, Carlos A. Raymundo, Carlos F. Knewitz, Eugênio C. Muller, Luís A. Wickert, Marco L. M. Gradaschi, Mário Pereira e Mauro Sarmento pela presteza nas informações da pesquisa estruturada.

Aos fabricantes de material para sobrepalmilha: Raquel Sidi e Jairo M. Carvalho – da Trocellen, Dalmir B. Haack e Jorge H. P. da Rosa da Tecnopalm Componentes para Calçados Ltda e João B. Dias - Discovery Indústria de Etiquetas Ltda.

Ao professor Mário C. Andrade por sua bondade, dedicação e ajuda sempre que solicitado.

Aos meus colegas de curso e amigos do LABIN e em especial a Taisa Vendramini.

Aos funcionários da biblioteca e em especial a Solange Remor, secretária da Pós-Graduação.

Ao olhar para trás fica a certeza de que devo muito a todas essas pessoas, empresas e entidades.

Singelamente só posso dizer: MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

1 Introdução.....	p.18
1.1 Problema da pesquisa.....	p.18
1.2 Justificativa.....	p.21
1.3 Objetivos.....	p.22
1.3.1. Objetivo Geral.....	p.22
1.3.2. Objetivos Específicos.....	p.22
1.4 Definição de Termos e Variáveis.....	p.23
1.4.1 Definição de termos.....	p.23
1.4.2 Definição de variáveis.....	p.25
1.4.2.1 Variáveis independentes do estudo.....	p.25
1.4.2.2 Variáveis dependentes do estudo.....	p.25
1.5 Delimitações do estudo.....	p.27
1.6 Limitações do estudo.....	p.27
2. Referencial teórico.....	p.28
2.1 Anatomia do Pé.....	p.28
2.2 A marcha humana.....	p.29
2.3 Análise da passada.....	p.32
2.4 O calçado e a marcha.....	p.35
2.5 Propriedades mecânico-dinâmicas.....	p.41
2.6 Materiais poliméricos empregados na fabricação de sobrepalmilhas.....	p.43
2.6.1 Materiais celulares.....	p.44
2.6.1.1 EVA expandido.....	p.46
2.6.1.2 Espuma de poliuretano flexível	p.48
2.6.1.3 Látex espumado de borracha sintética SBR.....	p.49
3. Metodologia.....	p.50
3.1 Materiais.....	p.50
3.1.1 EVA expandido.....	p.50

3.1.2 Látex espumado de borracha SBR.....	p.51
3.1.3 Espuma de PU flexível.....	p.51
3.2 Instrumentos do estudo.....	p.52
3.2.1 Entrevista pessoal estruturada.....	p.52
3.2.2 Equipamentos.....	p.52
3.3 Métodos.....	p.56
3.3.1 Etapas do protocolo experimental.....	p.56
3.3.2 Caracterização físico-química dos materiais para sobrepalmilha.....	p.57
3.3.2.1 Densidade aparente.....	p.57
3.3.2.2 Dureza Asker C.....	p.57
3.3.2.3 Espessura.....	p.58
3.3.2.4 Calorimetria diferencial de varredura.....	p.58
3.3.2.4.1 Temperatura de transição vítrea (T_g).....	p.58
3.3.2.4.2 Temperatura de fusão cristalina (T_m).....	p.59
3.3.2.5 Análise Morfológica.....	p.60
3.3.3 Caracterização mecânico-dinâmica dos materiais de sobrepalmilha.....	p.60
3.3.3.1 Medida da absorção de energia.....	p.60
3.3.3.2 Medida da deformação dinâmica.....	p.61
3.3.3.3 Determinação da resiliência ao impacto.....	p.62
3.3.3.4 Determinação da histerese mecânica.....	p.62
3.3.3.5 Determinação do coeficiente de restituição de energia.....	p.64
3.3.4 Caracterização biomecânica dos materiais de sobrepalmilha.....	p.67
3.3.4.1 Material EVA expandido.....	p.68
3.3.4.2 Material látex espumado de SBR.....	p.68
3.3.4.3 Material espuma de PU flexível.....	p.68
3.3.5 Tratamento estatístico.....	p.68

4

Resultados.....	p.70
4.1 Determinação dos tipos de materiais, escala de densidades e de espessuras mais utilizadas na construção de calçados masculinos de uso diário.....	p.70

4.2 Caracterização dos materiais de diferente natureza em relação às suas características físico-químicas.....	p.73
4.2.1 Material – EVA expandido.....	p.73
4.2.1.1 Densidade aparente.....	p.73
4.2.1.2 Dureza (Asker C).....	p.74
4.2.1.3 Espessura.....	p.74
4.2.1.4 Transições térmicas.....	p.75
4.2.1.5 Morfologia.....	p.76
4.2.2 Material – Látex espumado de SBR.....	p.79
4.2.2.1 Densidade aparente.....	p.79
4.2.2.2 Dureza (Asker C).....	p.79
4.2.2.3 Espessura.....	p.80
4.2.2.4 Transições térmicas.....	p.81
4.2.2.5 Morfologia.....	p.82
4.2.3 Material – Espuma de PU flexível.....	p.84
4.2.3.1 Densidade aparente.....	p.84
4.2.3.2 Dureza (Asker C).....	p.85
4.2.3.3 Espessura.....	p.85
4.2.3.4 Transições térmicas.....	p.86
4.2.3.5 Morfologia.....	p.87
4.3 Caracterização dos materiais de diferente natureza em função das propriedades mecânico-dinâmicas.....	p.89
4.3.1 Material – EVA expandido.....	p.89
4.3.1.1 Deformação dinâmica por compressão.....	p.89
4.3.1.2 Medida da absorção de energia.....	p.90
4.3.1.3 Medida da resiliência ao impacto.....	p.91
4.3.1.4 Medida de histerese mecânica.....	p.92
4.3.1.5 Medida do coeficiente de restituição de energia.....	p.95
4.3.2 Material – látex espumado de SBR.....	p.96
4.3.2.1 Medida de histerese mecânica.....	p.96
4.3.2.2 Medida do coeficiente de restituição de energia.....	p.96

4.3.3 Material – Espuma de PU flexível.....	p.99
4.3.3.1 Medida de histerese mecânica.....	p.99
4.3.3.2 Medida do coeficiente de restituição de energia.....	p.101
4.4 Caracterização dos materiais de diferente natureza em função da propriedade biomecânica: pressão plantar máxima.....	p.103
4.4.1 Material EVA expandido.....	p.103
4.4.2 Material látex espumado de SBR.....	p.104
4.4.3 Material espuma de PU flexível.....	p.106
4.5 Análise da relação entre as variáveis mecânico-dinâmicas e a variável biomecânica (pressão plantar máxima).....	p.107
5. Conclusão e sugestões para trabalhos futuros.....	p.109
6. Referências Bibliográficas.....	p.114
Apêndice A - Entrevista com modelistas e técnicos em calçados.....	p.119
Apêndice B - Entrevista com os fabricantes de materiais para palmilhas.....	p.120
Apêndice C – Carta de Solicitação para Avaliação da Clareza dos Questionários.....	p.121
Apêndice D – Carta de Solicitação para Avaliação da Validade dos Questionários.....	p.124
Apêndice E – Termo de consentimento livre e esclarecido.....	p.127
Apêndice F – Consentimento para Fotografias, Vídeos e Gravações.....	p.128
Apêndice G - Teste de Normalidade de Shapiro Wilk para a variável histerese, EVA expandido.....	p.129
Apêndice H - Análise de variância ANOVA para EVA expandido com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm.....	p.130
Apêndice I - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para a variável coeficiente de restituição de energia para EVA expandido.....	p.131
Apêndice J - Análise de variância ANOVA para a variável coeficiente de restituição de energia, para os EVA expandido com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm.....	p.132
Apêndice K - Análise de variância ANOVA para a variável coeficiente de restituição de energia, para EVA expandido com densidade aparente A, B e C.....	p.133

Apêndice L - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para a variável histerese mecânica, látex espumado de SBR.....	p.134
Apêndice M - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para a variável coeficiente de restituição de energia, látex espumado de SBR.....	p.135
Apêndice N - Análise de variância ANOVA para a variável coeficiente de restituição de energia, para látex espumado de SBR com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm.....	p.136
Apêndice O - Teste U de Mann-Whitney para a variável coeficiente de restituição de energia, para látex espumado de SBR com diferentes densidades.....	p.137
Apêndice P - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para histerese mecânica, Espuma de PU flexível.....	p.138
Apêndice Q - Análise de variância ANOVA para espuma de PU flexível com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm.....	p.139
Apêndice R - Teste t para dois grupos independentes.....	p.140
Apêndice S - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para o coeficiente de restituição de energia, espuma de PU flexível.....	p.141
Apêndice T - Análise de variância ANOVA para para o coeficiente de restituição de energia, espuma de PU flexível com diferentes espessuras.....	p.142
Apêndice U - Teste t para o coeficiente de restituição de energia, espuma de PU flexível com diferentes densidades.....	p.143
Apêndice V - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para a variável pico de pressão máximo, medida em materiais para palmilha de EVA expandido de diferentes espessuras e densidades aparentes.....	p.145
Apêndice X - Análise de variância ANOVA para o Pico de Pressão plantar, EVA expandido com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm.....	p.146
Apêndice Y - Análise de variância ANOVA para o Pico de Pressão plantar, EVA expandido com densidade aparente A, B e C.....	p.147
Apêndice Z - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para a variável pico de pressão máximo, medida em materiais para palmilha de látex espumado de SBR de diferentes espessuras e densidades aparentes.....	p.148
Apêndice AA - Análise de variância ANOVA para o Pico de pressão Plantar, látex espumado de SBR com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm.....	p.149

Apêndice AB - Teste U de Mann-Whitney para o Pico de pressão Plantar, látex espumado de SBR com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm.....	p.150
Apêndice AC - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para a variável pico de pressão máximo, medida em materiais para palmilha de espuma de PU flexível de diferentes espessuras e densidades aparentes.....	p.151
Apêndice AD - Análise de variância ANOVA para a variável pico de pressão máximo, medida em materiais para palmilha de espuma de PU flexível de diferentes espessuras.....	p.152
Apêndice AE -Teste t para a variável pico de pressão máximo, medida em materiais para palmilha de espuma de PU flexível de diferentes densidades.....	p.153
ANEXO A – Lista de empresas encontradas com sistemas de análise de pressão plantar.....	p.154
ANEXO B – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos.....	p.156
Glossário.....	p.157

Acrônimos e Abreviações

A...

ABECA – Associação Brasileira de Estilistas de Calçados e Afins

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - American Society for Testing and Materials Standards

C...

C – cadência [passos.min^{-1}]

CEBEC – Centro Brasileiro de Engenharia do Calçado

CEFID – Centro de Educação Física e Desportos

CETEMP – Centro de Tecnológico de Mecânica de Precisão

CP – comprimento da passada [m]

CPs – comprimento do passo [m]

CR - Coeficiente de restituição [%]

D...

d- densidade aparente dos corpos de prova [g.cm^{-3}]

D₁₀₀₀₀₀- grau ou percentual de deformação até 100000 solicitações [%]

D₂₄- grau ou percentual de deformação até 24 h de recuperação [%]

DSC - Calorimetria diferencial de varredura

DIN - Deutsches Institut für Normung e. V.

ds - elemento infinitesimal de deslocamento [m]

E...

E - absorção de energia [J]

E₁- espessura inicial [mm]

E₂- espessura final em 100000 ciclos [mm]

E₃- espessura final em 24 h de recuperação [mm].

EVA - Terpolímero de etileno-co-acetato de vinila

F...

F -força [N]

FP - frequência do passo [passos.min^{-1}]

G...

g – aceleração da gravidade: $9,8 \text{ m.s}^{-2}$

H...

h_f - altura inicial da queda [cm]

h_i - altura inicial de retorno [cm]

h - a altura que a ponteira sobe em resposta ao toque na amostra [m]

I...

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMC - índice de massa corporal [kg.m^{-2}]

L...

LABIN – Laboratório de Instrumentação

M...

m' - massa dos corpos-de-prova [g]

MI - Melt Index

N...

NBR - Norma Brasileira

P...

POLIMAT – Grupo de Estudos em Materiais Poliméricos

PEBD - Polietileno de baixa densidade

PU - Poliuretano

S...

SBR - borracha de estireno-butadieno

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

SI - Sistema Internacional de Unidades

T...

T_g - Temperatura de transição vítrea

T_m – Temperatura de fusão cristalina

T - tempo de subida da ponteira [s]

U...

UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina

V...

v - velocidade da marcha [m.min^{-1}]

v' -volume dos corpos-de-prova [cm^3]

VA - Acetato de Vinila

v_o - velocidade inicial da ponteira [m.s^{-1}]

X...

x - a altura que a ponteira subiu [m]

x_o - posição inicial da ponteira [m]

RESUMO

Título: Estudo das propriedades mecânico-dinâmicas e biomecânicas de materiais para sobrepalmilha de calçados de uso diário.

Autor: Wanderlei O. Gonzalez

Orientador: Prof. Dra. Susana Cristina Domenech

O presente estudo teve por **objetivo** avaliar os materiais espuma de poliuretano flexível, espuma de látex de borracha sintética SBR, EVA expandido, empregados na confecção de sobrepalmilhas de calçados de uso diário, utilizando como variáveis independentes as propriedades de densidade aparente e espessura para detectar a influência nas propriedades mecânico-dinâmicas (deformação dinâmica, absorção de energia, resiliência ao impacto, histerese mecânica por tração e coeficiente de restituição) e como dependente as biomecânicas (pico de pressão plantar). Os **instrumentos** foram: máquina para a deformação por compressão dinâmica, dinamômetro de medir força – carga/deformação para determinar a absorção de energia, resiliômetro de pêndulo Schob, máquina de ensaio mecânico para determinar o coeficiente de restituição, sistema Pedar - X da marca Novell GMBH para aferição da distribuição da pressão plantar. Os **procedimentos** adotados: a) **pesquisa estruturada** junto aos modelistas, técnicos de calçados e fabricantes de sobrepalmilhas para definir as espessuras e densidades; b) **coletar** o material nos fabricantes de sobrepalmilhas; c) **caracterizar** os materiais através de ensaios de densidade, dureza Asker C, espessura, transições térmicas e análise da estrutura celular através de microscopia eletrônica de varredura; d) **determinar** as propriedades das variáveis dependentes. Para verificar a consistência da metodologia aplicou-se um teste piloto. Os testes utilizados para avaliar os resultados obtidos foram: testes paramétricos e não paramétricos, o teste de normalidade Shapiro-Wilk. Nas avaliações estatísticas foi utilizado o software SPSS e Excel. **Conclui-se** que os equipamentos para avaliar a deformação dinâmica, absorção de energia e resiliência ao impacto não são adequados à metodologia proposta e para o coeficiente de restituição deve-se reduzir a massa da ponteira piezelétrica ou a altura de queda. Sob o ponto de vista do material tem-se que a espessura interfere no pico de pressão para o EVA expandido, sendo que a espessura terá maior ou menor impacto à medida que diminui a densidade aparente do expandido. Contudo, para a espuma de látex de SBR, muito embora não se possa determinar correlação entre densidade aparente e pico de pressão, pode-se dizer que a densidade aparente afeta o pico de pressão, bem como para o material PU flexível. A inter-relação entre pressão plantar máxima e o coeficiente de restituição, não deve ser absoluta porque tem-se que controlar melhor as variáveis intervenientes. No entanto, de maneira geral, pode-se dizer que quanto maior o coeficiente de restituição maior o pico de pressão. Quanto ao conforto a espessura de 2 mm é inadequada, principalmente quando em materiais celulares do tipo espuma com densidade aparente na faixa de 0,20 ou materiais expandidos com densidade na faixa acima de 0,30 e com espessuras acima de 5 mm.

Palavras-chave: *Palmilha, pico de pressão, mecânico-dinâmicas.*

ABSTRACT

Title: Study of the dynamic-mechanical and biomechanical properties of materials for daily use footwear insoles.

Author: WANDERLEI O. GONSALEZ

Advisor: Prof. Dr. Susana Cristina Domenech

The present study had the objective of evaluating the following materials: flexible poliuretane foam, lattice synthetic SBR rubber foam and expanded EVA used in the manufacturing of footwear daily use insoles, using as independent variables the density properties and thickness to detect the influence in the mechanic-dynamic properties (dynamic deformation, energy absorption, impact resilience, mechanical histeresys by tension and restitution energy coefficient) and as dependent the biomechanics (pressure peak to plant). The **instruments** were: machine for the deformation by dynamic compression, dinamometer of measuring compression force – stress/strain to determine the energy absorption, pendulum resiliometer Schob, machine of mechanical rehearsal to determine the energy restitution coefficient, Pedar – X System of Novell GMBH for determining the distribution of the plant pressure. The adopted **procedures** were: **a) research structured** with designers, footwear technicians and insole manufacturers to determine the most employed thicknesses and densities; **b) to collect** the material with the insole manufacturers; **c) to characterize** the materials through density rehearsals, hardness Asker C, thickness, thermal transitions and analysis of the cellular structure through scattering electronical microscopy; **d) to determine** the properties of the dependent variables. To verify the consistence of the methodology, a pilot test was applied. The tests used to evaluate the obtained results were: parametric and not parametric tests, normality test Shapiro-Wilk. For the statistical evaluations of the software was used SPSS and Excel. After all that the equipments to evaluate the dynamic deformation, absorption of energy and impact resilience to the are not appropriate to the proposed methodology and for the restitution coefficient energy should be reduced the impact mass or to cut off piezoelectrical tip height. On the point of view of the material, it was found out that the thickness affect the pressure pick for expanded EVA, and the thickness will have larger or smaller impact as it reduces the apparent density of the expanded EVA. However, for the lattice of SBR foam, very away cannot determine correlation between apparent density and pressure peak, it can be said that the apparent density affects the pressure peak, as well as for the PU foam. A interrelation among pressure to peak plant and the restitution coefficient of energy, it should not be absolute because it had to control the intervenient variables better. However, in a general way, it can be said that as larger the coefficient of larger restitution of energy is, the higher the pressure peak is. Concerning comfort, the thickness of 2 mm is inadequate, mainly when in cellular materials of the type it skims with apparent density in the strip of 0.20 or expanded materials with density in the strip above 0.30 and with thickness above 5 mm.

Keywords: Insole, pressure peak, mechanical-dynamic.

1 INTRODUÇÃO

1.1 O PROBLEMA DA PESQUISA

A história do calçado remonta a épocas remotas, quando era feito com tiras de pele de animais, que posteriormente originaram o couro pelo processo de curtimento (LACERDA, 1987). Outros materiais foram introduzidos na fabricação de sapatos e sandálias – borracha natural e tecidos de fibras naturais. O desenvolvimento da química possibilitou a síntese de novos materiais, tais como a borracha sintética, os plásticos e as fibras sintéticas, aumentando consideravelmente as opções na construção de calçados.

A função original do calçado permanece até hoje como elemento de proteção do pé, contudo com a evolução da cultura assumiu um caráter de complemento estético no vestuário.

A própria indústria calçadista que inicialmente era artesanal, passou a criar modelos mais complexos. O desenvolvimento do calçado ocorreu de forma muito acentuada no sentido de atender as necessidades (e gosto) dos usuários, promovendo o surgimento de muitos elementos com finalidades diversas, assim como muitas técnicas de produção.

A função atribuída ao calçado nem sempre tem sido preenchida, porque aspectos construtivos, materiais empregados e a escolha para a finalidade desejada são de fundamental importância para o bom desempenho do calçado.

Ao nascerem, 92% das pessoas apresentam pés saudáveis e, pesquisas mundiais feitas em escolas demonstram que 75% das crianças têm alterações estáticas nos pés (GRUBER, 1995). Os defeitos como deformidades ósseas, calosidades, atrofia muscular e osteoartrites são provocados, na maioria das vezes, pelo uso prematuro de calçados na fase de lactância, pisos duros e lisos, sedentarismos, sobrecargas e, principalmente por sapatos inadequados biomecanicamente, ou seja, muito estreitos, muito curtos, muito rígidos ou muito macios, ou com pouco amortecimento.

Quando os pés estão descalços, o movimento se dá livremente. Portanto, ao projetar o calçado deve-se considerar a relação pé vs calçado, isto é, os perímetros dos pés estão representados em apenas 51% na numeração dos calçados, mesmo quando há a sensação de conforto (GEIB, 1999). A importância do calçado na saúde humana pode-se dizer que é recente, considerando seu uso milenar. Os avanços verificados têm se dado, principalmente

devido aos calçados desportivos, com o objetivo de melhorar o desempenho dos atletas de alto rendimento (CAVANAGH; HENNIG, 1983; MILANI; HENNIG, 1988).

As exigências de propriedades dos materiais são diferentes para calçados de uso diário. Nos calçados esportivos tem-se que analisar o tipo de esporte. Por exemplo, para corridas sabe-se que o calçado, a velocidade, a superfície e o estilo da corrida podem afetar a presença ou não do primeiro pico de força vertical, em gráficos de Força vs Tempo absoluto. Porque “corredores que aterrissam no mediopé e antepé tipicamente não mostram um pico de força de impacto vertical nem um pico muito atenuado” (PERRY, 2005). Pode-se deduzir que a própria construção do calçado deve prever as diferentes fases de apoio da corrida e as forças de reação do solo. Durante a fase de aterrissagem deve haver absorção do impacto pela estrutura sob o pé e na fase de impulsão, a devolução máxima da energia para otimização da progressão. Em um calçado de uso diário para indivíduos que trabalham de pé, como por exemplo, enfermeiras e carteiros, o calçado deve ser leve e ter capacidade de absorver impacto para prevenir as dores provocadas pelo estresse dos diferentes pisos e longas horas de trabalho.

Adicionalmente, pesquisas para botas de uso militar têm sido conduzidas para avaliar a rigidez e o desempenho de diversos materiais de sobrepalmilhas (HOUSE, 2002; ARNDT, 2003 e WITHNALL, 2006). Por outro lado, algumas investigações têm sido realizadas com o objetivo de avaliar a relação entre o desenho e o uso ou não das sobrepalmilhas na distribuição de pressão plantar em pacientes com diabetes mellitus para reduzir os picos de pressão localizados, a fim de diminuir o risco de ulcerações (TSUNG 2004; LAVERY 2004).

Os estudos já citados focalizam a avaliação dinâmica do pé dentro do calçado. Características como leveza e maciez são associadas ao conforto, porém não se tem conhecimento comprovado da relação entre as propriedades físicas do material e seu desempenho mecânico-dinâmico e biomecânico (JORDAN; BARTLETT, 1995). É o caso das sobrepalmilhas utilizadas em calçados que visam absorver o impacto do pé durante a marcha, como o gel de silicone, espumas de poliuretano e de borracha sintética. Estas são fabricadas em materiais poliméricos normalmente celulares, com densidade, dureza e espessura variável. Há necessidade de se analisar se existe relação entre esses parâmetros,

pois as propriedades e o desempenho desses materiais estão diretamente relacionados às técnicas de fabricação (SHIMBO, 2004).

No trabalho de Jordan e Bartlet, que procurou medir o conforto percebido e relacionar com a distribuição de pressão plantar em calçados casuais, foi construída uma escala para a “taxa de conforto” percebido, onde os participantes respondiam ao questionário qualificando de 1 (desconfortável) a 5 (confortável) a sensação, sendo após relacionado com a pressão plantar. A conclusão do estudo foi que a distribuição de pressão pode ser uma ferramenta útil para identificar a causa de desconforto do calçado. Como os próprios autores admitem, os fatores que afetam o conforto não estão claramente definidos. Foram adotados alguns cuidados, tais como, não perguntar aos sujeitos sobre se o calçado era duro ou macio, porém se era desconfortável ou confortável para evitar a suposição de que a rigidez seja um fator de conforto. Isto demonstra o caráter subjetivo da abordagem do conforto. O próprio conceito de conforto como veremos adiante será melhor conceituado.

O Brasil nos últimos anos tem procurado desenvolver uma série de procedimentos que visam estabelecer parâmetros mínimos para um calçado ser classificado como confortável. A ABNT a partir de 2002 adotou um conjunto de seis normas que definem o conforto. São elas:

- NBR 14835 – Determinação da massa;
- NBR 14836 – Determinação dinâmica da distribuição de pressão plantar;
- NBR 14837 – Determinação da temperatura interna;
- NBR 14838 – Determinação do comportamento da componente vertical da força de reação do solo;
- NBR 14839 – Determinação dos ângulos de pronação do calcâneo durante a marcha;
- NBR 14840 – Determinação dos níveis de percepção do calce.

Baseando-se nestas constatações podemos formular a seguinte questão:

“Qual a influência do tipo de material, da densidade e da espessura das sobrepalmilhas nas propriedades mecânico-dinâmicas e na propriedade biomecânica pressão plantar máxima? Há algum tipo de relação entre estas propriedades que possa ser usada nas avaliações de conforto de calçado?”

1.2 JUSTIFICATIVA

No projeto do calçado, o design assume destacada relevância. Em segundo plano, fica o material e, por último, o processo de produção.

Sabe-se que para o sucesso de qualquer atividade, o mais recomendado é uma ação integrada e multidisciplinar entre as diversas áreas envolvidas.

Um sapato adaptado, fisiológica e biomecanicamente, tem as especificações que obedecem ao seguinte:

- Absorção de choques e amortecimento (sola);
- Calce adequado estático e dinâmico (cabedal);
- Otimizadas características microclimáticas;
- Estabilização da temperatura e descarte da umidade (ÁVILA, 2001).

Já há muitas informações sobre a melhor localização dos componentes no calçado e sua resposta em termos de biomecânica (LITERATURA TÉCNICA BÁSICA EM CALÇADOS, 2002). Igualmente, pesquisas em calçados na indústria de materiais desportivos e, profissionais ligados à medicina desportiva têm sido pioneiros na formação de grupos multidisciplinares (FORTE, 1991). Contudo sobre materiais e sua *performance* há carência, sendo um ponto a ser investigado.

Os profissionais que atuam no setor calçadista optam por determinado material, levando em consideração aspectos subjetivos, tais como: “sensação ao toque”, “baixa” deformação e até mesmo custo do material. Este tipo de informação tem caráter qualitativo e, na maioria das vezes, é baseada na percepção subjetiva, quando deveria ser resultado da pesquisa conjunta da engenharia de materiais, design e da biomecânica. O calçado é um conjunto de diversos componentes, sendo que a sobrepalmilha tem como uma das funções o amortecimento do impacto durante a marcha, entre outras. A escolha do tipo de material da sobrepalmilha assume um papel destacado na percepção do conforto.

Segundo dados do IBGE, a população brasileira aumentou sua expectativa média de vida. Para as mulheres, em 1998, a expectativa de vida era de 72,0 anos e para os homens, de 64,4 anos, que passou em 2001 para 72,9 e 65,1 anos respectivamente. Isto se traduzirá numa demanda maior por calçados mais confortáveis, porque uma população mais velha representa, provavelmente, uma maior incidência de problemas ortopédicos (LOPES; OLIVEIRA, 2004).

Por outro lado, nos últimos anos, com a decisão estratégica da indústria calçadista de adotar normas de conforto para qualificar o calçado brasileiro, tendo como perspectiva tanto o mercado interno quanto o mercado externo, é fundamental que se desenvolvam produtos que atendam aos requisitos de alta *performance*.

Sabe-se que grandes centros de pesquisa, principalmente de empresas da área de calçados desportivos, têm trabalhado na questão da absorção de impacto e suas implicações biomecânicas, contudo seus resultados não são divulgados. As tecnologias disponíveis estão, geralmente, na forma de patentes de empresas privadas.

Essas são razões que se acredita satisfazerem a necessidade de ampliar o conhecimento tanto dos materiais empregados na fabricação de materiais de sobrepalmilha, como na sua forma de avaliação.

Outro dado importante que justifica esse estudo é o fortalecimento da linha de pesquisa em biomecânica do Laboratório de Instrumentação (LABIN) do Programa de Pós-graduação em Ciências do Movimento Humano da UDESC com o intuito de geração de conhecimento na área de materiais e do calçado, bem como a interação universidade-empresa gerada com este tipo de pesquisa.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O presente estudo consiste em caracterizar três materiais de diferente natureza, usualmente empregados na confecção de sobrepalmilhas de calçados de uso diário (EVA expandido, espuma de poliuretano flexível, látex espumado de borracha sintética SBR) em relação às propriedades mecânico-dinâmicas e uma propriedade biomecânica – pressão plantar máxima - (utilizando como variáveis independentes a densidade aparente e a espessura), e verificar se existem relações entre essas variáveis de forma a estabelecer critérios para avaliação de sobrepalmilhas em relação às normas de conforto em calçados.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar quais os tipos de materiais, densidade aparente e espessuras mais utilizadas na construção de calçados masculinos de uso diário, através de entrevista

pessoal estruturada com modelistas, técnicos de calçados e fabricantes de sobrepalmilhas de calçados;

- Caracterizar os materiais para sobrepalmilha de diferente natureza em relação às suas características físico-químicas, tais como densidade aparente, dureza Asker C, espessura, transições térmicas e morfologia;
- Caracterizar os materiais para sobrepalmilha (de diferente natureza nas densidades e espessuras usualmente empregadas na fabricação de calçados masculinos de uso diário) em função das propriedades mecânico-dinâmicas: medida da absorção de energia, da deformação dinâmica, da resiliência ao impacto, da histerese mecânica e do coeficiente de restituição de energia;
- Determinar se existe relação entre as variáveis mecânico-dinâmicas e as características físico-químicas dos materiais;
- Caracterizar materiais para sobrepalmilha (de diferentes naturezas nas densidades e espessuras usualmente empregadas na fabricação de calçados masculinos de uso diário) em função da propriedade biomecânica: pressão plantar máxima;
- Determinar se existe relação entre a variável pressão plantar máxima e as características físico-químicas dos materiais;
- Determinar se existe relação entre as propriedades mecânico-dinâmicas e a pressão plantar máxima dos materiais.
- Estabelecer, através dos resultados obtidos, critérios para avaliação de sobrepalmilhas em relação às normas de conforto em calçados;

1.4 Definição de Termos e Variáveis

1.4.1 Definição de Termos

- *Anisotrópico* – material que não apresenta as mesmas propriedades em todas as direções, ou seja, nos dois sentidos principais, do crescimento da expansão e no sentido contrário (VILAR, 1998);
- *Calçado de uso diário* – é aquele utilizado no trabalho, pequenas caminhadas, ou seja, nas atividades que identificam o dia-a-dia das pessoas (GEIB, 1999);

- *Conforto* – adotou-se no presente trabalho o seguinte conceito (do autor): é a sensação de bem-estar físico e mental proporcionado ao usuário causado pela ausência de umidade, calor, pontos de alta pressão, dores por lesões e cansaço muscular;
- *Cura* – reação química do hidrogênio ou outros ligantes, formando ligações cruzadas covalentes entre as moléculas do polímero. Técnica amplamente usada para alterar as propriedades dos polímeros (DATTA, 2001);
- *Densidade de reticulação* – grau ou intensidade de cura;
- *EVA expandido* – é um composto microporoso a base de resina poli(etileno-co-acetato de vinila) com teor de acetato de vinila variando entre 18% e 28% (Cartilha de EVA, 1993). É produzido por conformação ou injeção;
- *Espuma de poliuretano flexível (Espuma de PU flexível)* – polímero a base, normalmente, de polióis poliéteres com funcionalidade 2 ou 3 e densidade entre $0,20 \text{ g.cm}^{-3}$ a $0,40 \text{ g.cm}^{-3}$. Material que possui limitada resistência a uma determinada carga, possuindo células abertas permeáveis ao ar e após uma dada deformação retorna quase ao estado inicial (VILAR, 1998);
- *Isotrópico* – material que apresenta as mesmas propriedades em todas as direções, ou seja, nos dois sentidos principais, do crescimento da expansão e no sentido contrário (VILAR, 1998);
- *Látex espumado de borracha sintética SBR* – Espuma de borracha de estireno-butadieno (SBR). Obtido a partir de uma dispersão coloidal de alta concentração de sólidos e demais ingredientes de composição, expandido e vulcanizado em equipamentos apropriados (Espuma de Látex para Calçados, 1998);
- *Nominal* – adotou-se no presente trabalho o seguinte conceito (do autor): é o valor teórico da propriedade ou medida projetada para uma determinada dimensão;
- *Órtese* – Aparelho externo que suporta, limita ou auxilia o movimento (PERRY, 2005);
- *Polímero* – Macromolécula formada pela união de unidades repetitivas (meros), ligadas por ligação covalente (CANEVAROLO Júnior, 2002);
- *Sobrepalmilha* – Palmilha que fica em contato direto com o pé (NBR 13892, 1997);

- *Visco-elasticidade* – Fenômeno pelo qual um polímero apresenta características de um fluido e de um sólido elástico simultaneamente, isto é, tem uma componente viscosa (plástica) e uma componente elástica (CANEVAROLO Júnior, 2002).

1.4.2 Definição de Variáveis

1.4.2.1 Variáveis independentes do estudo

- *Natureza do material para sobrepalmilha* – Definição conceitual (do autor): é o tipo de polímero empregado para fabricação da sobrepalmilha. Definição operacional: foram definidos neste estudo os materiais para sobrepalmilha a base de compostos poliméricos de EVA expandido, látex espumado de borracha SBR e espuma de poliuretano flexível, produzidos nas condições em que normalmente são fabricados (vide detalhamento nos itens 2.5.1.1, 2.5.1.2 e 2.5.1.3, respectivamente).
- *Densidade aparente*, $[g.cm^{-3}]$ – Definição conceitual: é o valor calculado pela razão entre a massa do material e o volume do material expandido (NBR 14453). Definição operacional: foram definidas faixas densidades de acordo com os resultados da entrevista estrutura para cada material para sobrepalmilha.
- *Espessura*, $[mm]$ – Definição conceitual: é a menor distância entre duas superfícies paralelas (NBR 14098). Definição operacional: foram definidas espessuras específicas de 3, 4, 5 e 6 mm para cada material de sobrepalmilha, conforme os resultados obtidos na entrevista estruturada.

1.4.2.2 Variáveis dependentes do estudo

- *Dureza*, $[Asker C]$ – Definição conceitual: é a resistência que o material oferece à penetração de um corpo de forma esférica, sob uma carga de compressão definida (NBR 14455). Definição operacional: é o valor lido no equipamento graduado de 0 a 100, cuja escala é denominada de Asker C.
- *Absorção de energia*, $[J]$ – Definição conceitual: é a integral do produto da força de compressão pelo deslocamento (deformação) do material no intervalo de 50N a

5000N (NBR 12577). Definição operacional: é o valor lido após a aplicação da carga e dividido pela área do gráfico registrado em papel milimetrado.

- *Deformação dinâmica*, [%] – Definição conceitual: é a diminuição de espessura em relação ao valor inicial medido antes do ensaio, de um corpo-de-prova submetido à deformação por compressão dinâmica (NBR 14739). Definição operacional: é a diferença de medida entre a espessura final e a inicial após 100000 ciclos de deformação.
- *Resiliência ao impacto*, [%] – Definição conceitual: é a relação entre a energia recuperada e a energia aplicada durante a queda de um pêndulo sobre um corpo-de-prova (NBR 8690). Definição operacional: é o valor lido em uma escala graduada de 0 a 100 após a queda de um pêndulo sobre um corpo-de-prova do material avaliado, sendo que expressa a percentagem de retorno depois do impacto.
- *Histerese mecânica*, [%] – Definição conceitual: é a energia perdida pelo material durante um ciclo de tensão/deformação (ASTM D 2231). Definição operacional: é a diferença entre as áreas calculadas pela integral sob a curva no gráfico para um ciclo completo da força necessária para distender o corpo-de-prova a uma deformação de 50% e sua relaxação.
- *Coeficiente de restituição*, [adimensional]– Definição conceitual: é a raiz quadrada do quociente entre a altura final e a altura inicial de uma massa em queda livre contra um corpo-de-prova (BORGES Jr, 2003). Definição operacional: é o valor que expressa em percentagem a quantidade que uma massa em queda livre retorna após impacto sobre o material em análise.
- *Pressão plantar máxima*, [kPa]– Definição conceitual: é o maior valor mensurado dentre os valores de pressão exercida pela massa do indivíduo na região plantar do pé durante o caminhar (NBR 14836, 2002). Definição operacional: é o pico de pressão verificado no plantigrama obtido na palmilha sensorizada, excetuando-se as regiões das bordas.

1.5 DELIMITAÇÕES DO ESTUDO

Os materiais usados para fabricação para sobrepalmilhas são os mais diversos. O estudo teve por escopo avaliar a partir das entrevistas sobrepalmilhas usadas em calçados com a finalidade de amortecimento do impacto durante a marcha em modelos de uso diário fabricadas com látex espumado de SBR, espuma de poliuretano flexível e EVA expandido.

As variáveis independentes foram: a natureza do material para sobrepalmilha, a densidade aparente e a espessura. As dependentes foram as propriedades mecânico-dinâmicas (absorção de energia, deformação dinâmica, resiliência ao impacto, histerese mecânica, coeficiente de restituição de energia) e a propriedade biomecânica (pressão plantar máxima).

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Instrumentação (LABIN) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), no Grupo de Estudos em Materiais Poliméricos (POLIMAT) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e no Laboratório de Biomecânica do Instituto Brasileiro de Engenharia do Calçado (IBTeC), no período de 2005 a 2007.

1.6 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

O estudo não levou em consideração aspectos como o design do calçado ou da sobrepalmilha, aplicações de revestimento de tecidos e não-tecidos nas sobrepalmilhas, assim como não houve controle da composição (uso de aditivos nas diferentes composições) ou variações nas condições de produção das mesmas. Além disso, não foi possível eliminar a influência do solado do calçado nem da palmilha sensorizada nas medições biomecânicas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo pretende-se dar uma visão de como as sobrepalmilhas se comportam à luz dos materiais dos quais são fabricadas, seu comportamento mecânico-dinâmico e biomecânico. Contudo, primeiro é necessário analisá-las sob o contexto da biomecânica. A própria biomecânica, disciplina compreendida como uma aplicação dos conceitos da Mecânica Clássica (estática e dinâmica) nos organismos vivos, remonta há poucas décadas. Inicialmente, dedicou-se à análise do movimento, aspectos etiológicos das lesões e projetos de equipamentos para a prática de esportes, não tendo maiores preocupações com processos fisiológicos na *performance* humana (ZATSIORSKI, 2004).

A utilização dos princípios dos modelos da física clássica trouxe ganhos valiosos na compreensão do corpo humano, melhorou as técnicas de treinamento e forneceu informações à medicina desportiva na prevenção e recuperação de lesões. Porém, seu uso sem uma perspectiva de interação dos órgãos, suas funções, meio ambiente – materiais – e demais aspectos da psicologia do ser humano são fatores que limitam seu pleno potencial. Em outras palavras:

“... confiar somente nos métodos da biomecânica para analisar o movimento humano é o mesmo que analisar um concerto sinfônico focando-se apenas no som resultante e nos instrumentos musicais envolvidos e ignorando os músicos e o maestro” (ZATSIORSKI).

O estágio em que se encontra a pesquisa em biomecânica é de sinergia entre as mais variadas interfaces dos ramos do conhecimento humano, o que amplia os benefícios ao esporte e ao cotidiano do indivíduo.

2.1 Anatomia do Pé

O andar ereto ou bipedalismo é uma das mais antigas características humanas, sendo que a postura ereta liberou as mãos para serem usadas como ferramentas e isso possibilitou a criatividade e talvez, fomentou a necessidade de um cérebro mais complexo (HENNIG, 2003). A anatomia do pé, segundo o Sobotta (2000), constitui-se de 26 ossos, três arcos -

um lateral, um medial e um transverso - sendo que seu formato é mantido pelos ligamentos, músculos (internos e externos) e tendões (figura 1).

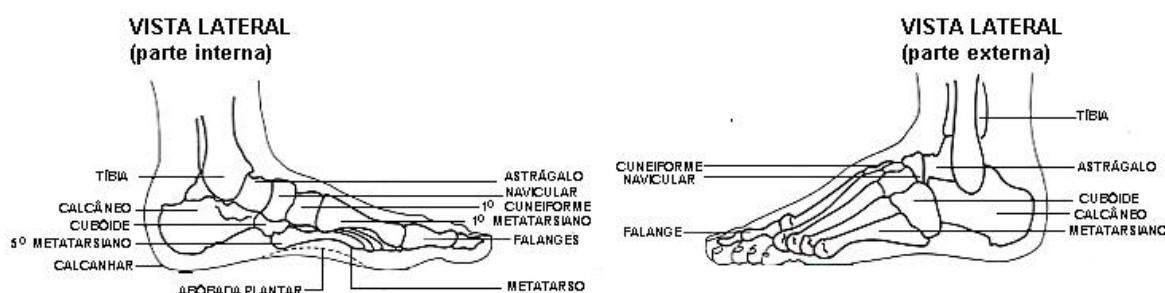


Figura 1: Anatomia do pé (Mylius, M., O Sapato, 1993, p.10).

O pé pode ser dividido, segundo Hennig, em três regiões: antepé, mediopé e retropé.

A sequência funcional do pé durante o movimento ocorre em três etapas: absorção do choque, estabilidade de suporte do peso corporal e progressão (PERRY, 2005).

2.2 A marcha humana

A locomoção do homem é uma sequência única de eventos entre dois contatos iniciais sequenciais pelo mesmo membro ao que foi chamado de ciclo da marcha (PERRY). Segundo Perry, o ciclo da marcha pode ser dividido em dois períodos ou fases distintas – apoio e balanço. A fase de *apoio* é aquela em que o pé está integralmente em contato com a superfície e a fase de *balanço* ocorre enquanto o pé está no ar durante o avanço do membro.

A duração dos períodos segue uma distribuição normal, isto é, 60% do movimento correspondem à fase de apoio e 40% à fase de balanço para uma velocidade de marcha normal livre, o que em média, para adultos é de 82 m.min⁻¹ (MURRAY apud PERRY).

Pode-se decompor a duração do período da seguinte maneira, conforme a tabela 1:

Tabela 1.

Período de Contato do Pé vs Solo.

Apoio	60%
Duplo Apoio Inicial	10%
Apoio Simples	40%
Duplo Apoio Terminal	10%
Balanço	40%

O apoio é subdividido em três fases: duplo apoio inicial, apoio simples e duplo apoio terminal, conforme mostrado na figura 2:

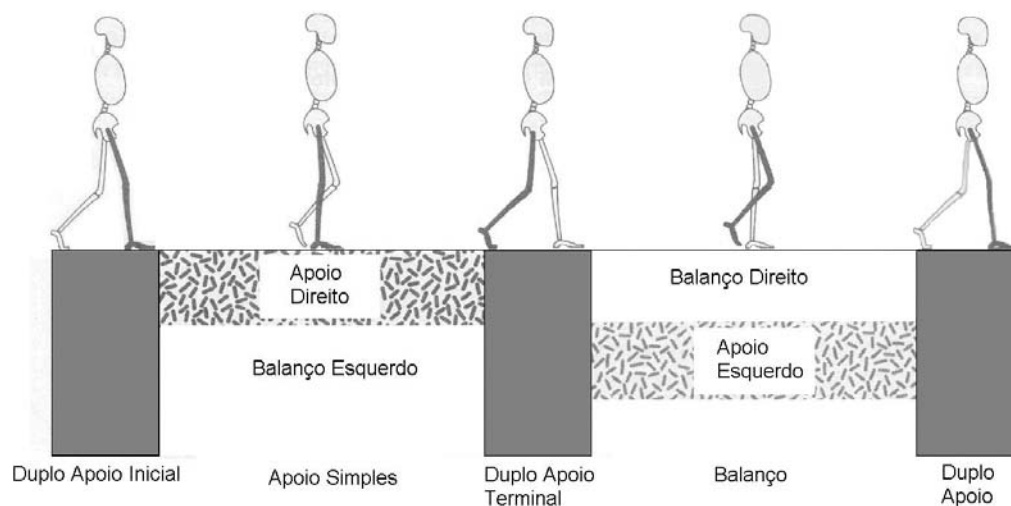


Figura 2: Subdivisões do apoio durante a marcha (Perry, J., *Análise de Marcha*, 2005, p.3).

O mecanismo da marcha está vinculado às articulações do pé: subtalar, mediotársica e metatarsofalangeana, cada uma contribuindo para o efeito de movimento (figura 3). Um aspecto de interesse para o presente estudo é o da articulação mediotársica que também tem a função de absorção do choque no contato do antepé com o solo. A absorção do impacto ocorre pela eversão subtalar e a dorsiflexão mediotársica, fazendo com que o antepé divida a carga do corpo. A articulação subtalar é a junção entre o tálus e o calcâneo e a mediotársica é a junção do retropé com o antepé.



Figura 3: Articulações do pé (Perry, J., *Análise de Marcha*, 2005, p.63).

O pé quando avança e, literalmente cai sobre o solo, ocorre o primeiro contato do calcâneo com o solo, provocando ondas de choque que se propagam por todo o sistema músculo-esquelético até atingir o crânio (VOLOSHIN, apud ZATSIORSKI). O mecanismo de absorção do impacto, segundo Hennig (2006) se dá pela ação muscular que contrai o arco, fazendo o pé supinar para suportar a carga e, logo a seguir, pela atividade muscular há eversão dos ossos, provocando a pronação do pé. A eversão promove relaxação da tensão possibilitando a adaptação do pé às superfícies irregulares e atenuando o impacto. Em resumo, durante a progressão do corpo a supinação promove estabilidade do pé no contato com o solo na fase de aceitação do peso, assim como garante ponto de apoio na fase de impulso, enquanto a pronação facilita a adaptação aos desníveis da superfície.

Além das articulações, o corpo humano possui amortecedores naturais, como por exemplo, os tecidos moles. De acordo com Hennig (2006) o coxim adiposo do calcâneo, indicado na figura 4, mesmo em pessoas com elevado grau de desnutrição mantém-se inalterado cumprindo sua função de proteção do pé.

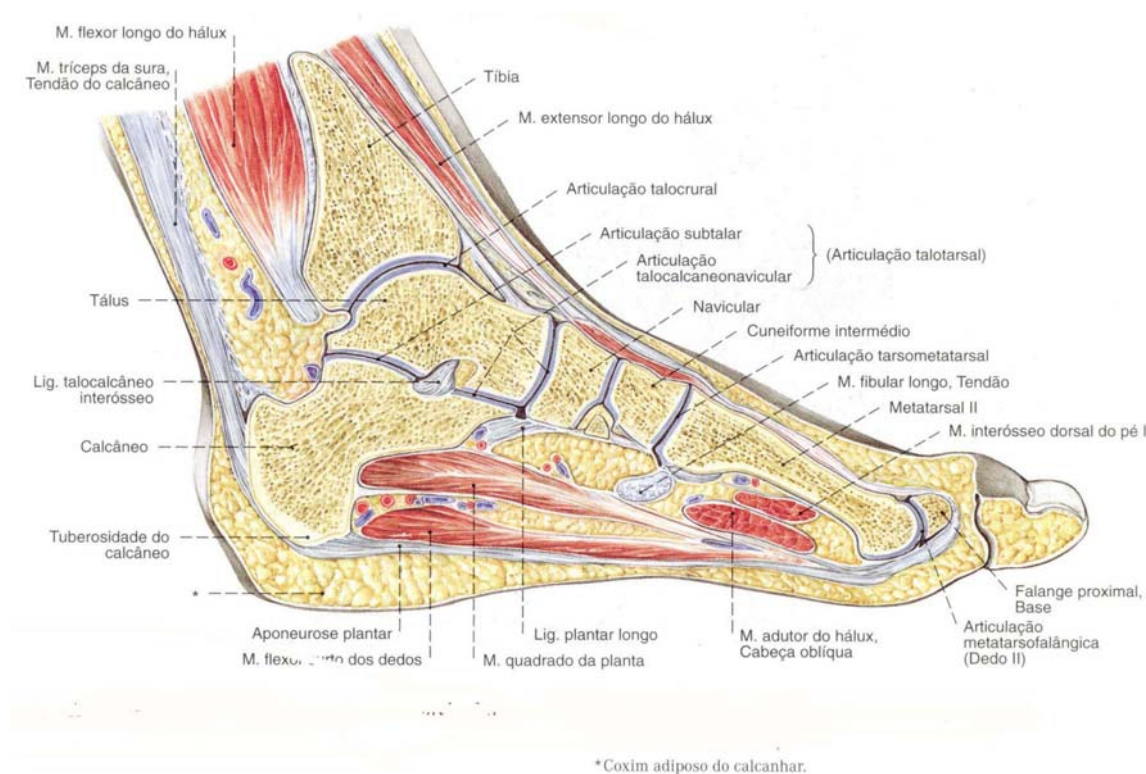


Figura 4: Vista medial da anatomia do pé (Sobotta, J., Atlas da Anatomia Humana, 2000, p.306).

2.3 Análise da passada

Na avaliação da marcha devem ser conhecidos os aspectos básicos que caracterizam a passada do indivíduo. Alguns conceitos, primeiramente, devem ser estabelecidos: *passada*, *passo* e *cadência*. Conforme Perry, *passada* é o intervalo no ciclo da marcha entre dois contatos iniciais seqüenciais com o mesmo pé – do direito para o direito; *passo* é o intervalo inicial com um pé e o outro pé – do direito para o esquerdo (como pode ser visto na figura 5) e *cadência* (frequência) é o número de passos por minuto.

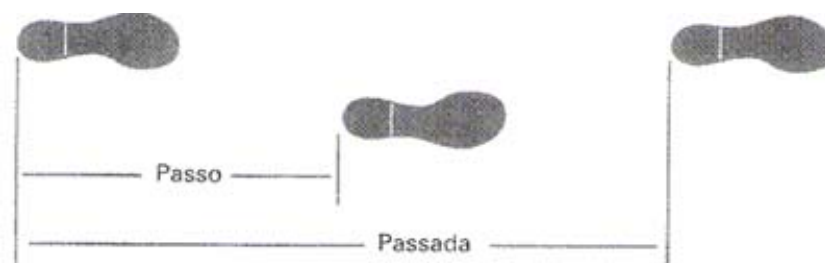


Figura 5: Esquema ilustrativo mostrando a diferença entre passo e passada (Perry, J., Análise de Marcha, 2005, p.4).

Os fatores que definem a passada de acordo Perry são: a “duração e a distância” em combinação com a “duração do balanço e do apoio”. A duração da passada está diretamente relacionada com a velocidade, sendo uma medida fundamental da marcha e é dada em metros por segundo (SI). Porém, é comum expressar a velocidade em metros por minuto, porque tanto em clínica, quanto no esporte o termo cadência é o mais empregado.

A velocidade da marcha (v) pode ser calculada pela equação 1 (PERRY):

$$v = CP \cdot 0,5C \quad (1)$$

Onde: v corresponde à velocidade da marcha [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]; CP representa o comprimento da passada [m] e C representa a cadência [$\text{passos} \cdot \text{min}^{-1}$].

Williams, por sua vez, prefere usar o passo e a velocidade da marcha, ficando então a equação 2 (ZATSIORSKI):

$$v = CP_s \cdot FP \quad (2)$$

Onde: v corresponde à velocidade da marcha [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]; CP_s representa o comprimento do passo (m) e FP , a frequência do passo [$\text{passos} \cdot \text{min}^{-1}$].

A velocidade da marcha é um fator importante na avaliação de outra variável que será objeto do estudo: a pressão plantar máxima. Os valores de velocidade da marcha para homens e para mulheres diferem. Em média, os homens são 5% mais rápidos ao caminhar, do que as mulheres (PERRY). Os fatores que afetam a variabilidade normal da velocidade são: gênero, idade e comprimento dos membros inferiores, além da variabilidade voluntária (PERRY). Destaca-se que não é escopo desse trabalho avaliá-los. Saliente-se, igualmente, que os diversos sistemas de análise da marcha não serão aqui enfocados devido ao propósito da dissertação tratar de um aspecto específico da marcha, ou seja, a absorção do impacto durante o movimento.

Em um olhar breve sobre a literatura no que tange à avaliação da forças de reação do solo sobre o pé emprega-se para medição plataformas de força e/ou dispositivos para análise da distribuição de pressão.

Os sistemas de medição se baseiam nos seguintes princípios: sensores capacitivos, piezoresistivos, resistivos, hidrocélulas e pedobarógrafos.

- a) O princípio capacitivo usa uma espuma de borracha com célula fechada como elemento dielétrico (isolante) entre duas placas de cobre que formam um capacitor pela aplicação de corrente elétrica. Alterando-se a carga elétrica aplicada e, simultaneamente variando-se a distância entre as placas do capacitor modifica-se a constante dielétrica, o que determina a capacitância, a qual pode ser transformada em sinal de corrente elétrica, proporcionalmente. A qualidade do transdutor depende, fundamentalmente da escolha da espuma de borracha (HENNIG, 1982). Como exemplos podem ser citados os sistemas comerciais: EMED e Novel Pedar. <http://www.novel.de>
- b) O princípio baseado em materiais piezocerâmicos é constituído de transdutores de cerâmica polarizada, os quais geram cargas elétricas na superfície, quando sofrem tensão. As cargas geradas com esse tipo de transdutor podem ser cem vezes maiores que dos transdutores de quartzo que, normalmente, são usados como transdutores de força piezoelétricos. Por isso, os transdutores piezocerâmicos permitem simplificar o processamento

eletrônico, baixo custo, alta resolução da distribuição de pressão e a construção de esteiras com centenas de transdutores (HENNIG, 1982). A plataforma de força da Kistler é produzida com transdutores de quartzo. <http://www.kistler.com>

- c) O sistema baseado no princípio resistivo é constituído por uma rede resistiva de linhas e colunas sobrepostas, sendo que cada ponto registra a pressão exercida sob o pé do indivíduo. O sistema de palmilhas F-Scan é baseado neste princípio. <http://www.tekscan.com>
- d) O sistema baseado em uma hidrocélula consiste num sensor discreto piezoresistivo inserido numa célula contendo um fluído. Quando é aplicada uma força, provoca um aumento da resistência dentro do fluido da hidrocélula fazendo com que o sensor piezoresistivo varie a sua tensão de saída (ORLIN; MARQUES, apud Sousa e Tavares, p. 11, 2006). <http://www.paromed.de>
- e) O princípio ótico é baseado na refração da luz que atravessa uma placa de vidro ou acrílico transparente, que é iluminada pelos lados de forma que a luz seja refletida internamente. A parte superior da placa é revestida com uma camada opaca de material plástico, na qual a pressão é exercida. Antes da aplicação da pressão a superfície é escura, vista por baixo. Mediante a pressão no topo da superfície de vidro ocorrem áreas iluminadas porque a luz atravessa a camada de ar existente entre a placa de vidro e o material plástico, alterando a refração. A imagem é gravada por uma câmara ajustada para estimar a pressão. O sistema sucintamente descrito é o pedobarógrafo Mini-Emed. <http://www.novel.de>

Os sistemas baseados em sensores resistivos têm baixa exatidão, porém são mais sensíveis a forças reduzidas, tendo uma resposta (resistência vs força) quadrática (McGILL; MARQUES, apud Sousa e Tavares, 2006, p. 12). Na medida em que há redução da força o comportamento é quase linear tendendo para um limite de saturação, segundo Marques, apud Sousa e Tavares.

Nos sistemas baseados em sensores capacitivos a maior desvantagem é a sua espessura (~ 2 mm) conforme Orlin, apud Sousa e Tavares. Apresentam uma elevada não

linearidade, histerese e *crosstalk*, reduzidos intervalos de medição e reduzida *performance* dinâmica (URRY, apud Sousa e Tavares). De acordo com Rosenbaum, apud Sousa e Tavares não devem operar a frequências de amostragem superiores a 100 Hz, porque tem uma frequência de resposta limitada provocada pela elevada não-linearidade. Ainda conforme o mesmo autor esse sistema é inadequado no estudo de movimentos rápidos, mas para a análise da marcha este tipo de tecnologia é considerado preciso e exato.

Sousa e Tavares durante suas pesquisas não encontraram qualquer referência relativa ao comportamento típico das hidrocélulas na medição da pressão.

Sobre os sistemas de pedobarografia Urry, apud Sousa e Tavares aponta que este tipo de princípio de medição pode atingir resoluções elevadas e traduzir valores reais de pressão.

Como não é escopo desse estudo detalhar todos os sistemas existentes é apresentado no anexo A um resumo da pesquisa de Sousa e Tavares.

A versão que foi usada neste trabalho se baseia no princípio capacitivo, como fora mencionado é uma palmilha dentro do próprio calçado, porque esse tipo de dispositivo, de acordo com Schie (2005) apresenta inúmeras vantagens: pode-se avaliar o efeito da pressão em tipos diferentes de calçados, assim como de sobrepalmilhas no que diz respeito à dor; as coletas podem ser feitas muito próximas à forma de andar do sujeito sem alterar a marcha pelo contato com a plataforma. Resumindo, têm-se as plataformas que medem a força entre o pé e o solo e os sistemas que medem a força e a pressão dentro do calçado.

2.4 O calçado e a marcha

No capítulo dedicado à exposição do problema que motivou ao projeto de dissertação verificou-se o estágio da pesquisa em diversos campos da biomecânica aplicada ao calçado e suas implicações para o ser humano. A idéia neste ponto é aprofundar um pouco mais o assunto, procurando estabelecer de forma mais ampla a influência do calçado sobre a marcha.

Estima-se que em um sapato bem elaborado, possam ser encontradas aproximadamente vinte e cinco partes ou componentes (LITERATURA TÉCNICA BÁSICA EM CALÇADOS, 2002).

Um calçado se divide em construção inferior e superior. A construção superior é constituída do cabedal, que tem a função de cobrir e proteger a parte de cima do pé. A inferior, por sua vez, constitui-se do solado, que serve para proteger o pé do contato com o solo conforme ilustrado na figura 6.

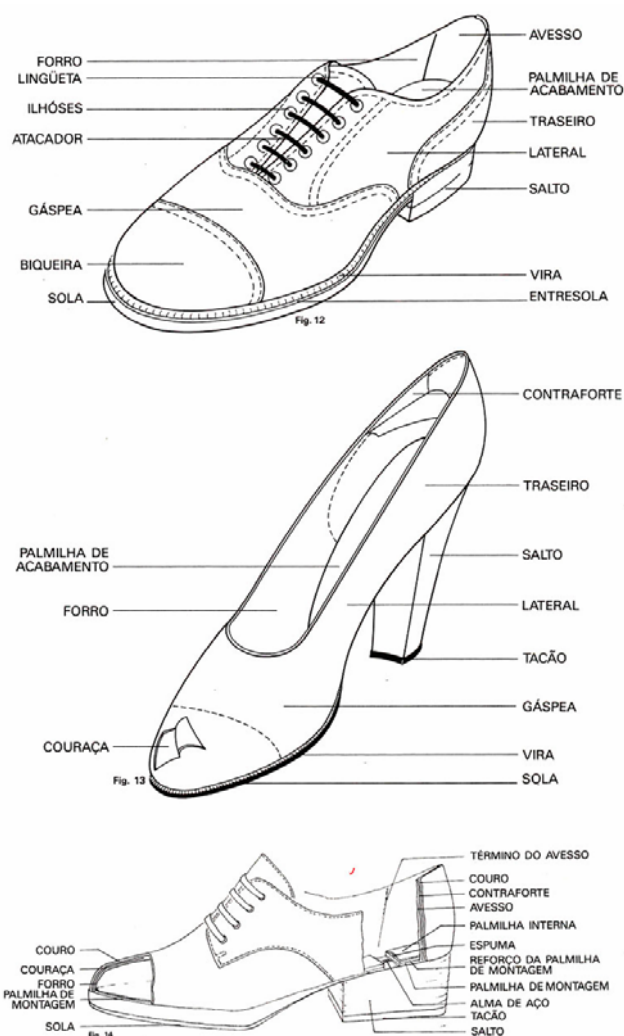


Figura 6: Componentes do Calçado (Mylius, M., O Sapato, 1993, p.19).

Calçados mais pesados demandam mais oxigênio durante uma corrida em 1,9 % / 100 g de diferença de massa por calçado (CATLIN, DRESSENDORFER apud ZATSIORSKI, p.139).

No que diz respeito ao acolchoamento (amortecimento), calçados que têm essa propriedade apresentam diferença no consumo de oxigênio para o corredor. Aqui se deve

ressaltar uma controvérsia nos resultados de literatura. Frederick et al. apud Zatsiorski dizem que o consumo de oxigênio é mais baixo, quando o calçado é mais macio. Outro estudo de Bosco, Rusko apud Zatsiorski realizado com solas macias, portanto apresentando alta absorção de energia, descreve que ocorre maior consumo de oxigênio devido ao maior tempo de apoio modificar o ciclo de alongamento-encurtamento dos eventos e, reduzindo o ganho nas contribuições elásticas ao trabalho realizado.

No trabalho de Frederick et al. apud Zatsiorski observa-se uma relação significativa entre o consumo de oxigênio e a velocidade de flexão máxima do joelho depois do toque do pé no solo, em que velocidades maiores foram verificadas para calçados mais duros, sendo uma possível razão para o aumento da demanda de energia. A explicação deste fato seria que o aumento do consumo de energia deve-se à maior velocidade do corredor e não à dureza da sola. Outra hipótese levantada no caso do uso de órteses, é que há a diminuição no consumo de oxigênio devido à modificação na mecânica da extremidade inferior, o que diminuiria a atividade muscular. No entanto, a tendência é do aumento no consumo de oxigênio, que pode ser devido à adição da massa total do calçado pela inserção da órtese (CLEMENT et al. apud ZATSIORSKI).

Deixando de lado a discussão sob o prisma do balanço energético e focando no peso do corpo que atua sobre o pé e suas conseqüências para os tecidos da superfície plantar, os estudos (NERY, 1997; LAVERY et al., 1997; TSUNG et al., 2004; SCHIE, 2005) indicam que as sobrepalmilhas têm um papel importante na marcha.

O nível de compressão é resultado entre o equilíbrio da intensidade da força peso e a área do pé em contato com o solo. A distribuição de pressão plantar ocorre quando a carga inicial é aplicada na pequena área posterior lateral pela massa do corpo que cai rapidamente sobre o pé. Segundo Cavanagh, Michiyoshi apud Perry, a força total pode chegar a $101,8 \text{ N.cm}^{-2}$ em marcha lenta, a qual é considerada 100% para comparação com outras áreas (Figura 7).

referência um sapato com solado de borracha tipo *Canvas Oxford*. Os resultados reportados sugerem que houve redução significativa na pressão plantar quando do uso de sobrepalmilhas visco-elásticas em todos os tipos de calçados, comparados aos sem sobrepalmilhas. Os sapatos tipo *confortável* e o tipo *atlético* com sobrepalmilha apresentaram resultados semelhantes ao sapato *extraprofundo* (terapêutico) com sobrepalmilha na redução do pico de pressão plantar. Os autores indicam que os tipos *confortável* e *atlético* com sobrepalmilha poderiam ser usados para úlceras localizadas debaixo das cabeças dos metatarsos. No entanto, para úlceras do hálux, o sapato tipo atlético sem sobrepalmilha não diminuiu os valores medidos de pressão plantar, assim como também nos outros sapatos avaliados.

Um artigo de Tsung et al. (2004), relata um estudo feito na Universidade Politécnica de Hong Kong onde aspectos da marcha, como pronação anormal combinados com a eversão, a dorsiflexão e abdução são as principais causas da patologia músculo-esquelética nos membros inferiores. Seis pessoas com diabetes Mellitus participaram do estudo e foi comparado com um grupo controle de oito pessoas normais. O trabalho consistiu em avaliar por meio do sistema F-Scan sobrepalmilhas sob medida com contorno (anatômica), sobrepalmilhas planas e calçados sem sobrepalmilha. O material das sobrepalmilhas - Nora Lunasoft AL - foi da empresa Freudenberg (Alemanha) com espessura padrão na região do retropé, antepé e central de 3 mm com dureza 50 Shore A. Em todos os testes foi usada uma camada de 3 mm de Poron (um tipo comercial de poliuretano) na dureza de Shore 25 A com revestimento de tecido de algodão macio. No caso das sobrepalmilhas sob medida, o teste foi realizado em três situações: unipodal estática, bipodal estática e sentado sem carga agindo no pé, com o joelho flexionado a 90° e o tornozelo numa posição neutra. O resultado demonstrou que o uso de sobrepalmilhas reduz significativamente o pico de pressão local e a integral tempo-pressão, aumentando a área de contato. Outra informação relevante foi de que sobrepalmilhas com desenho são melhores do que as planas em relação a reduzir o pico de pressão local.

Nigg et al. apud Zatsiorski, verificaram a influência da dureza da entressola do calçado na pronação, ou seja, calçados mais macios com dureza 25 reduzem a pronação em relação aos calçados mais duros com dureza 35, assim como a velocidade de pronação é maior em calçados mais duros.

Carl et al. (2006) avaliaram a eficácia de dois tipos diferentes de design do calçado (sola de calcanhar baixo e sola de calcanhar alto) com inserto no antepé em pacientes que tiveram o antepé reconstruído parcial ou totalmente e que necessitavam de órtese. Os calçados tinham dois tipos de desenhos: um com sola de calcanhar baixo e outro com sola de calcanhar alto. O resultado demonstrou que ambos são eficientes em reduzir o pico de pressão plantar.

A pesquisa de Jordan e Bartlett (1995) demonstrou que a medida de distribuição de pressão plantar pode ser uma ferramenta útil para diagnóstico de problemas clínicos, selecionar tipos de materiais para sobrepalmilha, assim como para calçados.

Muito embora haja dificuldade de se quantificar conforto, percepção de conforto e distribuição de pressão, a hiperqueratose (calosidades) é atribuída aos picos de pressão (NERY, 1997).

De acordo com estudo realizado por Lopes e Oliveira (2004) para levantar os fatores de risco para o pé diabético feito com pessoas assistidas no Programa de Saúde da Família da Faculdade de Medicina do Triângulo Mineiro (FMTM) em 2002 a principal causa de risco para desenvolver o pé diabético é a calosidade - 61,0%.

Schie (2005) da Universidade de Amsterdam descreve que neuropatias diabética periférica alteram a estrutura do pé, afetando a função do pé e, conseqüentemente aumentando a pressão plantar, o que é um fator de risco para desenvolver úlceras.

Como ficam demonstrados, por diversos pesquisadores os resultados são muitas vezes contraditórios. A análise biomecânica e suas correlações com conforto merecem ainda de uma evidência científica mais consistente, porque há uma carência de informação mais detalhada, de forma geral, assim manifestada:

“Uma das desvantagens principais da literatura atual é que as especificações relativas à composição de sapatos terapêuticos e sobrepalmilhas não estão claramente definidas” (LAVERY et al.).

Adicionalmente pode-se considerar outro aspecto para complicar a discussão que é o significado do termo *Conforto*. Há vários conceitos e segundo Ashrae, (1992): “that state of mind which expresses satisfaction with the thermal environment”.

No calçado temos:

[.....] não aparecimento de dor ou de outras manifestações sensoriais que surgem tanto no experimentar quanto no uso contínuo do calçado, gerando a indisposição do usuário durante seu uso (GEIB, 1999).

Adotou-se no presente trabalho o seguinte conceito para conforto: é a sensação de bem-estar físico e mental causado pela ausência de umidade, calor, pontos de alta pressão, dores por lesões e cansaço muscular.

Procurar-se-á discutir a seguir sobre os materiais de que são feitas, em geral, as sobrepalmilhas e suas propriedades.

2.5 Propriedades mecânico-dinâmicas

Os materiais exibem propriedades que podem ser classificadas por diversos critérios. Uma maneira que parece ser apropriada considerando-se a mecânica e suas implicações para efeito do trabalho é dividir em propriedades físicas básicas em relação ao ensaio de tração e propriedades de serviço em relação ao uso.

A primeira se refere ao módulo elástico, à tensão de ruptura, à resistência ao rasgamento e ao alongamento na ruptura enquanto a segunda relaciona-se às propriedades dinâmicas como, por exemplo, a resiliência, o desenvolvimento de calor ou a deformação dinâmica.

As propriedades dinâmicas devem ser entendidas como as relações entre deformações cíclicas e os esforços que as geraram (deformações), portanto não serão considerados ensaios de fadiga por flexão.

Segundo Brown (2006) existem duas classes de testes dinâmicos: os de *vibração livre* – nos quais à medida que o teste é feito o esforço oscilatório vai diminuindo de amplitude devido ao amortecimento do sistema e os de *vibração forçada* – nos quais a oscilação é mantida constante, sendo que o material sofre uma série de meios-ciclos. O ensaio de vibração forçada pode ainda ser subdividido em ressonante e não-ressonante.

O ensaio de resiliência ao impacto é um dos métodos mais simples de vibração livre no qual só se realiza a metade do ciclo. Como será visto adiante no capítulo 4 não é um

método acurado, embora muito utilizado em controle de qualidade industrial por sua simplicidade e baixo custo de equipamento. Sua grande limitação é a falta de controle sob a deformação aplicada. Diferentes métodos têm sido usados para medir a resiliência ao impacto, tais como o pêndulo Schob e máquinas de ensaio mecânico com o princípio da queda livre (Borges Jr et al. 1999), como os empregados na presente pesquisa.

Neste segundo método, parte-se da suposição, que o coeficiente de restituição, nada mais é do que a resiliência ao impacto, medida por outra forma. A diferença entre os dois métodos está na massa de impacto, cujo pêndulo tem massa de 247 g para o resiliômetro e, 169 g para a máquina de ensaio mecânico com o princípio da queda livre, e no sistema de aquisição dos dados, que nesta última é por sinal eletrônico. Ambos os métodos são detalhados na metodologia (ver item 3.2.2).

O ensaio de deformação dinâmica é um método de vibração forçada, onde tanto a deformação como a frequência é controlada.

Ainda de acordo com Brown para caracterização e comparação de materiais, o teste de tração tem a vantagem de necessitar células de carga baixas (menor esforço do equipamento de ensaio) e fácil obtenção do corpo-de-prova. Por outro lado, o ensaio de compressão tem a desvantagem de ser necessário considerar o fator forma, o que no caso de materiais expandidos é um aspecto de difícil controle. Conforme Reed (2003), o fator forma é a razão entre a área superficial com carga pela área superficial sem carga. Por isso optou-se neste trabalho pelo ensaio de histerese por tração e não por compressão.

Em ensaios dinâmicos, outra consideração importante é a repetição dos ciclos, o que ocasiona efeitos inerentes ao processo, provocando a mudança progressiva das propriedades, basicamente por duas razões, no início do teste uma redução da tensão por condição mecânica que se estabiliza depois de poucos ciclos e na seqüência uma modificação da propriedade pelo aumento da temperatura devido à geração de calor dentro do corpo-de-prova (BROWN).

2.6 Materiais poliméricos empregados na fabricação de sobrepalmilhas

Os polímeros, sob o ponto de vista da física, são fluidos classificados como não-newtonianos por apresentarem comportamento da viscosidade variando com a velocidade e tensão de cisalhamento (BLUMA et al., 2001). Logo, são chamados de visco-elásticos, devido a uma fração de energia mecânica transformar-se em calor – histerese mecânica – e, portanto a um incremento da temperatura do material.

Determinar as características dos materiais empregados na construção de sobrepalmilhas através da análise morfológica e das transições térmicas características destes materiais (tais como a temperatura de transição vítrea (T_g) e a temperatura de fusão cristalina (T_m)) pode facilitar a identificação do tipo de material, porque o comportamento elastomérico ocorre entre a T_g e a T_m , enquanto que o comportamento viscoso (plástico), ocorre acima da T_m (CANEVAROLO Júnior, 2002). Além disso, a análise das transições térmicas fornece informações sobre o caráter cristalino dos materiais e sua história térmica. Portanto, o conhecimento de propriedades físico-químicas, mecânico-dinâmicas, associado ao comportamento biomecânico do material, pode ajudar na previsão da *performance* do material, quando em uso. Segundo Schuster (1999), dois fatores devem ser considerados na caracterização mecânico-dinâmica dos materiais: a frequência e a amplitude de deformação nas propriedades mecânico-dinâmicas dos polímeros.

O fenômeno envolvido (marcha) está dentro do que podemos considerar uma frequência média de 1 Hz a 100 Hz. Em uma caminhada “normal” a frequência fundamental da passada humana é de aproximadamente $120 \text{ passos.min}^{-1}$, ou seja, 2 Hz. A frequência máxima medida por Winter (1990) foi de até 6 Hz. Contudo, no que diz respeito à amplitude de deformação sabe-se que o peso do indivíduo é incrementado em aproximadamente 1,6 a 2,0 vezes uma velocidade de $3,4 \text{ m.s}^{-1}$ e 2,9 vezes a $5,4 \text{ m.s}^{-1}$ (WILLIAMS, apud Bruniera e Amadio, 1993, p. 20). Portanto, o suporte estrutural deve ter capacidade de isolar e absorver o impacto quer seja pela rigidez, pela espessura ou pela relação entre ambos.

2.6.1 Materiais celulares

Antes de discutir as propriedades dos materiais celulares é preciso conceituá-los.

Conforme Feldmann (1989) polímeros celulares são sistemas multifásicos (compósitos) constituídos de uma matriz polimérica e uma fase fluida, normalmente um gás e podem ser classificados com os seguintes critérios: morfologia da célula, comportamento mecânico, composição e densidade.

Neste trabalho será adotado o critério que divide em espumas, esponjas e expandidos. Segundo Blow, Hepburn, (1982) é considerado uma *espuma de borracha*, o produto obtido a partir de materiais líquidos empregados no processo. Por exemplo, podem-se citar as espumas de látex. Já as *esponjas* de borracha e as *borrachas expandidas* são obtidas a partir de materiais sólidos. A diferença fundamental está no método de produção. As *esponjas* possuem células abertas e os *expandidos*, células fechadas.

O gráfico esquemático 1 representa o efeito da viscosidade no grau de expansão de uma borracha. Como a viscosidade do material é função do grau de reticulação e da temperatura, a expansão é resultado do comportamento reológico do composto polimérico.

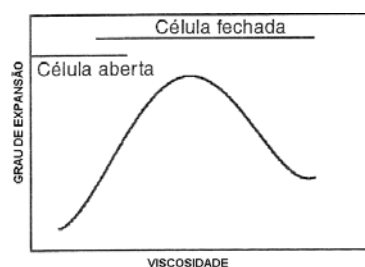


Gráfico 1: Comportamento teórico da expansão vs viscosidade da borracha (Rabello, Aditivção de Polímeros, 2000, p.205).

Sob o enfoque da morfologia, em materiais com células abertas (Figura 8.a) os “vazios” estão juntos de forma que a fase fluida e a sólida sejam contínuas. Já nos materiais expandidos, células fechadas (Figura 8.b), a segunda fase está dispersa de forma discreta em bolhas de gás na fase contínua da matriz polimérica (Feldman, 1989).

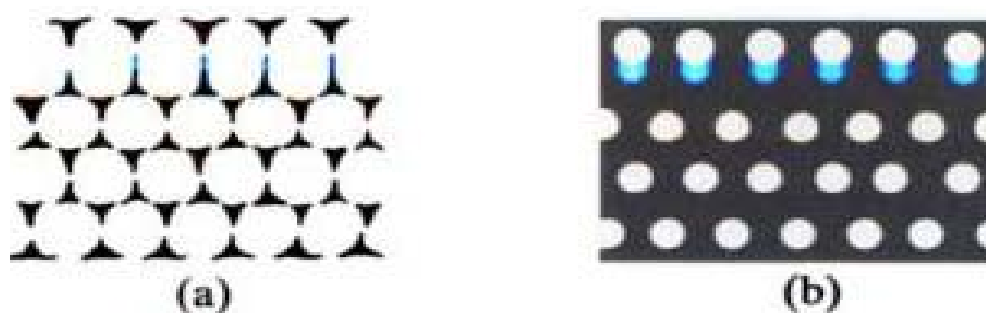


Figura 8: Esquema ilustrativo de espuma célula aberta e espuma de célula fechada: (a) Espuma de baixa densidade – célula aberta, (b) Espuma de alta densidade – célula fechada (Feldman, D., Polymeric Building Materials, 1989, p.285).

De forma mais genérica, materiais celulares se caracterizam por estruturas constituídas por células poliédricas formadas por “vazio-sólido”, sendo classificadas em *abertas*, quando apresentam uma morfologia de rede contínua semelhante a um favo de mel, ou *fechadas*, quando apresentam um interior vazio e as faces fechadas por uma membrana. O tamanho de célula varia de 1 μm a 10 μm e a concentração, de 10^9 células. cm^{-3} a 10^{15} células. cm^{-3} (SYCH, 2004).

Do ponto de vista prático, nunca um material é integralmente constituído só de células abertas ou fechadas, as morfologias coexistem, porque nos materiais de células abertas o gás flui através da matriz “sólida” sob ação de uma carga, semelhante aos materiais com células fechadas, onde o gás se difunde através das paredes das células. Assim, a fração volumétrica de células fechadas tem influência no comportamento mecânico desses materiais, daí a importância das características estruturais.

As propriedades dos materiais celulares conforme vários estudos estão na razão direta da expansão (SHIMBO et al., 2004), sendo que a correlação entre estrutura e propriedades mostra que a melhor resistência mecânica vs baixa densidade, cresce de forma contínua. Ou seja, entre a parte interna do material (baixa densidade) para a pele (alta densidade) (VILAR, 1998; SCHLEI et al., 2006). Portanto, as propriedades dos materiais celulares dependem dos tipos de células: esféricas (isotrópicas) e elípticas (anisotrópicas) (VILAR, 1998). Os materiais celulares normalmente são mais heterogêneos que os materiais compactos (sólidos). A densidade de um material compacto é homogênea, enquanto que a densidade dos materiais celulares varia de dentro para fora do material moldado. Esse fato é mais pronunciado à medida que aumenta a espessura material moldado (gráfico 2):

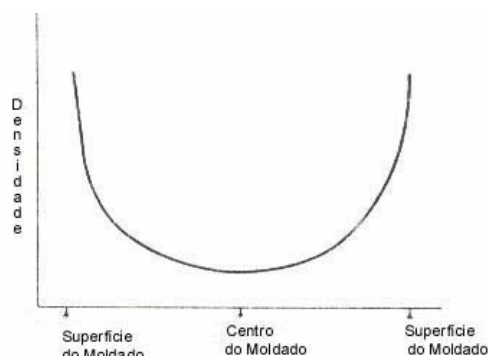


Gráfico 2: Comportamento teórico da densidade vs secção transversal do material (Blow, Hepburn, Rubber Technology and Manufacture, 1982, p.475).

O fenômeno descrito é válido, em maior ou menor extensão, para todos os materiais celulares (BLOW, HEPBURN). A função que descreve a densidade da superfície (pele) ao interior (miolo) do produto expandido é de uma parábola invertida, isto é, com o foco para baixo.

A densidade aparente dos materiais celulares é uma média de um gradiente de densidades ao longo da espessura do material (MEHTA, NADELLA, 2003). Outros fatores são igualmente importantes no desempenho dos materiais expandidos: tamanho e distribuição dos tamanhos das células (VILAR, 1998; SCHLEI et al., 2006).

2.6.1.1 EVA expandido

Os materiais para sobrepalmilhas a base poli(etileno-co-acetato de vinila) podem ser fabricados com o teor de acetato de vinila de 18% ou 28% pelo processo de compressão (placas), injeção ou termoconformação. Possuem alta resistência ao rasgo por flexão e alta deformação permanente por compressão, quando comparada à borracha qual borracha em geral e ao poliuretano. A principal característica é permitir a produção de materiais com densidade aparente muito baixa (“leveza”).

Conforme Mark (1999), a T_g para a resina de EVA com teor de VA 30 % é $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$ e para o teor de 40 % é $-38\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a T_m está em $72\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Segundo Park, Kim (2003) a T_g para as resinas de EVA está entre $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ conforme gráfico 3.

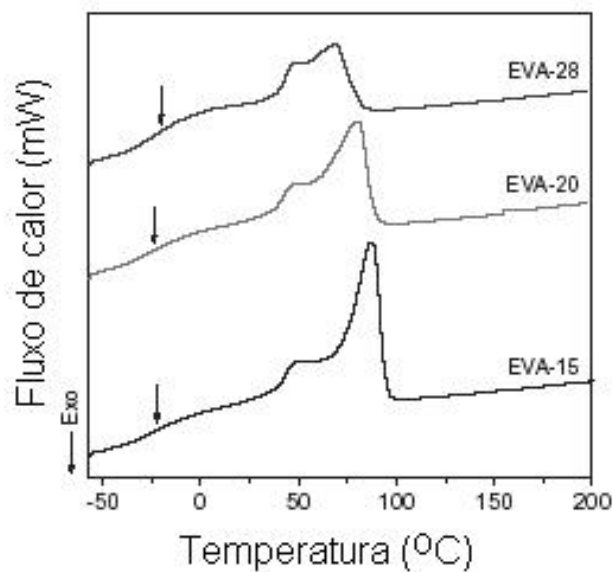


Gráfico 3: Curvas de DSC para resinas de EVA (Park, Kim, International Journal of Adhesion & Adhesives, 2003, p.385).

No que concerne à morfologia típica do EVA expandido pode-se verificar na micrografia da figura 9 a distribuição homogênea, geometria irregular e tamanho variado das células.

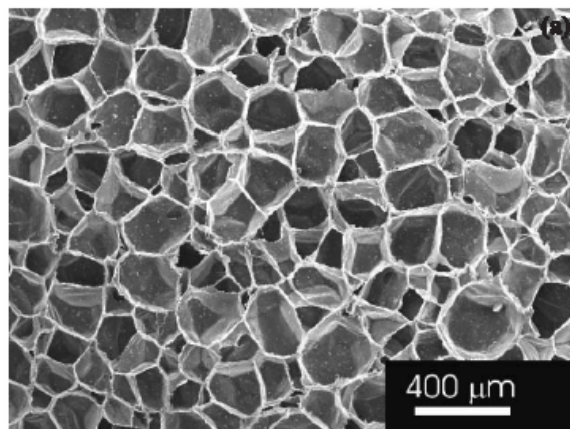


Figura 9: Micrografia eletrônica de varredura da seção transversal de EVA expandido (Zattera, Bianchi, Zeni, Ferreira, Polímeros: Ciência e Tecnologia, 2005, p.75).

Em relação às propriedades mecânico-dinâmicas do EVA expandido, o gráfico 4 ilustra o comportamento da resiliência ao impacto em função da densidade aparente.

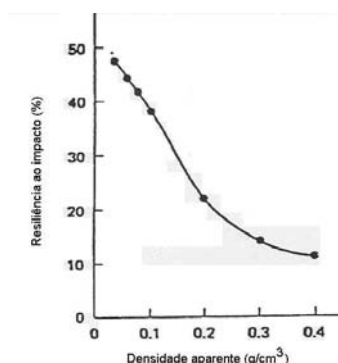


Gráfico 4: Densidade aparente vs resiliência *ao impacto* para EVA expandido (Expanded Foam, nº3-2).

2.6.1.2 Espuma de poliuretano flexível

As sobrepalmilhas fabricadas em espuma de poliuretano flexível a base de polioli poliéter podem ser obtidas pelo processo de blocos (caixote) ou moldadas. Possuem resistência à hidrólise e baixa deformação permanente por compressão.

Segundo Vilar, os PU apresentam um espectro amplo, tanto para a temperatura de transição vítrea, quanto para a temperatura de fusão, dependendo do tipo de polioli-poliéter, extensor de cadeia e isocianato, entre outros, empregados no sistema. A T_g referida por Kleemann e Weber (1994) é -50°C para o tipo poliéter. Davies e Mills (1999) citam que as espumas de PU flexíveis “convencionais” têm T_g em torno de -45°C . Em um trabalho de Mills et al. pode-se observar a estrutura característica de um material tipo espuma de PU flexível, onde as células são esféricas com distribuição homogênea (figura 10):

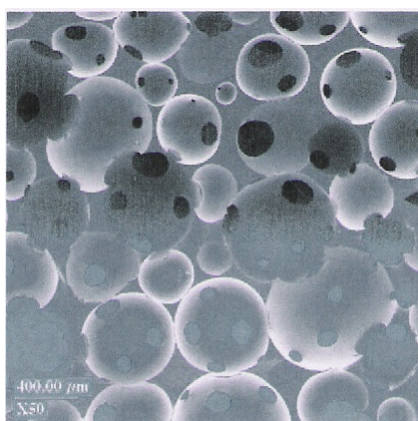


Figura 10: Micrografia eletrônica de varredura da seção transversal de espuma de PU flexível – densidade $0,19 \text{ g.cm}^{-3}$ (Mills et al., Composites Science and Technology, 2003, p.2390).

2.6.1.3 Látex espumado de borracha sintética SBR

As espumas de látex de borracha SBR apresentam boas propriedades, tais como: boa resistência ao rasgo por flexão, baixa deformação permanente por compressão, boa capacidade de absorver impactos, permeabilidade, boa isolamento térmica, assim como adsorção de suor em calçados.

De acordo com Kleemann e Weber (1994), Mark (1999) o elastômero de estireno-butadieno (SBR) com teor de estireno de 23% tem a T_g : -52°C . Ainda conforme Mark, à medida que aumenta o estireno combinado nos teores de 36 %, 53 % e 75% têm-se para os SBR tipo emulsão as seguintes T_g : -38°C , -14°C e 13°C , respectivamente. Esse fenômeno pode ser explicado pelo grupo lateral estireno que é volumoso e ancora a cadeia do polímero (poli-butadieno), aumentando a quantidade de energia necessária para dar mobilidade à estrutura polimérica. Outro aspecto é a diminuição do “empacotamento” devido ao volume maior, o qual dificulta a cristalização (reduz a fração cristalina).

Finalmente, podemos ver no gráfico 5 um resumo do comportamento dos três materiais frente à deformação dinâmica, muito embora no trabalho de Stilling (1990), não se tenham informações detalhadas dos dados de ensaio e do material empregado na pesquisa.

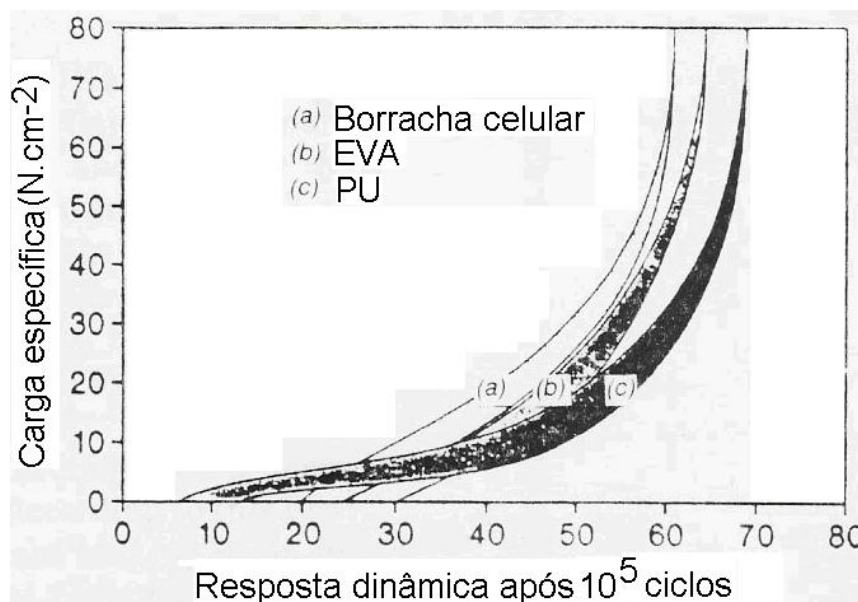


Gráfico 5: Deformação dinâmica vs força para três materiais diferentes (STILLING, H. 1990).

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

Todos os materiais empregados na pesquisa foram selecionados de forma intencional e acondicionados de acordo com a norma técnica de acondicionamento de materiais NBR 10455.

Foram empregados os seguintes materiais: EVA expandido, látex espumado de SBR, espuma de poliuretano flexível (espuma de PU flexível).

A coleta das amostras foi feita de forma junto ao fabricante, que informou as características básicas do material, como densidade aparente, espessura e tipo de polímero nas quantidades de duas placas do mesmo lote de fabricação devidamente identificadas. As amostras foram constituídas de placas planas, lisas, nas espessuras e densidades indicadas na tabela 2:

Tabela 2
Variável em estudo vs natureza do material.

Variável	Material					
	EVA Expandido		Látex espumado de SBR		Espuma de PU flexível	
	Valor	Denominação	Valor	Denominação	Valor	Denominação
Densidade aparente [g.cm⁻³]	0,10±0,05	(A)	0,20±0,02	(D)	0,35±0,03	(G)
	0,25±0,05	(B)	0,25±0,02	(E)	-	
	0,35±0,05	(C)	0,30±0,02	(F)	0,45±0,03	(H)
	3,0±0,5		3,0±0,5		3,0±0,5	
Espessura [mm]	4,0±0,5		4,0±0,5		4,0±0,5	
	5,0±0,5		5,0±0,5		5,0±0,5	
	6,0±0,5		6,0±0,5		6,0±0,5	

3.1.1 EVA expandido

Foram avaliadas placas expandidas sem pele de um composto a base de EVA – Etileno-co-Acetato de Vinila – teor de VA igual a 18 %, MI de 2,5 g/10 min empregadas na fabricação de sobrepalmilhas para calçados de uso diário. As placas foram todas do mesmo fornecedor e o processo de fabricação foi o de moldagem por compressão, gerando um material com células fechadas. Após, as placas foram divididas em divisora de navalhas nas espessuras desejadas.

Solicitou-se junto ao fabricante, que as placas de EVA expandido fossem representativas do que é produzido diariamente para serem caracterizadas nas duas propriedades em estudo, isto é, densidade e espessura e que estivessem dentro da variação especificada.

O fabricante forneceu as seguintes características para as placas:

- Densidade $0,10 \text{ g.cm}^{-3}$ – $1,05 \times 1,50 \text{ m}$ com 72 % de expansão
- Densidade $0,25 \text{ g.cm}^{-3}$ – $0,98 \times 1,35 \text{ m}$ com 60 % de expansão
- Densidade $0,35 \text{ g.cm}^{-3}$ – $0,80 \times 0,90 \text{ m}$ com 33 % de expansão

3.1.2 Látex espumado de borracha SBR

As amostras coletadas foram de um mesmo fabricante e produzidas pela coagulação da emulsão de látex de SBR, que é “espumada” pela injeção de ar controlada automaticamente para obtenção da densidade desejada. O composto é espalmado sobre uma esteira contínua e a reticulação é feita em túnel aquecido. Todas as placas foram com pele e apresentaram dimensão de $0,73 \text{ m} \times 0,82 \text{ m}$, sendo uma placa para cada densidade.

3.1.3 Espuma de PU flexível

O processo de obtenção das placas foi o de derramamento, isto é, por gravidade, o que pode gerar uma dispersão muito larga de células (porosidade). A densidade desejada foi obtida pelo controle do volume de material introduzido no molde. Logo, foram necessárias várias coletas de placas para que se obtivesse um produto homogêneo.

As amostras coletadas foram na quantidade de cinco placas com pele para cada densidade nas dimensões de $108 \text{ mm} \times 284 \text{ mm}$ de um mesmo fabricante.

3.2 Instrumentos do estudo

3.2.1 Entrevista pessoal estruturada

Foram realizadas entrevistas mediante questionários (Apêndices A e B) com profissionais indicados pela Associação Brasileira de Estilistas de Calçados – ABECA (Novo Hamburgo) e com professores da Escola de Calçados do SENAI (Novo Hamburgo). No entanto, para avaliar a clareza e a validade dos questionários empregados nas entrevistas foram aplicados dois outros questionários com os mesmos conteúdos conforme modelos (Apêndices C e D).

3.2.2 Equipamentos

Os equipamentos utilizados nas avaliações foram:

- Balança mecânica analítica com capacidade para 160g marca Metler H 35 com resolução de 0,0001 g para determinação de densidade aparente conforme a norma NBR 14098.
- Durômetro com escala na faixa de 0 a 100 Asker C marca Teclock, com a escala subdividida em unidades de dureza. O aparelho possui uma esfera de aço inoxidável com diâmetro de $(5,08 \pm 0,06)$ mm e que sobressai de sua base $(2,56 \pm 0,03)$ mm.
- Medidor de espessura marca Maqtest com relógio comparador Mitutoyo, resolução (divisão da escala) de 0,01mm e pressão específica constante.
- Equipamento DSC-TGA – 50, marca Shimadzu.
- Microscópio Eletrônico de Varredura, marca Shimadzu SSX-550.
- Dinamômetro EMIC, modelo DL 2000 com capacidade de medir força de compressão até 6000 N e com possibilidade de registrar informações sobre carga/deformação para determinar a absorção de energia. A aparelhagem consta de um dinamômetro com velocidade de ensaio ajustável, um êmbolo de diâmetro de 40 mm, cuja borda foi arredondada com um raio de 2 mm e um registrador gráfico conforme figura 11:

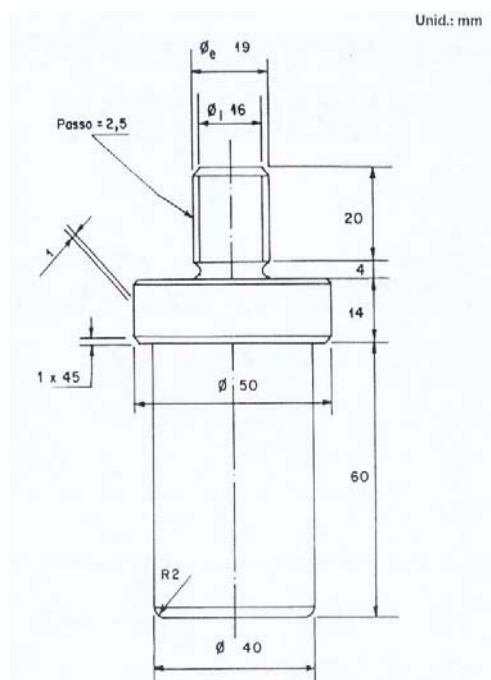


Figura 11: Esquema (vista lateral) do êmbolo empregado nos ensaios de absorção de energia (NBR 12577).

- *Trampell Machine*, modelo 27189 fabricada por Máquinas Metal de solicitação contínua para avaliação da deformação por compressão dinâmica. A aparelhagem necessária consta de uma máquina de solicitações contínuas com plataforma metálica, onde a amostra a ser ensaiada é colocada e cujo ângulo em relação ao dispositivo de aplicação da carga (vertical) é ajustado para 90° conforme ilustrado na figura 12:

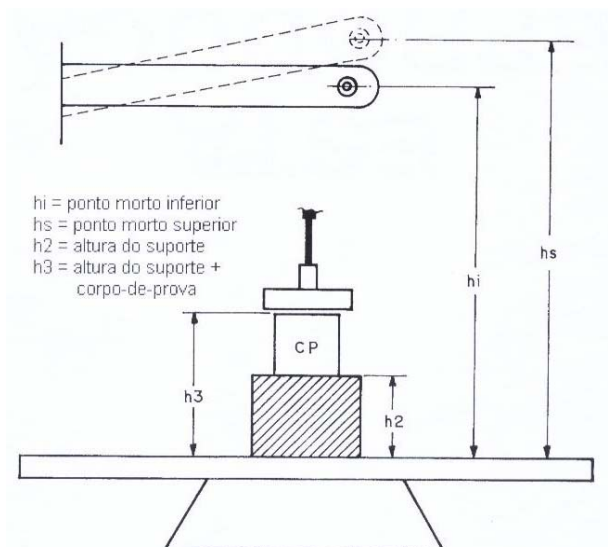


Figura 12: Esquema (vista lateral) da Trampell Machine (NBR 14739).

- Resiliômetro de pêndulo Schob constitui-se de uma estrutura com bigorna, um dispositivo de fixação para a amostra a ser ensaiada, um pêndulo com pena de martelo e um indicador da resiliência ao impacto. O dispositivo de registro da resiliência é uma escala graduada em graus subdivididos em 100 unidades de tal maneira que os valores da resiliência correspondem diretamente em percentagem e um ponteiro que possui um mecanismo de arraste fixado na base do pêndulo. O equipamento utilizado foi de fabricação da Maqtest segundo a norma técnica DIN 53.505. Na figura 13 tem-se uma vista do dispositivo de ensaio.

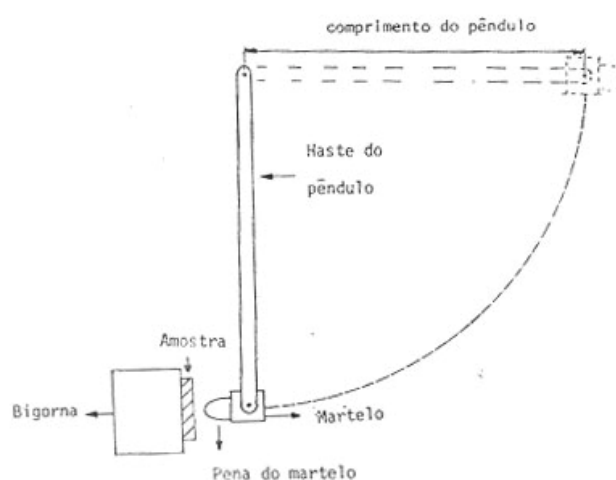


Figura 13: Esquema (vista lateral parcial) do resiliômetro de pêndulo Schob (NBR 8690).

- Máquina universal de ensaios mecânicos marca EMIC DL500, célula de carga de 500 kgf, para determinação da histerese mecânica.

- Máquina de ensaio mecânico para determinar o coeficiente de restituição, equipamento constituído por duas torres paralelas e interligado na parte superior em forma de “U” invertidas apoiado sobre uma base. O lado interno das torres possui um sistema de ar para evitar o atrito entre as paredes e o dispositivo de massa igual a $(169,29 \pm 0,01)$ g que está suspenso por um eletroímã. A massa é liberada em queda livre por um sinal eletrônico.

O sistema móvel possui uma ponteira piezelétrica capaz de medir a força de impacto contra o corpo-de-prova. Os sinais obtidos são registrados em uma placa multicanal CIO-DAS 16/1600 (figura 14).

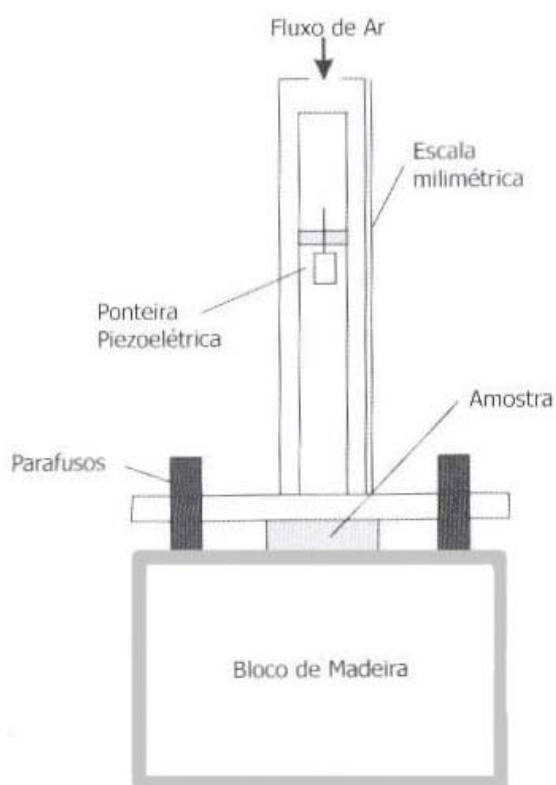


Figura 14: Esquema (vista frontal) do equipamento para determinação do coeficiente de restituição (BORGES Jr., 2003).

- Sistema Pedar - X da marca Novell GMBH para aferição da distribuição da pressão plantar consta de um sistema de palmilhas sensorizadas flexíveis com resolução mínima de 99 sensores por pé e frequência de 50 Hz, acoplado a um sistema de registro apropriado e com uma imprecisão inferior a 5% (figura 15):



Figura 15: Sistema Pedar X (Novel GmbH)

- Balança para pesar marca Balmak, nº 0549, modelo BXFA com intervalo de medição de 0 kg a 150 kg e precisão de 5 g com estadiômetro até 2m e precisão de 1 cm acoplado para medir a estatura do indivíduo modelo.

Todos os equipamentos e métodos empregados foram calibrados, normalizados, com exceção do ensaio executado no equipamento para medir o coeficiente de restituição que se encontra em processo de validação.

3.3 Métodos

3.3.1 Etapas do protocolo experimental

O protocolo experimental empregado teve as seguintes etapas:

- a) Pesquisou-se junto aos modelistas, técnicos de calçados e fabricantes de sobrepalmilhas para definir as espessuras mais empregadas e densidades;
- b) Coletou-se o material nos fabricantes de sobrepalmilhas;
- c) Caracterizou-se os materiais através de ensaios de densidade aparente, dureza Asker C, espessura, temperatura de transição vítrea (T_g), temperatura de fusão cristalina (T_m) e análise da estrutura celular (morfologia) através de microscopia eletrônica de varredura;
- d) Determinou-se a absorção de energia conforme a norma NBR12577;
- e) Determinou-se a deformação por compressão dinâmica conforme a norma NBR 14739;
- f) Determinou-se a resiliência ao impacto conforme a norma NBR 8690;
- g) Determinou-se a histerese mecânica conforme a norma DIN 53835;
- h) Determinou-se o coeficiente de restituição conforme método desenvolvido no Laboratório de Instrumentação (LABIN) do Centro de Educação Física e Desportos (CEFID) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC) (Revista Brasileira de Biomecânica, 2003);
- i) Determinou-se a pressão plantar máxima conforme a norma NBR14836;
- j) Procedeu-se ao tratamento estatístico dos dados

3.3.2 Caracterização físico-química dos materiais para sobrepalmilha

Os materiais foram caracterizados através dos ensaios de densidade aparente, dureza Asker C, espessura, transições térmicas e análise da estrutura celular.

Para a realização de todos os ensaios, os materiais foram previamente climatizados e os ensaios realizados em temperatura de $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ com umidade relativa do ar de $(50\pm 5)\%$, durante, no mínimo, 24 h antes da execução dos ensaios.

3.3.2.1 Densidade aparente¹

Foi adotada a densidade aparente (d) como parâmetro para definir o grau de expansão. A escala de densidades para cada material foi definida conforme os resultados das entrevistas com os fabricantes de materiais para sobrepalmilha (tabela 2).

O método foi o descrito na norma NBR 14453, o qual prevê a determinação da densidade pelo método dimensional para materiais expandidos com densidade igual ou inferior a $0,9 \text{ g.cm}^{-3}$. Neste método, os corpos-de-prova devem ter formato regular com um volume mínimo de 100 cm^3 e não podem sofrer deformações e devem estar livres de contaminações. O procedimento de medição foi feito em três corpos-de-prova, no mínimo, onde se registraram os valores individuais de cada corpo-de-prova, sendo que foi usada a média para o cálculo de acordo com a equação 3 (segundo especificações da norma técnica):

$$d = \frac{m'}{v'} \quad (3)$$

Onde: d representa densidade aparente dos corpos de prova [g.cm^{-3}]; m' representa massa dos corpos-de-prova [g] e v' representa o volume dos corpos-de-prova [cm^3].

3.3.2.2 Dureza Asker C²

Esta propriedade foi medida segundo a norma técnica NBR 14455. O método determina que a carga total aplicada no corpo-de-prova deve ser constante e perpendicular à

¹ Ensaio realizado no IBTeC

² Ensaio realizado no IBTeC

superfície no valor de $(9,8 \pm 0,06)$ N. Executaram-se, no mínimo, três leituras em cada corpo-de-prova que ainda não haviam sido ensaiados. A esfera foi pressionada por meio da alavanca do aparelho e a leitura efetuada após 3 s de aplicação da força total do durômetro. Cada medição foi realizada, no mínimo a 13 mm distante dos outros pontos, bem como da borda do corpo-de-prova. Nas espessuras inferiores a 6mm adotou-se o empilhamento recomendado na norma.

3.3.2.3 Espessura¹

A medição de espessura dos corpos de prova seguiu a metodologia da norma técnica NBR 14098. Os procedimentos de medição obedeceram ao seguinte critério descrito na norma referida: ao material com densidade $0,10 \text{ g.cm}^{-3}$ foi aplicada uma pressão de $1,0 \pm 0,2 \text{ N.cm}^{-2}$ e aos materiais com densidade de $0,25 \text{ g.cm}^{-3}$ e $0,35 \text{ g.cm}^{-3}$, aplicou-se uma pressão de $2,2 \pm 0,5 \text{ N.cm}^{-2}$. A variação máxima admitida foi de $\pm 0,5 \text{ mm}$.

3.3.2.4 Calorimetria diferencial de varredura¹

Importante destacar que a análise térmica teve por finalidade tipificar o material empregado, visto que os dados da composição e demais informações sobre parâmetros de processo são limitações do estudo. Como foram visto, as propriedades visco-elásticas dos materiais poliméricos estão intimamente vinculadas à temperatura (CANEVAROLO Júnior). Portanto, determinar as características dos materiais empregados na pesquisa através das temperaturas de transição vítrea e de fusão cristalina pode facilitar a identificação do tipo de material, quando associado às outras propriedades consideradas no presente trabalho, como, por exemplo, a histerese e o coeficiente de retorno.

3.3.2.4.1 Temperatura de transição vítrea (T_g)

O método para determinação da T_g utilizado foi o preconizado pela ASTM D 3418, na qual a leitura é feita na meia altura dos prolongamentos da curva: o ponto T_2 (gráfico 6)

¹ Ensaio realizado no Grupo de Estudos em Materiais Poliméricos (POLIMAT-UFSC)

refere-se à variação da transição vítrea (ΔT_g). As condições de ensaio foram: taxa de aquecimento: $10^\circ\text{C}.\text{min}^{-1}$ - 200°C , fluxo de N_2 : $50 \times 10^{-3} \text{L}.\text{min}^{-1}$, sendo que os dados foram referentes à segunda corrida de aquecimento.

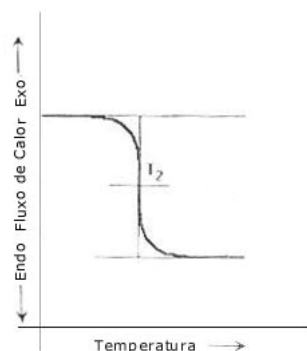


Gráfico 6: Curva de DSC ilustrando a determinação da T_g (BLUMA, G. S. Caracterização de Polímeros, 2001, p.256).

3.3.2.4.2 Temperatura de fusão cristalina (T_m)

O método para determinação da T_m utilizado foi o preconizado pela ASTM D 3418. Foi considerada T_m , a temperatura medida no ponto T_3 (gráfico 7) onde a maioria dos cristais está fundida.

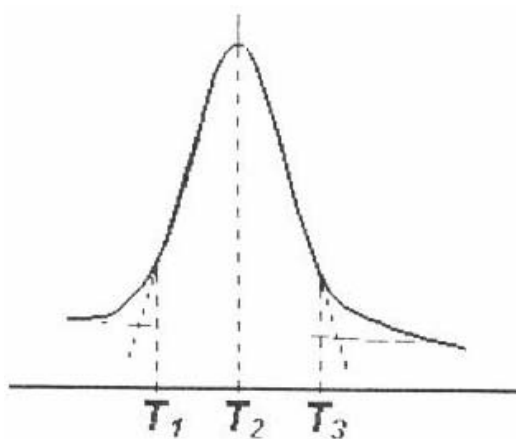


Gráfico 7: Curva de DSC ilustrando a para determinação da T_m (BLUMA, G. S. Caracterização de Polímeros, 2001, p.255).

De acordo com o gráfico acima tem-se: T_1 é o início da fusão, T_2 é o pico máximo da fusão e T_3 é o final da fusão.

3.3.2.5 Análise Morfológica¹

As células dos materiais foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) para identificação da morfologia, tipo e distribuição de células, no entanto não houve nenhum critério de seleção. Foram empregados no estudo os materiais usualmente comercializados no mercado. A aquisição digital de imagens foi efetuada na superfície fraturada com nitrogênio líquido, sendo que os corpos-de-prova apresentavam planaridade. As amostras foram fixadas em um stub com tinta de carbono e cobertas com uma camada de ouro de 20 nm. As fotos do MEV foram obtidas em alto vácuo. Foi utilizado o detector para elétrons secundários e tensão de aceleração dos elétrons foi de 15 kV. O probe utilizado foi de tamanho 4.

3.3.3 Caracterização mecânico-dinâmica dos materiais de sobrepalmilha

3.3.3.1 Medida da absorção de energia²

A medida da absorção de energia foi efetuada conforme a norma NBR12577. O procedimento de ensaio consistiu em colocar a amostra sobre a base metálica do aparelho e pressionar a amostra através do êmbolo até atingir 5.000 N. A capacidade de absorção de energia é dada pela integral definida de acordo com a equação 4 (segundo especificações da norma técnica):

$$E = \frac{3}{4} \int_{50}^{5000} F x ds \quad (4)$$

Onde: E representa a absorção de energia [J] com exatidão de 1 J; F significa força [N]; ds representa elemento infinitesimal de deslocamento [m].

¹ Ensaio realizado no CETEMP

² Ensaio realizado no IBTeC

3.3.3.2 Medida da deformação dinâmica¹

A medida da deformação dinâmica foi efetuada conforme método descrito na norma NBR14739. Neste método, a amostra sofre compressão dinâmica, através do movimento vertical de vaivém, com uma frequência de 65 ± 4 ciclos por minuto, tendo a capacidade de aplicar uma carga estática de até 400 N e usando um dispositivo cilíndrico com 68 mm a 100 mm de diâmetro de base, até 100.000 ciclos.

Os corpos-de-prova devem ter as seguintes dimensões $(30 \pm 0,5)$ mm x $(30 \pm 0,5)$ mm e com as espessuras não inferiores a 6 mm. Um desvio da norma ocorreu nas espessuras, porque as mesmas foram de 3, 4 e 5 mm. A obtenção dos corpos-de-prova deve evitar o amassamento antes do ensaio e obedecer a distância mínima de 15 mm da borda da amostra (placa).

O procedimento consiste em medir as espessuras dos corpos-de-prova, fixá-los na plataforma metálica com o auxílio de uma fita adesiva dupla-face, evitando que haja deformação do material que está sendo ensaiado. As espessuras foram medidas com instrumentos com resolução de 0,01 mm.

O movimento de vaivém do dispositivo deve ser perpendicular às faces dos corpos-de-prova. Regula-se a barra de sustentação do peso no “ponto morto” superior, regular o dispositivo de carga a uma distância de 0,2 mm da face superior do corpo-de-prova e aplicar a carga de 200 N durante 100.000 ciclos com a frequência referida anteriormente sem interrupção durante o ensaio. Após esse período, deve-se medir a espessura imediatamente e depois de 24 h, no mesmo ponto e com o mesmo instrumento. O cálculo da deformação é feito segundo as equações 5 e 6, respectivamente (segundo especificações da norma técnica):

$$D_{100000} = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times 100 \quad (5)$$

e

$$D_{24} = \frac{E_1 - E_3}{E_1} \times 100 \quad (6)$$

Onde: D_{100000} é o grau ou percentual de deformação até 100000 solicitações [%]; D_{24} é o grau ou percentual de deformação até 24 h de recuperação [%]; E_1 é a espessura inicial

[mm]; E_2 é a espessura final em 100000 ciclos [mm] e E_3 é a espessura final em 24 h de recuperação [mm].

3.3.3.3 Determinação da resiliência ao impacto¹

Na medida da resiliência ao impacto foi empregado o método descrito na norma NBR 8690.

As espessuras foram às definidas para o estudo e, portanto apresentaram um desvio da norma. O procedimento de ensaio consiste em fixar os corpos-de-prova no dispositivo de fixação da bigorna e soltar o pêndulo, deixando-o cair sobre a amostra seis vezes. Deve-se evitar que o pêndulo bata a segunda vez, após o primeiro impacto. O pêndulo é constituído de uma barra, martelo e pena do martelo. O pêndulo na posição vertical a 90° em relação à superfície da amostra, quando sob ação da gravidade deverá executar uma trajetória circular. No momento do impacto, a pena do martelo deverá estar perpendicular à superfície do corpo-de-prova. Os três primeiros servem para acomodamento mecânico do corpo-de-prova ao ensaio, sendo a leitura do quarto, quinto e sexto impactos considerados para o resultado, que é a mediana. O suporte e a massa da bigorna devem ter, no mínimo, 100 (cem) vezes a massa de impacto. A amostra deve ser fixada, sem deslocamento lateral e a diferença entre a resiliência ao impacto do corpo-de-prova fixado pelo dispositivo e de um corpo-de-prova colado à bigorna deve ser inferior a duas unidades da resistência ao impacto. A leitura da resiliência é feita diretamente em percentagem numa escala graduada, subdividida em 100 unidades e provida de um ponteiro de arraste fixado na haste do pêndulo.

3.3.3.4 Determinação da histerese mecânica²

Para realizar os ensaios de histerese as amostras foram cortadas com dispositivo indicado para materiais expandidos conforme norma NBR 8515, que permite obter amostras com as dimensões indicadas na figura 16.

¹ Ensaio realizado na empresa Freios Controil S.A.

² Ensaio realizado no LABIN - UDESC

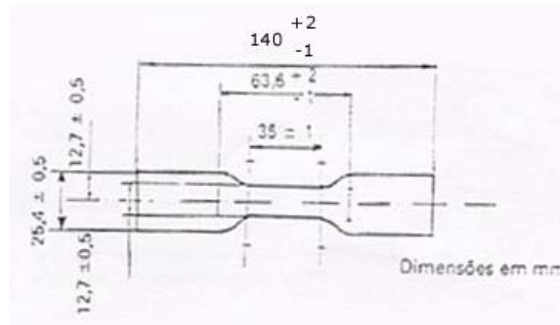
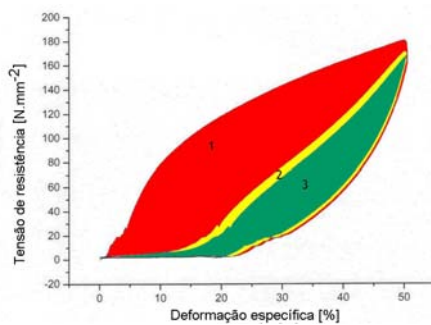


Figura 16: Dimensões do corpo-de-prova conforme norma NBR 8515.

Os ensaios de histerese foram realizados com três amostras de cada densidade e nas respectivas espessuras, até uma deformação máxima de 50 %, com força inicial de 0,001 N, de acordo com especificações a norma DIN 53835. Os ensaios foram feitos nas seguintes condições: modo de deformação: tração; taxa de deformação: 200 mm.min⁻¹. O cálculo da histerese corresponde a integral da área sob a curva força em função da deformação durante o ciclo de carregamento – descarregamento conforme ilustrado no gráfico 8.

A)



$$Histerese(\%) = \frac{A_{ciclo}}{A_{total}}$$

A_{ciclo} = área no interior do ciclo e A_{total} = energia total

B)

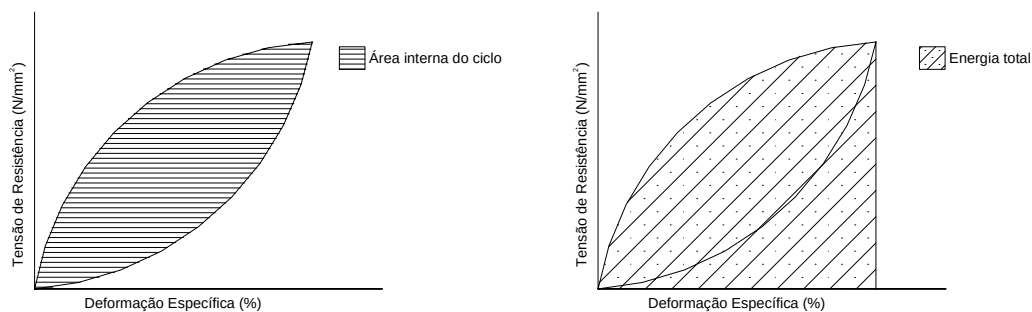


Gráfico 8: A) Ciclos de tensão de resistência vs deformação específica para material EVA expandido, com densidade aparente D , na espessura de 6 mm; B) Ilustrações demonstrando o cálculo da Histerese mecânica.

3.3.3.5 Determinação do coeficiente de restituição de energia¹

O método foi aplicado, segundo o artigo: Desenvolvimento de uma Máquina de Ensaio Mecânico para Determinação do Coeficiente de Restituição em Componentes de Calçados (GOMES Jr., 2003) do Laboratório de Instrumentação do CEFID – UDESC publicado na Revista Brasileira de Biomecânica.

A coleta foi executada de acordo com o seguinte procedimento:

Cada amostra foi ensaiada cinco vezes, sendo que entre um ensaio e outro o corpo-de-prova foi deslocado para evitar que a ponteira piezelétrica se chocasse no ponto já deformado pelo impacto do ensaio anterior.

Para cada ensaio foi obtido um registro gráfico, como mostrado no gráfico genérico 9. Os resultados foram analisados em uma rotina criada a partir do programa SCILAB (SCILAB.org). A rotina analisa o gráfico ponto a ponto, armazenando em uma matriz 1x1 os pontos da curva de máximo. O SCILAB avalia estas matrizes e executa uma função de ponto máximo no pico, onde esta função determina para cada matriz de curva de máximo o seu maior ponto, assim como o instante de tempo deste ponto.

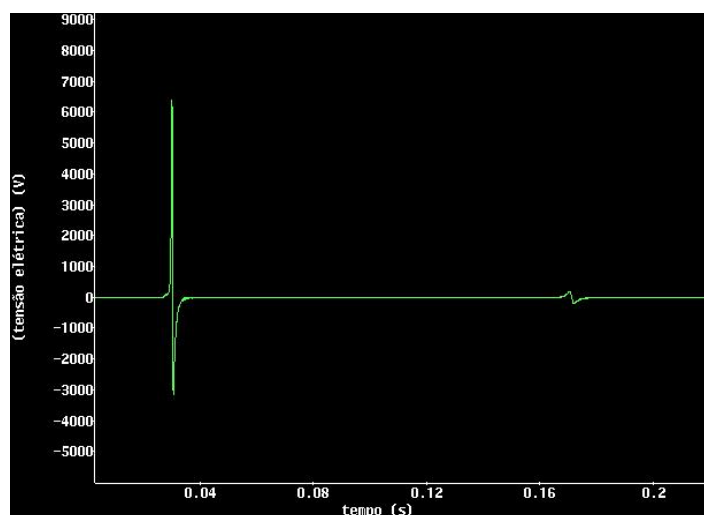


Gráfico 9 – Curva de tensão elétrica vs tempo, mostrando os pontos máximos.

Para garantir que o ruído não gerasse picos e causasse erros nos cálculos do Coeficiente de Restituição (C. R.) foi determinado que o ponto máximo anterior fosse

¹ Ensaio realizado no LABIN

maior que o próximo (Perda de Energia), neste caso, é retirado da matriz resposta. Com os instantes de tempo de cada ponto máximo das matrizes, a função executa um cálculo para obter a altura que a ponteira subiu (x). O “tempo de deslocamento” (mostrado no gráfico 10) é a diferença entre o instante de tempo do primeiro ponto máximo (Pm1) e o próximo ponto máximo (Pm2) que por sua vez, significam o “tempo de subida” e “tempo de descida” da ponteira.

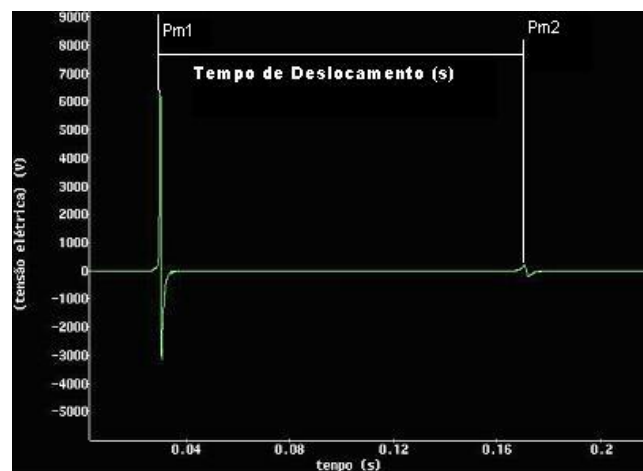


Gráfico 10 - Curva de tensão elétrica vs tempo, onde o Tempo de deslocamento é a diferença entre o tempo do primeiro ponto máximo (Pm1) e o próximo ponto máximo (Pm2).

Dividindo-se a diferença por dois, é obtido o “tempo de subida da ponteira” (t). O resultado é aplicado na equação 7 de movimento uniformemente acelerado (MRUA) para queda livre (RESNICK; HALLIDAY, 1984):

$$x = x_o + v_o t + \frac{1}{2} g t^2 \quad (7)$$

Onde: x é a altura que a ponteira subiu [m], x_o é posição inicial da ponteira [m], v_o é velocidade inicial da ponteira [m.s^{-1}], t é o “tempo de subida da ponteira” [s], g representa a aceleração da gravidade cujo valor é $9,8 \text{ m.s}^{-2}$.

Considerando-se a velocidade inicial e a posição inicial iguais a zero na eq. 7. Então se obtém a equação 8:

$$x = \frac{1}{2} g t^2 \quad (8)$$

Onde: x é a altura que a ponteira subiu [m], t é o “tempo de subida da ponteira” [s], g representa a aceleração da gravidade cujo valor é $9,8 \text{ m.s}^{-2}$. Obtendo, assim, a altura que a ponteira sobe em resposta ao impacto no corpo-de-prova ($h = x$), como mostrado no gráfico 11, as alturas medidas após a sucessão de impactos na superfície do corpo-de-prova.

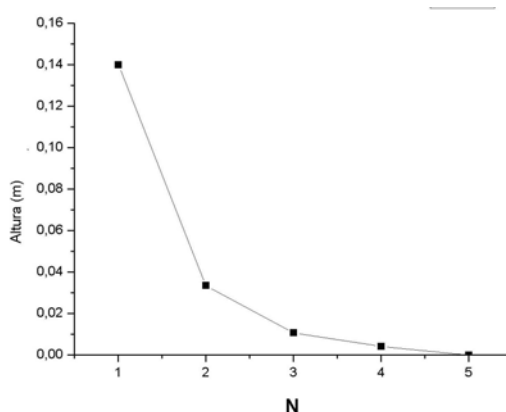


Gráfico 11 – Curva da altura que a ponteira subiu em resposta ao impacto no corpo-de-prova vs número de toques na amostra de espuma de PU flexível (densidade aparente H , espessura 4 mm, 1ª. coleta).

A rotina analisa o Coeficiente de Restituição para cada duas alturas, empregando a equação 9 de acordo com Borges Jr. Dependendo do material, a rotina refaz os cálculos. Por exemplo, se houver 5 alturas (como no gráfico 11) serão obtidos três coeficientes significativos e um quarto coeficiente com o valor zero.

$$CR = \sqrt{\frac{h(n+1)}{h(n)}} \quad (9)$$

Onde, CR significa coeficiente de restituição [%]; h significa a altura que a ponteira sobe em resposta ao toque na amostra [m]; n significa o número de toques na amostra.

Os Coeficientes de Restituição foram importados para uma planilha do Excel® (Ensaio x Coeficiente de Restituição), onde foram calculados a média e o desvio padrão entre os cinco primeiros C.R. de cada ensaio e assim, respectivamente, até a última coleta.

3.3.4 Caracterização biomecânica dos materiais de sobrepalmilha¹

A determinação de pressão plantar máxima foi realizada conforme o método descrito na Norma Técnica NBR 14836.

Para os ensaios que foram executados para determinação do pico de pressão máxima na distribuição da pressão plantar considerou-se o indivíduo masculino que apresentou IMC (índice de massa corporal) dentro da normalidade ($18,5$ a $24,9 \text{ kg.m}^{-2}$), sendo utilizado o mesmo indivíduo (modelo) para todos os materiais avaliados, vestindo meias com 73% de algodão, 21% de poliéster, 4% de poliamida e 2% de elastodieno.

Os materiais das sobrepalmilhas foram inseridos dentro do calçado diretamente acima da palmilha sensorizada que foi calçada no pé do indivíduo (modelo) por intermédio de calçado nº 40.

A coleta dos dados foi feita num trajeto com cinco passadas de ida e cinco de volta, sendo descartados o primeiro e o último passo de cada passada. Este processo foi repetido 10 vezes.

A aquisição dos dados de distribuição da pressão plantar foi realizada com um sistema de palmilhas sensorizadas flexíveis, com resolução mínima de 99 sensores capacitivos de força por pé, a uma frequência de 50 Hz, acoplado a um sistema de registro apropriado – Step Analysis – e com uma imprecisão inferior a 5 %.

As sobrepalmilhas do material a ser ensaiado foram recortadas no nº40 e, inseridas dentro de um sapato masculino conforme a figura 17, modelo de amarrar em couro curtido ao cromo e solado de PU emborrachado com densidade $0,55 \pm 0,3 \text{ g.cm}^{-3}$.



Figura 17: Sapato masculino empregado na avaliação das sobrepalmilhas.

¹ Ensaio realizado no CEBEC

Considerou-se para avaliação a média dos picos de pressão máxima do plantigrama dos pés independentemente da dominância e da região, porque a diferença entre as médias do antepé e retropé, assim como entre pé direito e pé esquerdo ficou abaixo de 11 %.

Os valores da média do pico de pressão foram calculados não considerando pontos de alta pressão junto ao perímetro externo das sobreplamilhas analisadas.

A aquisição dos dados na avaliação da marcha foi sobre uma esteira.

Para assegurar total transparência o projeto foi submetido ao comitê de ética, conforme apêndices E e F, sendo aprovado conforme anexo B.

3.3.4.1 Material EVA expandido

Os ensaios foram executados utilizando um indivíduo masculino que apresentou IMC (índice de massa corporal) dentro da normalidade (18,5 a 24,9), isto é, $21,1 \text{ kg.m}^{-2}$.

3.3.4.2 Material látex espumado de SBR

Os procedimentos de coleta adotados foram os mesmos do material EVA expandido, sendo que o modelo apresentou no dia IMC (índice de massa corporal) dentro da normalidade (18,5 a 24,9) kg.m^{-2} , isto é, $20,9 \text{ kg.m}^{-2}$.

3.3.4.3 Material espuma de PU flexível

Os procedimentos de coleta foram os mesmos dos materiais anteriores, sendo que o modelo apresentou no dia IMC (índice de massa corporal) dentro da normalidade (18,5 a 24,9), isto é, $22,2 \text{ kg.m}^{-2}$.

3.3.5 Tratamento estatístico

As variáveis são de caráter quantitativo e contínuo, logo, foi efetuado primeiramente o cálculo da estatística descritiva, verificando as medidas de tendência central e de dispersão dos dados. Os dados foram coletados com a precisão requerida de acordo com a

respectiva norma do ensaio. Considerando os procedimentos de amostragem e da quantidade de material coletado para ensaio foi empregado na avaliação o teste de normalidade Shapiro-Wilk.

Para verificar a relação entre as variáveis mecânico-dinâmicas e as características físico-químicas dos materiais, bem como da variável biomecânica e as características físico-químicas dos materiais, e entre as variáveis mecânico-dinâmicas e biomecânicas foram realizados testes de correlação e regressão.

As avaliações estatísticas foram realizadas utilizando-se o software SPSS for Windows, versão 14.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O capítulo é dedicado primeiramente para apresentação dos resultados e na sequência sua discussão. Ficou distribuído da seguinte forma, considerando os objetivos específicos: determinação dos tipos de materiais, escala de densidade e de espessura mais utilizadas na construção de calçados masculinos de uso diário, caracterização dos materiais de diferente natureza em relação às suas características físico-químicas, caracterização dos materiais de diferente natureza em função das propriedades mecânico-dinâmicas, análise da relação entre as variáveis mecânico-dinâmicas e as características físico-químicas dos materiais; caracterização dos materiais de diferente natureza em função da propriedade biomecânica: pressão plantar máxima; análise da relação entre a variável pressão plantar máxima e as características físico-químicas dos materiais e análise da relação entre as variáveis mecânico-dinâmicas e a variável biomecânica (pressão plantar máxima).

4.1. Determinação dos tipos de materiais, escala de densidades e de espessuras mais utilizadas na construção de calçados masculinos de uso diário

De acordo com a metodologia estabelecida para atender aos objetivos específicos, o protocolo previu realizar entrevistas mediante questionário (Apêndices A e B) com profissionais indicados pela Associação Brasileira de Estilistas de Calçados – ABECA, professores da Escola de Calçados do SENAI e com empresas produtoras. Responderam à pesquisa 11 (onze) profissionais dessas instituições. Os fabricantes pesquisados produzem sobrepalmilhas nos diversos materiais e são empresas de larga tradição na pesquisa e desenvolvimento para aplicação em calçados de uso diário e também para outros tipos de calçados. Os quesitos:

- a) Qual o material e quais as espessuras mais empregadas na fabricação de sobrepalmilha?

Apresentaram os resultados conforme os gráficos 12 e 13:

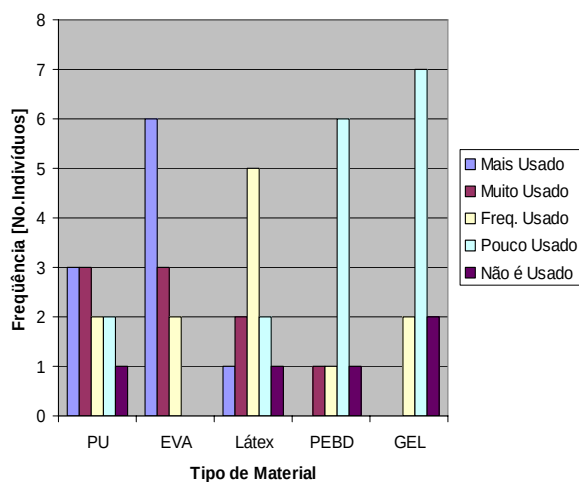


Gráfico 12: Histograma de frequências indicando as respostas da entrevista pessoal estruturada em relação a qual o tipo de material mais empregado na produção de sobrepalmilhas.

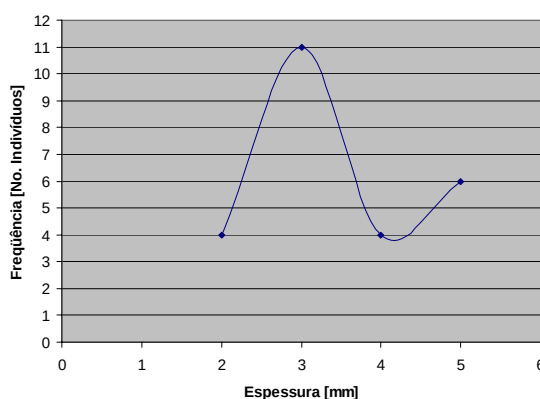


Gráfico 13: Histograma de frequências indicando as respostas da entrevista pessoal estruturada em relação a qual a escala de espessuras mais empregada na produção de sobrepalmilhas.

Destacadamente o material mais citado foi o EVA expandido (54,5%), em segundo a espuma de PU flexível (27,3%) e em terceiro o látex espumado de SBR (9,1%), o que já era esperado. Os outros dois materiais (Gel de silicone e PEBD) também não se constituíram em surpresa, embora o gel de silicone tenha seu emprego com maior frequência em calçados de uso ortopédico, porque seu preço de acordo com um dos fabricantes ouvidos na pesquisa torna-o pouco competitivo frente aos demais materiais.

Dentre as espessuras, a mais citada foi a de 3 mm (44,0%) e em segundo lugar a de 5 mm, com um número de citações muito menor (24,0%). A espessura de 2 mm deu resultado igual à de 4 mm (16,0%), sendo que a de 6 mm não foi citada.

A escolha das espessuras do estudo foi baseada no resultado da pesquisa estruturada e porque se estabeleceu que fossem pelo menos quatro valores a serem estudados para podermos avaliar a tendência das propriedades dos materiais.

Muito embora tenha surgido a espessura de 2 mm entre as citadas, esta não foi escolhida porque inicialmente se acreditava que não fosse adequada, principalmente em materiais com baixa densidade, o que ficará amplamente comprovado à medida que se analisarem os resultados. Contudo, empregou-se no trabalho a espessura de 6 mm que não apareceu entre as citadas, porque se definiu que eram necessárias, no mínimo, quatro espessuras.

O quesito:

b) Qual a densidade mais utilizada na fabricação de sobrepalmilhas?

Teve as seguintes respostas na entrevista pessoal estruturada, conforme ilustrado no gráfico 14:

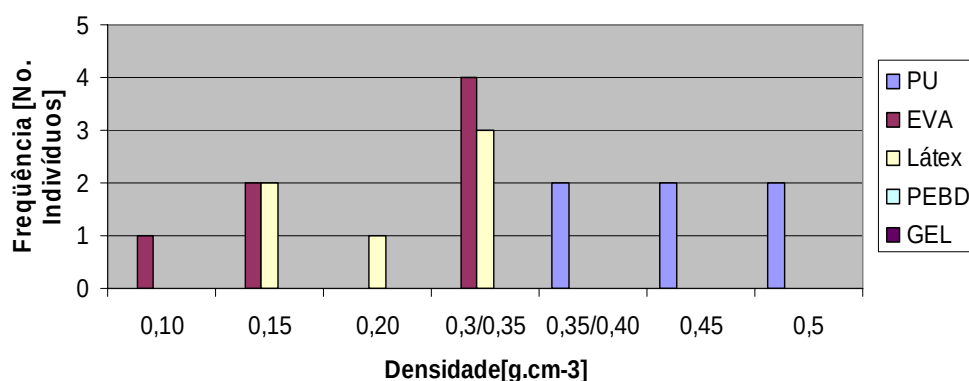


Gráfico 14: Histograma de frequências indicando as respostas da entrevista pessoal estruturada em relação a qual a escala de densidades mais empregada na produção de sobrepalmilhas.

Verificou-se que a faixa de densidade mais empregada é de 0,30g.cm⁻³ a 0,35g.cm⁻³ (57,1 %) e em segundo plano a faixa de 0,15 g.cm⁻³ a 0,20 g.cm⁻³ (28,6 %) para o EVA expandido. O látex espumado de SBR apresentou praticamente o mesmo número de citações (50 %) tanto para as faixas de 0,15 g.cm⁻³ a 0,20 g.cm⁻³, quanto para a faixa de 0,30 g.cm⁻³ a 0,35 g.cm⁻³. Dentro das faixas de 0,45 g.cm⁻³ a 0,50 g.cm⁻³ (66,7%) e de 0,35 g.cm⁻³ a 0,40 g.cm⁻³ (33,3 %) ficou a espuma de PU flexível.

4.2. Caracterização dos materiais de diferente natureza em relação às suas características físico-químicas

A segunda etapa consistiu em caracterizar os materiais de sobrepalmilha que apresentaram a maior frequência na pesquisa estruturada em relação às suas características físico-químicas, tais como densidade aparente, dureza Asker C, espessura, transições térmicas e morfologia.

O critério adotado foi de dividir os tópicos por material para facilitar a análise e a compreensão dos resultados.

4.2.1 Material – EVA expandido

4.2.1.1 Densidade aparente

De acordo com a pesquisa estruturada o resultado para a variável densidade apresentou duas faixas: de 0,15 g.cm⁻³ a 0,20 g.cm⁻³ e de 0,30 g.cm⁻³ a 0,35 g.cm⁻³. Como foi demonstrado que os materiais celulares têm variação na densidade (gráfico 1), definiu-se que o intervalo de variação admitido seria de no máximo $\pm 0,05$ g.cm⁻³. Coletaram-se materiais com densidade dentro de uma faixa de 0,10 g.cm⁻³ a 0,35 g.cm⁻³ para ter três valores, no mínimo, para observar-se a tendência da propriedade. Os resultados da determinação da densidade estão expressos na tabela 3, sendo que os corpos-de-prova foram retirados das placas em três locais: nas duas laterais, na parte central e para cada espessura. Foi fornecida uma placa de cada densidade.

Tabela 3

Medidas descritivas da densidade aparente para EVA expandido empregado na fabricação de sobrepalmilhas.

Denominação	Densidade aparente [g.cm ⁻³]		
	A	B	C
Média	0,11	0,23	0,33
Desvio Padrão	0,00	0,01	0,00
CV [%]	1,91	5,67	0,39

As médias de densidade aparente do EVA expandido ficaram com um intervalo variação dentro da faixa especificada, conforme a tabela 2, como pode ser atestado pelo coeficiente de variação inferior a 10% (tabela 3), sendo que o maior, densidade B, situou-se pouco acima de 5 %.

4.2.1.2 Dureza (Asker C)

A propriedade de dureza, embora não tenha sido escolhida como uma variável primária foi determinada porque caracteriza a resistência do material à penetração de um objeto pontiagudo. Devido a se tratar de material expandido utilizou-se o método descrito na norma NBR 14455. Os corpos-de-prova foram retirados de acordo com o método e determinou-se a dureza para cada densidade. Os resultados estão na tabela 4:

Tabela 4
Medidas descritivas da dureza Asker C para EVA expandido empregado na
fabricação de sobrepalmilhas

Dureza (Asker C)	Denominação da densidade aparente		
	A	B	C
Mediana	48	58	75
Amplitude da variação	4	3	3

Como salientado, a dureza não foi considerada característica intrínseca, por ser material celular, mas assim mesmo foi medida e também teve baixíssimo intervalo de variação, o qual pode corroborar a estabilidade dimensional das placas. A diferença acentuada na dureza ao longo da superfície da placa pode ser um indicativo de má dispersão dos ingredientes da composição e/ou variação do gradiente térmico da prensa de moldagem.

4.2.1.3 Espessura

As respostas da entrevista pessoal estruturada indicaram que as espessuras mais empregadas na fabricação de sobrepalmilhas variam de 2 mm a 6 mm. Contudo, considerou-se para efeito do trabalho quatro valores. A espessura foi determinada de acordo

com a norma NBR 14098. As placas foram marcadas em três pontos: bordas externas e centro, sendo que as medidas descritivas estão indicadas na tabela 5 para cada valor de densidade.

Tabela 5

Medidas descritivas da espessura para EVA expandido empregado na fabricação de sobrepalmilhas

Denominação da densidade aparente													
Espessura [mm]	A				B				C				
	Nominal	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4	5	6
Média		2,82	3,91	4,89	6,02	3,35	4,38	5,01	6,04	3,27	4,26	4,84	5,82
Desvio Padrão		0,01	0,03	0,04	0,13	0,06	0,11	0,08	0,07	0,02	0,03	0,06	0,13
CV [%]		0.50	0.73	0.92	2.17	1.89	2.53	1.61	1.09	0.76	0.78	1.27	2.31

As espessuras apresentaram um desvio padrão muito estreito com um coeficiente de variação inferior a 3%, ou seja, representam as espessuras consideradas. Logo, as placas foram aprovadas para uso na pesquisa, pois se encontram dentro do intervalo especificado conforme a tabela 2. Por praticidade, as espessuras medidas serão citadas ao longo do texto como a “espessura nominal” correspondente. Por exemplo, a espessura 2,82 mm será citada como “espessura nominal 3 mm”. Em princípio, se supõe que uma variação de $\pm 0,5$ mm não altere o resultado das propriedades dependentes consideradas no estudo.

4.2.1.4 Transições térmicas

Os resultados encontrados foram conforme a tabela 6 e estão ilustrados no gráfico 15.

Tabela 6

Transições térmicas para EVA expandido empregado na fabricação de sobrepalmilhas, obtidas por DSC, segundo norma ASTM D 3418.

Denominação da densidade aparente			
Transições Térmicas	A		C
	B		
T _g (°C)	-32		-27
T _m (°C)	89		81

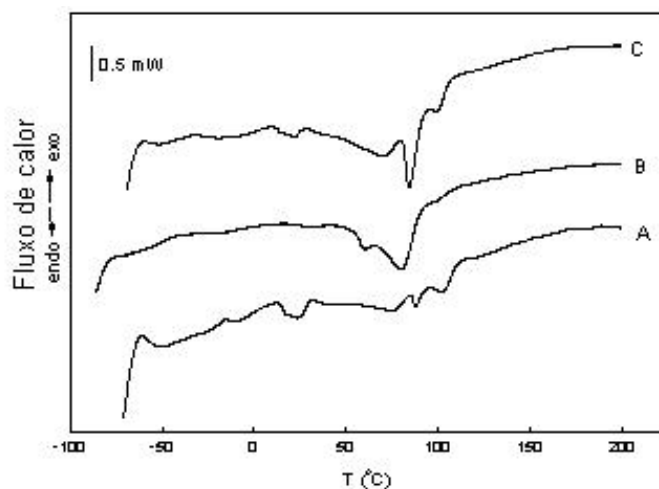


Gráfico 15: Curvas de DSC (2ª corrida de aquecimento) para EVA expandido empregado na fabricação de sobrepalmilhas, com diferentes densidades: A) 0,25 g.cm⁻³; B) 0,35 g.cm⁻³; C) 0,10 g.cm⁻³. Condições de análise: Taxa de aquecimento 10°C.min⁻¹, Fluxo de N₂: 50x10⁻³ L.min⁻¹.

As transições térmicas para o EVA expandido, tanto para a temperatura de transição vítrea, quanto para a temperatura de fusão cristalina ficaram de acordo com os valores típicos da literatura, citados por Mark (1999), Park e Kim (2003) (vide 2.6.1.1 EVA expandido) nos três valores de densidade aparente, o que evidenciou que se tratava de placas feitas a partir de composto de EVA sem a presença de outro polímero, porque é uma prática muito comum o emprego de blendas poliméricas para atingir determinadas propriedades, como melhor resiliência ao impacto, deformação permanente à compressão e deformação dinâmica por flexão pela introdução de elastômero, tanto natural como sintético.

4.2.1.5 Morfologia

A análise da estrutura celular através da microscopia permite avaliar a morfologia das células, homogeneidade, concentração e tamanho médio de célula. As avaliações foram abordadas do ponto de vista qualitativo. Na figura 18 são mostradas as micrografias eletrônicas de varredura da seção transversal de amostras de EVA expandido de diferentes densidades.

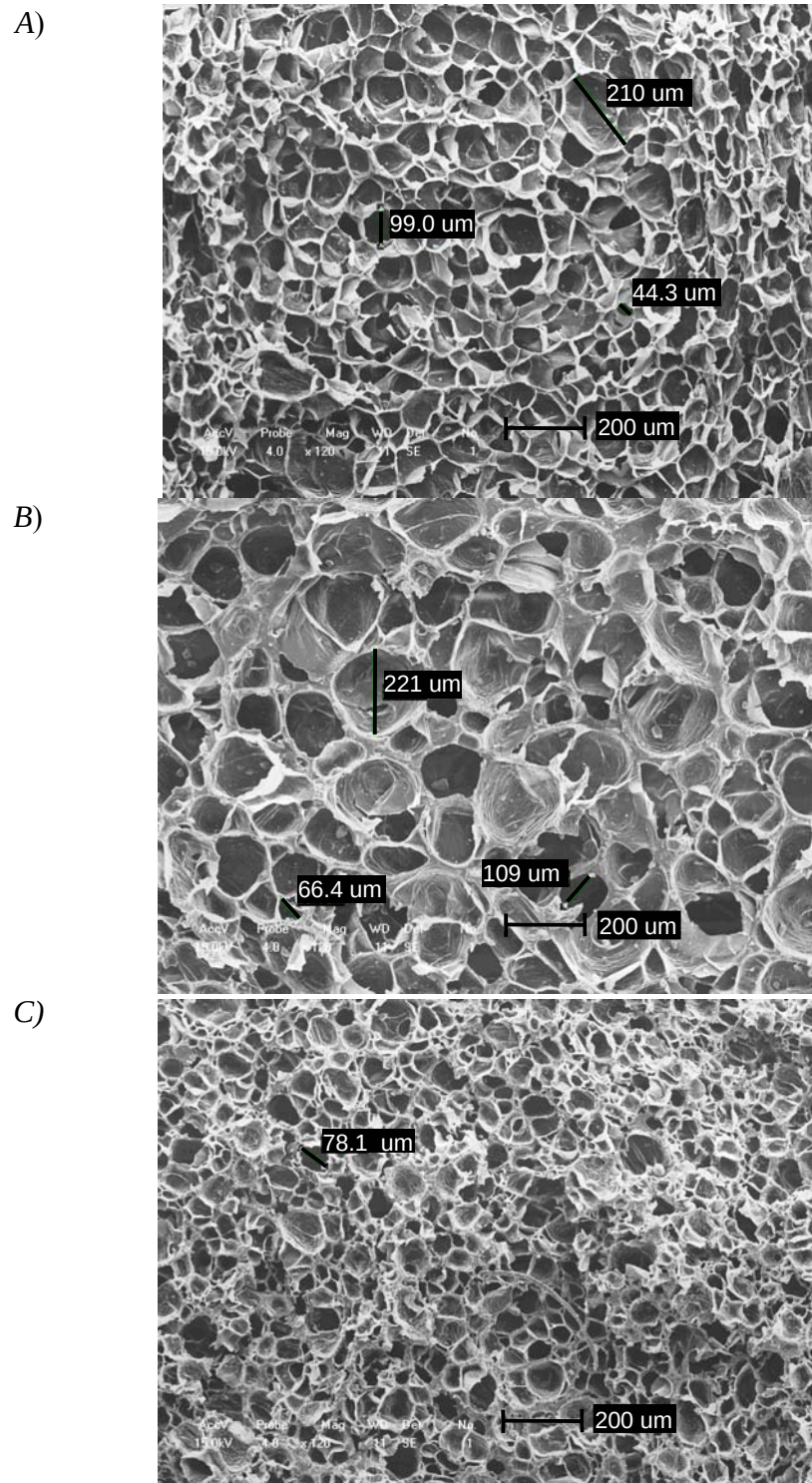


Figura 18: Micrografias eletrônicas de varredura da seção transversal de EVA expandido empregado na fabricação de sobrepalmilhas, com densidade de: A) $0,10 \text{ g.cm}^{-3}$; B) $0,25 \text{ g.cm}^{-3}$; C) $0,35 \text{ g.cm}^{-3}$.

As células do material com densidade aparente *A* (Fig.18-A) apresentaram morfologia homogênea com geometria irregular e diâmetro médio de 99,0 μm com concentração de células elevada. As células do expandido com densidade aparente *B* (Fig.18-B) são homogêneas com distribuição regular e geometria irregular, porém com diâmetro médio de 109,0 μm , maior que as células da densidade *A*, portanto com menor concentração de células. As células do expandido com densidade aparente *C* (Fig.18-C) são homogêneas de diâmetro médio em torno de 78,1 μm , geometria irregular e distribuição regular.

O fato da densidade aparente *B* ter apresentado um diâmetro médio maior do que a densidade aparente *A* está em desacordo com o comportamento esperado, porque como visto na revisão de literatura, a densidade aparente varia inversamente com o grau de expansão, isto é, quanto menor a densidade maior o grau de expansão (vide gráfico 1). A explicação pode estar vinculada à densidade de reticulação do material com densidade aparente *B*. Ocorre que nos materiais celulares há duas curvas: uma curva de expansão devido à decomposição do agente químico pelo calor, o qual gera gases e, a curva de cura do material, a qual confere ao material propriedades elásticas (vide gráfico 1).

As duas curvas devem ser ajustadas de forma que só ocorra a cura depois da expansão completa do material, porque esse fenômeno (cura) impede a nucleação (geração) e o crescimento das células. Como a composição correta dos materiais avaliados não é conhecida, pode-se apenas especular que a densidade de reticulação do material com densidade aparente *B* é menor do que a do material com densidade aparente *A*, ocorrendo um aumento no tamanho da célula. Essa diferença na densidade de reticulação pode ser atribuída à diferença na quantidade do agente de cura ou à temperatura de processo, entre outros.

Uma outra hipótese para esse resultado em princípio anômalo pode ser decorrente de uma maior concentração de polímero no material de densidade aparente *B*, o que modifica as propriedades reológicas, baixando a viscosidade do composto o que facilita sua expansão (ver gráfico 1).

O material com densidade aparente *C* está de acordo com o esperado.

4.2.2 Material – Látex espumado de SBR

4.2.2.1 Densidade aparente

Coletaram-se amostras com densidades indicadas pelo fabricante de $0,20 \text{ g.cm}^{-3}$ a $0,30 \text{ g.cm}^{-3}$. A amostra de $0,10 \text{ g.cm}^{-3}$ não pode ser coletada porque o fabricante não dispunha do material. Os resultados da determinação da densidade estão expressos na tabela 7. Os corpos-de-prova em cada espessura foram retirados das placas em três pontos: nas duas laterais e na parte central.

Tabela 7

Medidas descritivas da densidade aparente para Látex espumado de SBR empregado na fabricação de sobrepalmilhas

Denominação	Densidade aparente [g.cm^{-3}]		
	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
Média	0,22	0,24	0,30
Desvio Padrão	0,00	0,01	0,01
CV [%]	2,08	4,83	4,60

A caracterização do Látex espumado de SBR pela densidade aparente apresentou valores dentro da faixa estabelecida conforme a tabela 2, a qual determina um intervalo de variação mais estreito do que para o material EVA expandido, no entanto mesmo assim o coeficiente de variação se manteve abaixo de 5%. Logo, as placas foram aprovadas para a realização dos experimentos.

4.2.2.2 Dureza (Asker C)

A determinação da dureza para caracterização das placas seguiu os mesmos procedimentos adotados para o material EVA expandido. Os valores encontrados estão na tabela 8:

Tabela 8

Medidas descritivas da dureza Asker C para Látex espumado de SBR empregado na fabricação de sobrepalmilhas

Dureza (Asker C)	Denominação da densidade aparente		
	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
Mediana	15	16	20
Amplitude da variação	6	12	8

Como já fora destacado, as propriedades dos materiais celulares dependem menos da dureza que da densidade aparente (vide item 2.6.1), onde se demonstra que o comportamento mecânico é função do grau de expansão. Os resultados de fato reforçam a idéia que para materiais celulares, principalmente para as espumas, a dureza não corresponde à densidade. Ao comparar-se a dureza encontrada na tabela 4 com a da tabela 8 pode-se verificar que o EVA expandido com densidade média de $0,11 \text{ g.cm}^{-3}$ apresentou dureza mediana de 48 Asker C, enquanto que para o Látex espumado de SBR com densidade média de $0,30 \text{ g.cm}^{-3}$ encontrou-se dureza mediana de 20 Asker C. Baseado nessa premissa as placas não foram descartadas.

4.2.2.3 Espessura

Na caracterização da espessura foram empregados os mesmos procedimentos do material EVA expandido e os resultados estão na tabela 9.

Tabela 9

Medidas descritivas da espessura para Látex espumado de SBR expandido empregado na fabricação de sobrepalmilhas

Espessura [mm]	Denominação da densidade aparente											
	<i>D</i>				<i>E</i>				<i>F</i>			
Nominal	3	4	5	6	3	4	5	6 ⁽¹⁾	3	4	5	6
Média	2,76	4,15	4,70	6,41	2,76	4,33	4,81	XX	3,03	4,09	4,84	5,80
Desvio Padrão	0,19	0,09	0,11	0,02	0,01	0,04	0,04	XX	0,01	0,08	0,07	0,02
CV [%]	6,87	2,16	2,26	0,38	3,51	0,82	0,88	XX	0,31	2,01	1,41	0,42

⁽¹⁾ O fornecedor do material não dispunha da amostra.

A variável espessura mostra a dispersão dos resultados igualmente reduzida, considerando o coeficiente de variação menor do que 10 %. As amostras foram aprovadas para uso no trabalho, porque se situaram dentro do intervalo de variação estipulado na tabela 2.

4.2.2.4 Transições térmicas

Os resultados encontrados das transições térmicas determinadas a partir das análises de DSC foram conforme a tabela 10 e ilustrados no gráfico 16.

Tabela 10

Transições térmicas para Látex espumado de SBR empregado na fabricação de sobrepalmilhas, obtidas por DSC, segundo norma ASTM D 3418.

Transições Térmicas	Denominação da densidade aparente		
	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
T_g (°C)	-37	-40	-40
T_m (°C)	-	-	-

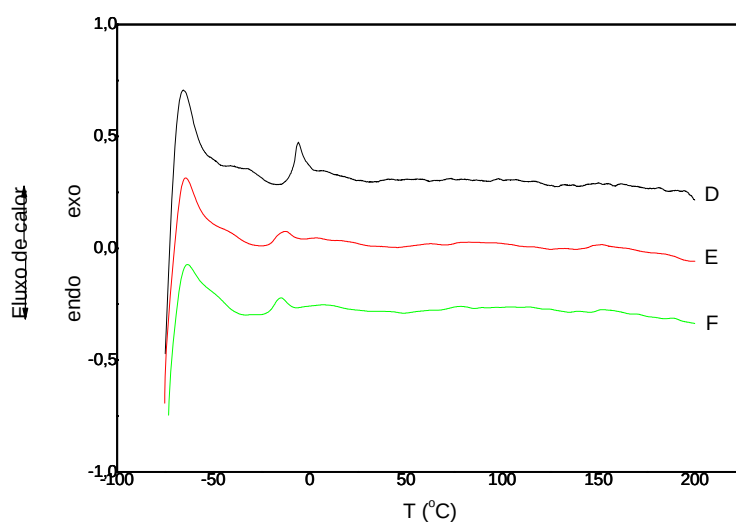


Gráfico 16: Curvas de DSC (2ª corrida de aquecimento) para Látex espumado de SBR empregado na fabricação de sobrepalmilhas, com diferentes densidades: D) 0,22 g.cm⁻³; E) 0,24 g.cm⁻³; F) 0,30 g.cm⁻³. Condições de análise: Taxa de aquecimento 10°C.min⁻¹, Fluxo de N₂: 50x10⁻³L.min⁻¹.

Os resultados encontrados estão acima de $-52\text{ }^{\circ}\text{C}$ adotado como referencial teórico (vide 2.6.1.3), supondo-se que o teor de estireno seja 23%. Deve ser ressaltado que as espumas analisadas estão reticuladas e o grau de reticulação modifica a temperatura de transição vítrea, porque a presença de grupos rígidos dentro da cadeia principal aumenta a rigidez, isto é, diminui a mobilidade molecular (CANEVAROLO Júnior).

Outro fator interveniente são misturas de polímeros utilizados para atingir propriedades, como dureza, por exemplo, empregando-se látex de SBR carboxilado, no qual o teor de estireno é mais elevado e conseqüentemente aumentando a temperatura de transição vítrea do composto final, conforme salientado na revisão de literatura.

4.2.2.5 Morfologia

A análise através da microscopia pode ser vista na figura 19 e permite avaliar a estrutura celular do material utilizado na pesquisa em amostras de diferentes densidades aparentes.

Na avaliação da microscopia, a estrutura celular fica bem caracterizada com o chamado “favo de mel” típico das espumas, que conceitualmente são denominadas de células abertas (ver item 2.6.1, Fig. 8a).

A amostra com densidade aparente de D (Fig.19-D) tem células com geometria aproximadamente esférica com tamanho regular e nucleação homogênea. Além de “vazios” maiores com aspecto de ruptura da membrana da célula.

Na micrografia da amostra com densidade aparente E (Fig.19-E) a geometria é mais irregular e com um tamanho maior (diâmetro aprox. $385,0\text{ }\mu\text{m}$) em relação à densidade aparente D . A nucleação também é mais heterogênea e a concentração é menor.

Para a amostra com densidade aparente F (Fig.19-F) tem-se geometria regular, homogênea e esférica com concentração celular maior, bem como tamanho médio menor (diâmetro aprox. $221,0\text{ }\mu\text{m}$).

O fenômeno observado para o material EVA expandido com relação à morfologia se repetiu, onde o esperado era de que o material com densidade aparente intermediária apresentasse tamanho de célula entre os dois extremos. O látex espumado de SBR com densidade aparente E ficou com tamanho médio maior, mesmo tendo uma densidade

aparente superior ao material com densidade D . As possíveis explicações para esse resultado são as já referidas para o EVA expandido, acrescentando de que para materiais espumados tem-se o processo de “espumação”, no qual o ar é introduzido na massa polimérica é por agitação. Os parâmetros de mistura dessa fase são determinantes da densidade aparente, tais como, viscosidade da emulsão, velocidade de agitação e tempo, entre outros.

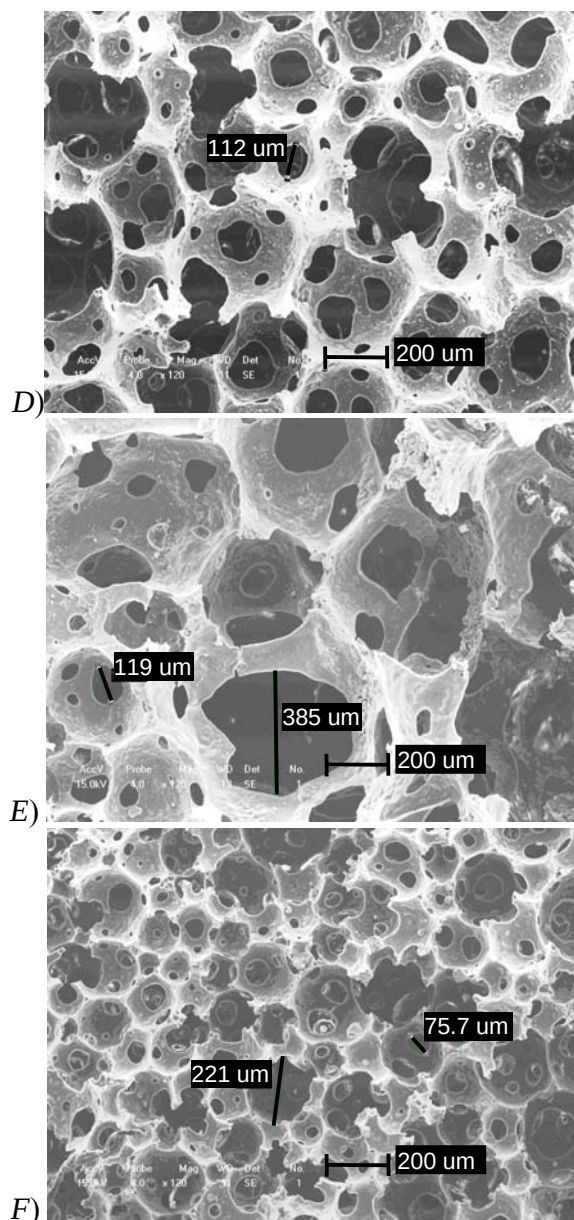


Figura 19: Micrografias eletrônicas de varredura da seção transversal de Látex espumado de SBR empregado na fabricação de sobrepalmilhas, com densidade de: D) $0,22 \text{ g.cm}^{-3}$; E) $0,24 \text{ g.cm}^{-3}$; F) $0,30 \text{ g.cm}^{-3}$.

4.2.3 Material – Espuma de PU flexível

4.2.3.1 Densidade aparente

Seguindo os resultados da pesquisa estruturada coletaram-se amostras com densidades $0,35 \text{ g.cm}^{-3}$ e $0,45 \text{ g.cm}^{-3}$, pois materiais a base de espuma de PU flexível com densidades iguais ou menores a $0,25 \text{ g.cm}^{-3}$ não são produzidos comercialmente. Solicitaram-se materiais com outras densidades, como $0,40 \text{ g.cm}^{-3}$ e $0,50 \text{ g.cm}^{-3}$, porém a variação observada em intervalos mais estreitos como $\pm 0,03$ para que um extremo não atinja o limite do outro é de difícil controle no processo de fabricação. Portanto, optou-se por apenas duas densidades para o estudo.

Os resultados da determinação da densidade estão expressos na tabela 11, sendo que os corpos-de-prova foram retirados das placas da seguinte forma: um corpo-de-prova de cada placa, porque as placas são pequenas e não comportam retirar todos da mesma. Outro aspecto importante: ao retirarem-se os corpos-de-prova de diversas placas é que se pode ter uma boa impressão da dispersão do resultado, garantindo se há ou não homogeneidade das propriedades do material. O mesmo procedimento foi adotado para amostras com cada espessura escolhida.

Tabela 11

Medidas descritivas da densidade aparente para Espuma de PU flexível empregada na fabricação de sobrepalmilhas

Densidade aparente [g.cm^{-3}]		
Denominação	<i>G</i>	<i>H</i>
Média	0,35	0,43
Desvio Padrão	0,00	0,01
CV [%]	3,33	3,00

Devido ao procedimento adotado, a tipificação apresentou um coeficiente de variação reduzido, o qual ficou abaixo de 5%. Portanto, as placas foram aceitas como válidas para o estudo, isto é, representam a densidade aparente desejada, pois estão dentro do intervalo da tabela 2.

4.2.3.2 Dureza (Asker C)

O ensaio de dureza para caracterização das placas seguiu os mesmos procedimentos adotados para os materiais EVA expandido e látex espumado de SBR. Os valores encontrados estão mostrados na tabela 12.

Os resultados para as duas densidades aparentes, embora tenham apresentado uma dispersão maior que a do EVA expandido, atestada pela amplitude, permitiram aprovar as amostras para o presente estudo pelas razões expostas no item 4.2.2.2.

Tabela 12

Medidas descritivas da dureza Asker C para Espuma de PU flexível empregada na fabricação de sobrepalmilhas

Dureza (Asker C)	Denominação da Densidade aparente	
	<i>G</i>	<i>H</i>
Mediana	46	59
Amplitude	12	11

4.2.3.3 Espessura

Na caracterização da espessura foram empregados os mesmos procedimentos dos materiais EVA expandido e látex espumado de SBR, sendo que os resultados estão na tabela 13. A espessura como nos demais casos não apresentou resultado fora do especificado para o intervalo de variação da tabela 2. Para efeitos do estudo as amostras foram aprovadas.

Tabela 13

Medidas descritivas da espessura para Espuma de PU flexível empregada na fabricação de sobrepalmilhas

Espessura [mm]	Denominação da densidade aparente							
	<i>G</i>				<i>H</i>			
Nominal	3 ⁽¹⁾	4	5	6	3	4	5	6
Média	XXX	3,91	4,82	5,58	3,01	4,01	5,18	5,93
Desvio Padrão	XXX	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,09	0,09
CV [%]	XXX	0,21	0,17	0,25	0,16	0,12	1,69	1,49

⁽¹⁾ O fornecedor do material não dispunha da espessura.

4.2.3.4 Transições térmicas

Os resultados para Espuma de PU flexível encontram-se na tabela 14 e ilustrados no gráfico 17.

Tabela 14

Transições térmicas para Espuma de PU flexível empregada na fabricação de sobrepalmilhas, obtidas por DSC, segundo norma ASTM D 3418.

Transições Térmicas	Denominação da densidade aparente	
	<i>G</i>	<i>H</i>
T_g (°C)	-55	-54
T_m (°C)	-	-

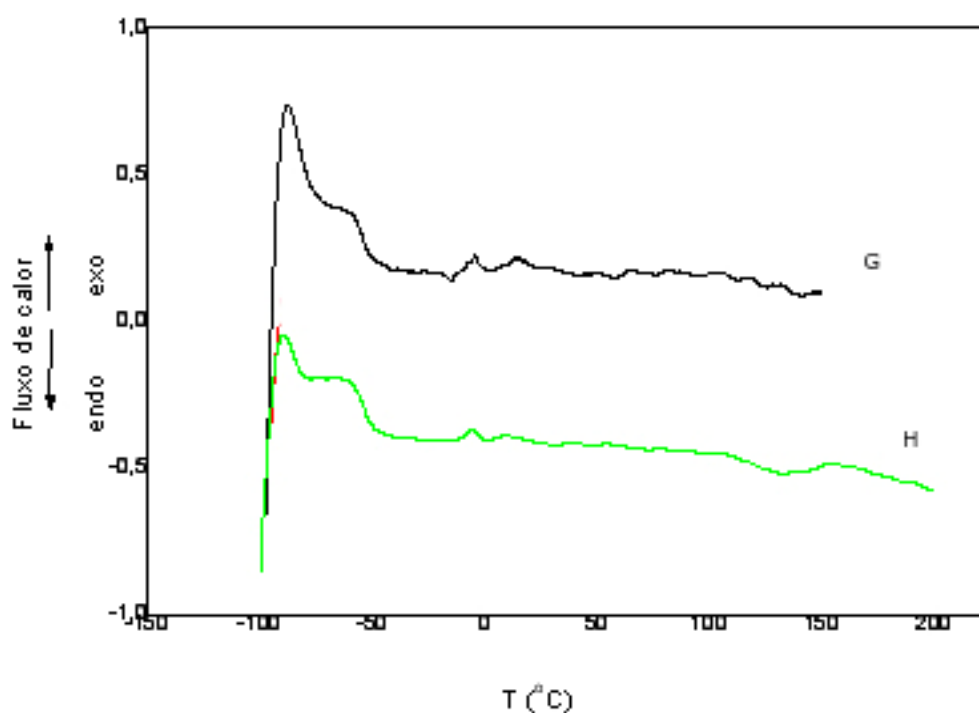


Gráfico 17: Curvas de DSC (2ª corrida de aquecimento) para espuma de PU flexível empregada na fabricação de sobrepalmilhas, com diferentes densidades: G) 0,35 g.cm⁻³; H) 0,43 g.cm⁻³ Condições de análise: Taxa de aquecimento 10°C.min⁻¹, Fluxo de N₂: 50x10⁻³ L.min⁻¹.

Os resultados da análise das transições térmicas para a espuma de PU flexível são coerentes, considerando os dados reportados na revisão de literatura (vide item 2.6.1.2). Mesmo porque as avaliações das transições térmicas têm a finalidade de simplesmente identificar o material que foi empregado na pesquisa, pois reiteradamente foi destacado que uma das limitações do estudo foi não considerar a influência dos componentes da composição, tais como, massa molecular média, distribuição da massa molecular, grau de reticulação, aditivos, entre outros fatores que podem alterar o comportamento da temperatura de transição vítrea e da temperatura de fusão (SOARES et al.).

Para suprir a carência detectada e igualmente referida na revisão de literatura, em relação à caracterização dos materiais usados na maioria dos estudos em biomecânica procurou-se, pelo menos, identificar os materiais empregados na avaliação em propriedades que podem afetar as variáveis estudadas.

Outra dificuldade adicional se refere ao sigilo que as empresas fabricantes mantêm sobre os dados tanto da formulação da composição dos polímeros, quanto dos detalhes de processo de fabricação dos materiais para sobrepalmilha.

4.2.3.5 Morfologia

A análise por intermédio da microscopia eletrônica de varredura da seção transversal de amostras de espuma de PU flexível de diferentes densidades pode ser vista na figura 20 e permite avaliar a estrutura celular do material utilizado na pesquisa.

As micrografias revelaram em ambas as densidades uma geometria homogênea e claramente esférica. Na densidade G o tamanho das células é heterogêneo. Além disso, pode-se verificar diferença no diâmetro médio das células entre as espessuras. Na espessura de 5 mm (Fig.20-G – 1) o maior diâmetro é de 323,0 μm , enquanto que na espessura 6 mm (Fig.20-G – 2) o maior diâmetro é 433,0 μm .

A densidade H (Fig.20-H) está com diâmetro médio menor (135,0 μm) em relação à densidade G – 1, devido à menor expansão. O efeito que se verifica nas micrografias (G – 1 e G – 2) de células muito “grandes” próximas ao observador é devido à amostra colada no suporte ter ficado inclinada (vista em ângulo). O sentido da seta, em vermelho, indica o plano mais próximo ao observador.

Comparando-se os três materiais considerando as propriedades empregadas para caracterizá-los, o EVA expandido se mostrou com menor dispersão dos resultados em termos de densidade aparente, dureza, espessura e morfologia.

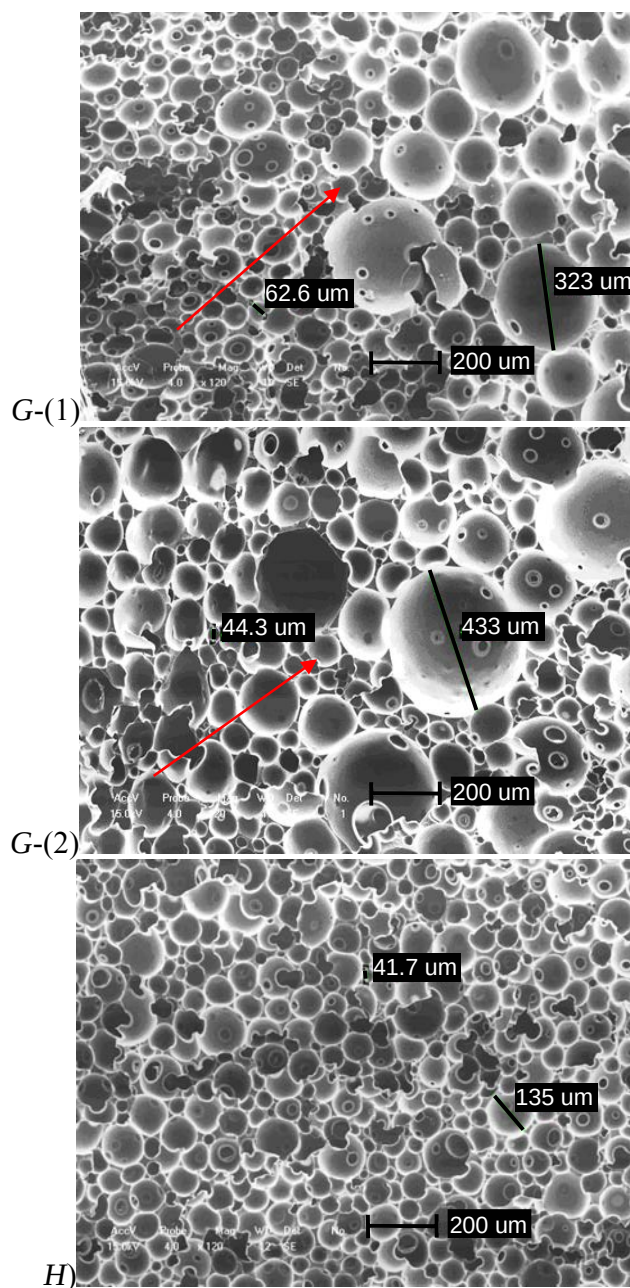


Figura 20: Micrografias eletrônicas de varredura da seção transversal (vista em ângulo) de espuma de PU flexível empregada na fabricação de sobrepalmilhas, com densidade de: G – 1) $0,35 \text{ g.cm}^{-3}$ (espessura 5 mm); G – 2) $0,35 \text{ g.cm}^{-3}$ (espessura 6 mm); H) $0,43 \text{ g.cm}^{-3}$.

O controle desses parâmetros está ligado ao próprio processo de obtenção desses materiais e também na maneira de medi-los como foi destacado nos itens 2.4 e 2.6.1 (gráfico 1).

As limitações de fabricação impediram que se pudesse compará-los nas mesmas condições, daí a necessidade de tipificá-los na situação em que normalmente são fornecidos. Um exemplo disso é que ocorre entre o EVA expandido e o látex espumado de SBR, porque embora a densidade aparente esteja, praticamente na mesma faixa, a diferença na relação “sólido/vazio” entre os dois materiais pode ser facilmente verificada na microscopia.

4.3. Caracterização dos materiais de diferente natureza em função das propriedades mecânico-dinâmicas

4.3.1 Material – EVA expandido

Iniciou-se o estudo pelo material EVA expandido devido a ser o mais usado de acordo com a pesquisa estruturada e porque se encontram dados na literatura (Expanded Foam, nº 3-2) sobre o comportamento em relação à resiliência ao impacto conforme ilustrado anteriormente no gráfico 4.

4.3.1.1 Deformação dinâmica por compressão

A determinação da deformação dinâmica por compressão foi realizada com cinco corpos-de-prova de EVA expandido e apresentaram resultados descritos na tabela 15.

A análise dos dados do ensaio de deformação dinâmica por compressão baseada em um coeficiente de variação acima de 10% impossibilita considerar o ensaio como válido. Essa dispersão se deve, possivelmente, às características do equipamento e do material avaliado que inviabilizou a obtenção de resultados confiáveis com os critérios propostos no estudo.

Tabela 15

Medidas descritivas da deformação dinâmica por compressão após 100.000 Ciclos para EVA expandido empregado na fabricação de sobrepalmilhas, em função da densidade e da espessura do material

Denominação da densidade aparente												
Espessura nominal [mm]	A				B				C			
	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4	5	6
DDC* - Média [%]	63,3	57,9	56,5	56,5	17,3	13,3	9,4	12,7	12,9	11,6	11,3	8,4
Desvio Padrão	8,7	11,4	7,9	8,3	3,2	1,3	2,0	4,0	11,5	9,7	7,5	3,0
CV [%]	13,7	19,7	14,0	14,6	18,6	9,7	21,0	31,5	88,8	84,0	66,7	36,1

* Deformação dinâmica por compressão

Dentre as deficiências do equipamento foram observadas a falta de um sistema de correção automática entre a altura do êmbolo e o corpo-de-prova durante o ensaio e, no que diz respeito ao material a espessura combinada com a densidade pode não se adequar ao método. Decorrente disso tem-se ainda a falta de controle sobre qual o grau de deformação imposto ao material.

4.3.1.2 Medida da absorção de energia

A variável absorção de energia foi determinada conforme o método descrito na norma técnica. Inicialmente, mediu-se o valor de absorção de energia no calçado sem sobrepalmilha, sendo tomado esse valor como referencial. Após foram colocados dentro do calçado os corpos-de-prova a serem ensaiados. O valor de absorção de energia final resultou da diferença entre o valor de absorção de energia medido no calçado com a sobrepalmilha e o valor de absorção de energia medido no calçado sem a sobrepalmilha. Os resultados encontrados para a variável absorção de energia estão na tabela 16.

Tabela 16

Medidas descritivas da absorção de energia para EVA expandido empregado na fabricação de sobrepalmilhas, em função da densidade e da espessura do material.

	Denominação da densidade aparente											
	A				B				C			
Espe ssura nominal [mm]	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4	5	6
AE*[J]- Média	5,2	8,7	10,6	17,1	5,1	5,5	7,9	12,3	4,1	4,9	9,1	7,6
Desvio Padrão	1,2	2,6	2,9	9,0	1,4	1,9	2,6	6,5	2,8	1,6	4,0	4,1
CV [%]	24,1	29,5	26,9	52,7	27,9	34,9	33,5	53,1	67,7	32,9	44,2	54,6

* Absorção de Energia

No ensaio de absorção de energia os resultados também não permitiram uma conclusão satisfatória por razões semelhantes às do ensaio de deformação dinâmica. As sensibilidades dos dois métodos parecem ser inadequadas aos objetivos do estudo. A incompatibilidade ficou caracterizada de forma consistente quando da realização do ensaio de resiliência ao impacto.

4.3.1.3 Medida da resiliência ao impacto

Os resultados da resiliência ao impacto estão mostrados na tabela 17.

Tabela 17

Medidas descritivas da resiliência ao impacto para EVA expandido empregado na fabricação de sobrepalmilhas, em função da densidade e da espessura do material

Denominação da densidade aparente												
Densidade aparente	A				B				C			
Espessura nominal [mm]	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4	5	6
RI*[%]	**	**	**	**	**	**	**	22,5	**	14,8	16	16,8
Média												
Desvio Padrão	*	*	*	*	*	*	*	0,3	*	0,4	0,00	0,3
CV [%]	*	*	*	*	*	*	*	1,6	*	3,0	0,00	1,6

* Resiliência ao Impacto. ** Não foi possível a medição.

A determinação da resiliência ao impacto prevista na metodologia revelou-se inadequada para avaliar o desempenho considerando as espessuras propostas no estudo. Nos materiais com espessura em que foi possível executar o ensaio de resiliência ao impacto, a sensibilidade do equipamento não permitiu uma medição confiável da propriedade, distorcendo os resultados. Acredita-se que a massa do martelo seja muito superior à espessura mínima necessária para isolar o efeito da bigorna que suporta o impacto.

Essa hipótese fica evidenciada quando se observa que com o aumento da densidade a espessura de 6,0 mm já possibilita o ensaio. Porém, mesmo com materiais de densidade aparente C , o ensaio na espessura de 3,0 mm não foi possível. Muito embora tenham sido determinados valores para os materiais analisados, quando da execução do ensaio foi possível perceber-se o som metálico da pena do martelo sobre a bigorna, portanto os resultados para esta variável devem ser desprezados.

4.3.1.4 Medida de histerese mecânica

Considerando-se que os resultados dos ensaios de deformação dinâmica, absorção de energia e resiliência ao impacto não se mostraram adequados aos objetivos propostos para avaliar o comportamento mecânico-dinâmico dos materiais em função da sensibilidade dos métodos procurou-se encontrar uma alternativa que possibilitasse a obtenção das informações. Optou-se por avaliar as propriedades por outro método. Em vez de avaliar-se a resiliência, mediu-se a histerese mecânica por tração conforme a norma DIN 53835, e o coeficiente de restituição de energia.

Como fora descrito no item 2.6 as perdas de energia (deformações) por histerese mecânica podem ser um indicativo do comportamento do material no uso.

Para os testes estatísticos utilizados foi considerado apenas o terceiro ciclo de deformação no ensaio de histerese por tração.

Os ensaios foram executados segundo a metodologia proposta e os resultados para o material EVA expandido estão no gráfico 18.

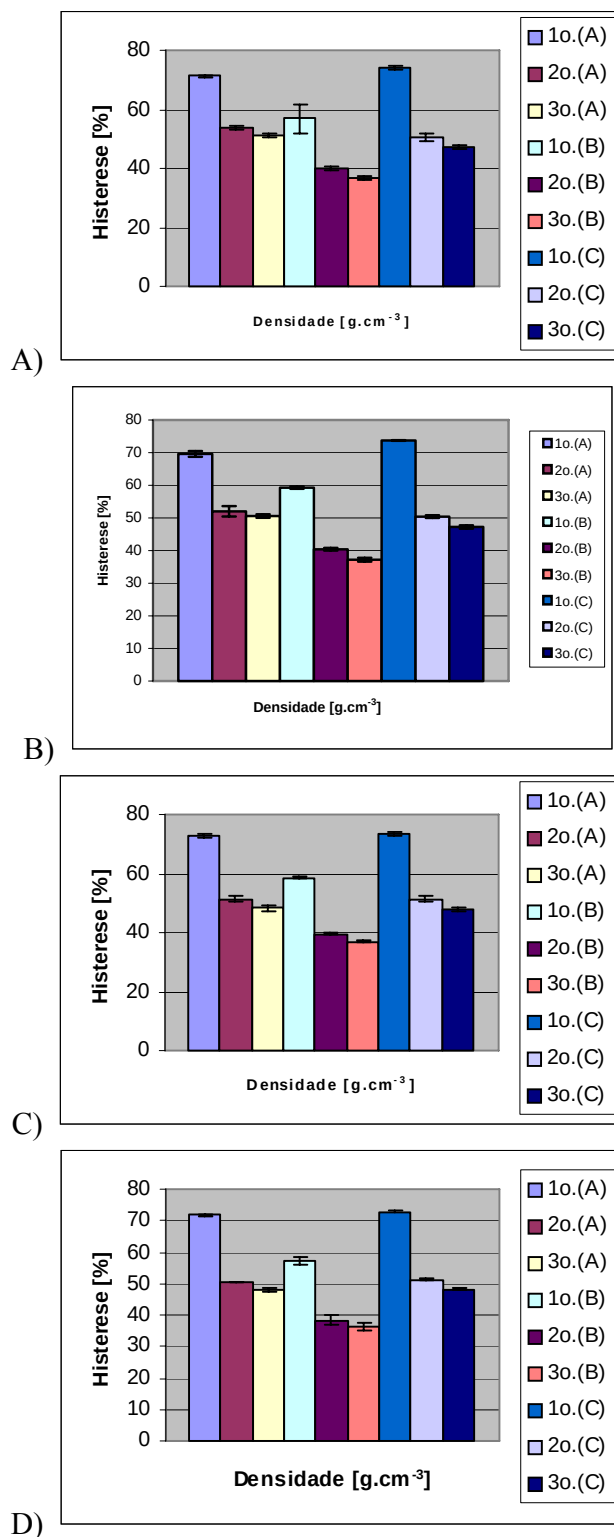


Gráfico 18: Histerese mecânica (média) em função da densidade aparente para EVA expandido empregado na fabricação de sobrepalmilhas, nas espessuras de: A) 3 mm; B) 4 mm; C) 5 mm; D) 6 mm. (Legenda no gráfico: ciclo (densidade)).

Segundo a análise estatística que está no apêndice H pode-se observar que os dados apresentam distribuição normal somente nas densidades A e B, em todas as espessuras. Sendo assim, para verificar se há diferença na variável histerese entre as diferentes espessuras, efetuou-se (para as densidades A e B) o teste estatístico ANOVA *One Way* (Apêndice I) seguido do teste Post Hoc de Scheffé. Os resultados parecem demonstrar que, na densidade A, a espessura tem influência na histerese em diferenças de espessura acima de 1 mm no material, à exceção da comparação entre as espessuras 3 mm e 4 mm e entre 5 mm e 6 mm onde não se registram diferenças significativas. Pode-se supor que em densidades menores a espessura influencia os resultados da histerese por tração. Na densidade B não foram identificadas diferenças significativas entre espessuras.

No material com densidade aparente C fez-se análise para dados independentes, utilizando o teste de Kruskal-Wallis porque os dados não apresentaram distribuição normal em todas as espessuras. O teste revelou o valor de $p = 0,16$, portanto maior do que 0,05. Logo, a hipótese nula não pode ser rejeitada, isto é, não há evidências suficientes para determinar que a espessura interfere na histerese para o material com densidade aparente C.

Para avaliar a hipótese de que a variável densidade aparente do material afeta a histerese utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis, porque os dados não apresentaram distribuição normal para uma das densidades aparentes (C). O teste revelou o valor de $p = 0,03$ (isto é, $p < 0,05$) para as espessuras 3 mm, 4 mm e 5 mm. Para a espessura 6 mm o valor da probabilidade de significância foi 0,07. Logo, a hipótese nula não pode ser rejeitada apenas para a espessura de 6 mm. Para as demais a densidade aparente interfere no comportamento da histerese. Nas espessuras em que resultou significativa a hipótese alternativa, porque a probabilidade de significância apresentou valor igual a zero, determinou-se se entre quais grupos há diferença, sendo que o teste estatístico U de Mann Whitney está no apêndice I. O teste mostrou diferença significativa entre as densidades A e B, A e C (somente nas espessuras 3 mm e 4 mm) e entre as densidades B e C).

Os gráficos revelam o seguinte comportamento para a espessura, quando na mesma densidade aparente: à medida que aumenta a espessura ocorre um aumento na diferença entre o primeiro e o segundo ciclo de histerese, assim como entre o segundo e o terceiro ciclo até a espessura de 5 mm, independentemente da densidade aparente. Entre a espessura de 5 mm e 6 mm há estabilização na diferença entre os ciclos.

Sob o enfoque da densidade aparente os resultados estão a indicar que o material com densidade aparente *B* apresenta menor histerese, os quais reforçam as especulações levantadas na análise das micrografias.

4.3.1.5 Medida do coeficiente de restituição de energia

Como foi visto na literatura a resiliência ao impacto embora seja uma forma simples de avaliar as propriedades dinâmico-mecânicas é muito empregada pelas características já destacadas. Sendo a energia devolvida após uma dada deformação espera-se que haja alguma relação com a histerese mecânica, que é a energia perdida. Deve-se ressaltar, entretanto, que a resiliência ao impacto é um ensaio por compressão e o ensaio de histerese, por tração. Mesmo assim a idéia é investigar se há relação entre ambas e de que maneira a espessura e a densidade aparente interferem no coeficiente de restituição de energia (C.R.).

Os testes estatísticos de normalidade e a análise de variância ANOVA encontram-se nos apêndices J, K, respectivamente para a variável espessura.

Os resultados de coeficiente de restituição médio em função da espessura e da densidade obtidos para corpos de prova de EVA expandido são ilustrados no gráfico 19:

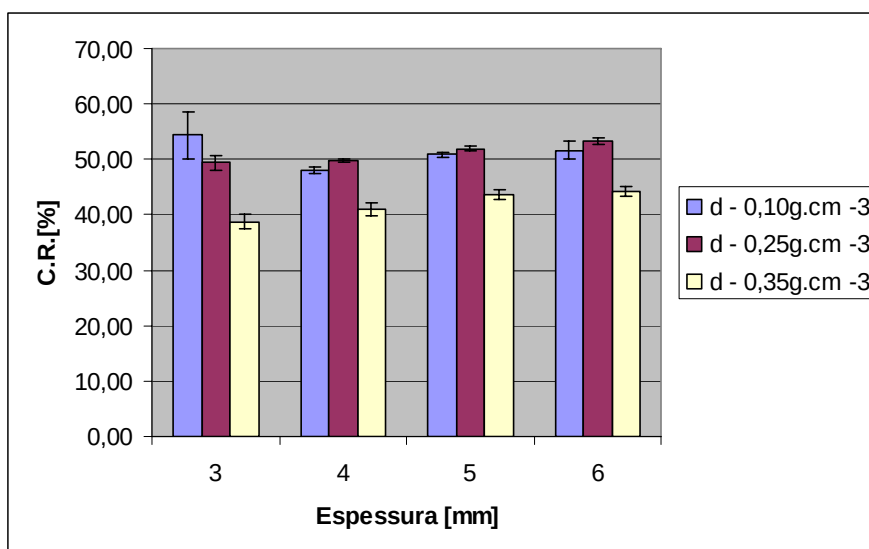


Gráfico 19: Coeficiente de restituição em função da espessura e para EVA expandido empregado na fabricação de sobrepalmilhas com diferentes densidades aparentes.

Dos resultados pode-se concluir que a espessura influi na *performance* da propriedade coeficiente de restituição, principalmente acima de determinado valor, no caso, densidade aparente A ($0,10 \text{ g.cm}^{-3}$) em material EVA expandido.

Na avaliação da hipótese de que a variável densidade aparente do material afeta o C. R. de energia utilizaram-se as mesmas ferramentas estatísticas (ver apêndice L).

Esses resultados revelam que a densidade aparente em material EVA expandido afeta o coeficiente de restituição de energia, isto é, diminui à medida que aumenta a densidade aparente.

4.3.2 Material – látex espumado de SBR

4.3.2.1 Medida de histerese mecânica

O teste de normalidade dos dados está descrito no apêndice M.

No gráfico 20 são apresentados os dados de histerese mecânica por tração obtidos para as amostras de látex espumado de SBR com diferentes espessuras e densidades aparentes.

Embora os dados tenham apresentado distribuição normal na maioria dos casos, a hipótese inicial de que tanto a variável espessura, quanto a densidade aparente do material afetam a histerese não foi testada porque os resultados têm um coeficiente de variação acima de 10 % em diversas espessuras.

4.3.2.2 Medida do coeficiente de restituição de energia

O teste de normalidade dos dados está descrito no apêndice N.

Os dados não apresentaram distribuição normal para a espessura 5 mm para o material com densidade aparente D . Os resultados de coeficiente de restituição médio em função da espessura e da densidade aparente obtidos para Látex espumado de SBR são ilustrados no gráfico 21.

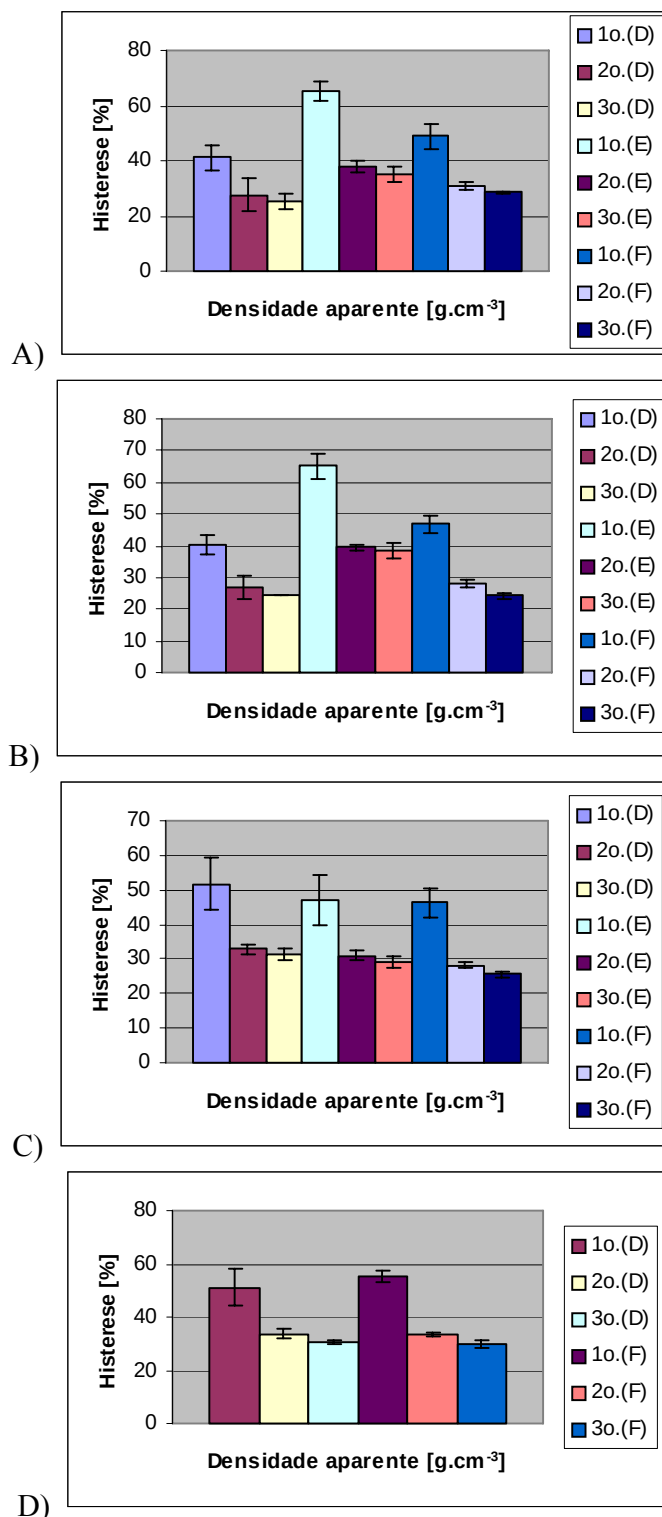


Gráfico 20: Histerese mecânica (média) em função da densidade aparente para látex espumado de SBR empregado na fabricação de sobrepalmilhas, nas espessuras de: A) 3mm; B) 4mm; C) 5mm; D) 6mm. (Legenda no gráfico: ciclo (densidade)).

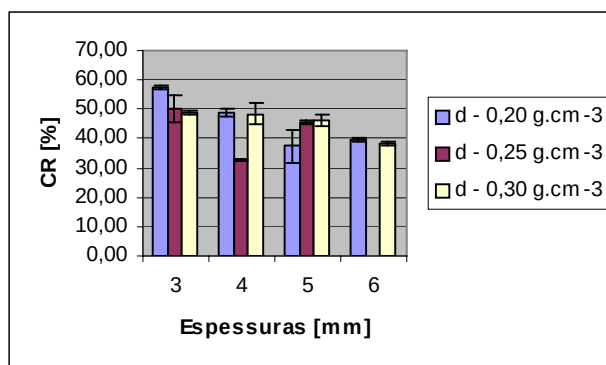


Gráfico 21: Coeficiente de restituição em função da espessura e para Látex espumado de SBR empregado na fabricação de sobrepalmilhas com diferentes densidades.

A hipótese inicial de que a variável espessura do material afeta o C.R. foi testada através da ferramenta estatística análise de variância (ANOVA *One Way*), seguido do teste Post Hoc de Scheffé para os materiais com densidade aparente *E* e *F*. Os resultados dos testes estatísticos encontram-se nos apêndices O.

No material com densidade aparente *D* fez-se análise para dados independentes, utilizando o teste de Kruskal-Wallis, seguido do Teste U de Mann-Whitney (vide apêndice O) porque os dados não apresentaram distribuição normal.

Considerou-se as seguintes hipóteses:

H_0 : as médias têm as mesmas distribuições de valores, independente da espessura do material, isto é, $p > \alpha$, sendo $\alpha = 0,05$.

H_1 : as médias não têm as mesmas distribuições de valores, portanto são dependentes da espessura do material, isto é, $p \leq \alpha$.

O teste de Kruskal-Wallis revelou que o valor para $p = 0,00$, portanto menor do que 0,05. Logo, tem-se que determinar se há diferença em todos os grupos de espessuras. Os resultados demonstram que a espessura tem influência no coeficiente de restituição para látex espumado de SBR.

Para avaliar a hipótese de que a variável densidade aparente do material afeta o C.R. empregou-se Kruskal-Wallis, porque um dos grupos não apresentou normalidade, seguido do Teste U de Mann-Whitney (Apêndice P). O teste de Kruskal Wallis revelou o valor para p menor do que 0,05. O teste U de Mann-Whitney indicou diferença significativa em relação ao C.R. entre as densidades *D* e *E* nas espessuras 4 mm e 5 mm; entre as

densidades D e F nas espessuras 3 mm e 5 mm e entre as densidades E e F na espessura 4 mm.

De acordo com os resultados observa-se que a densidade aparente do látex espumado de SBR tem influência no coeficiente de restituição de energia, conforme está demonstrado no gráfico 4 à medida que aumentam a densidade e a espessura há uma tendência a diminuir o C.R.

4.3.3 Material – Espuma de PU flexível

4.3.3.1 Medida de histerese mecânica

Os dados apresentaram normalidade em todas as espessuras para as duas densidades aparentes, sendo que os resultados estão no apêndice Q. No gráfico 22 são apresentados os dados de histerese mecânica obtidos para amostras de espuma de PU flexível com diferentes espessuras e densidades.

A hipótese inicial de que a variável espessura do material afeta a histerese foi testada e os resultados estão nos apêndices R.

De acordo com os resultados da ANOVA não há diferenças significativas nas médias no nível de significância de 0,05 entre as espessuras no material com densidade aparente G, considerando o terceiro ciclo de histerese.

Para o material com densidade aparente H ocorre diferença significativa ao nível de 0,05 entre as espessuras 3 mm, 5 mm, 6 mm; 4 mm e 6 mm.

Verifica-se que quanto maior a espessura na densidade aparente H menor a diferença na histerese entre o primeiro e o segundo ciclo de deformação.

O fato de histerese ter sofrido influência da espessura apenas para a densidade aparente H, deverá ser melhor investigado. Alguns fatores, como por exemplo, a estrutura morfológica podem estar interferindo no comportamento do material. Como constatado o material com densidade aparente G apresentou heterogeneidade de tamanho de célula (ver 4.2.3.5).

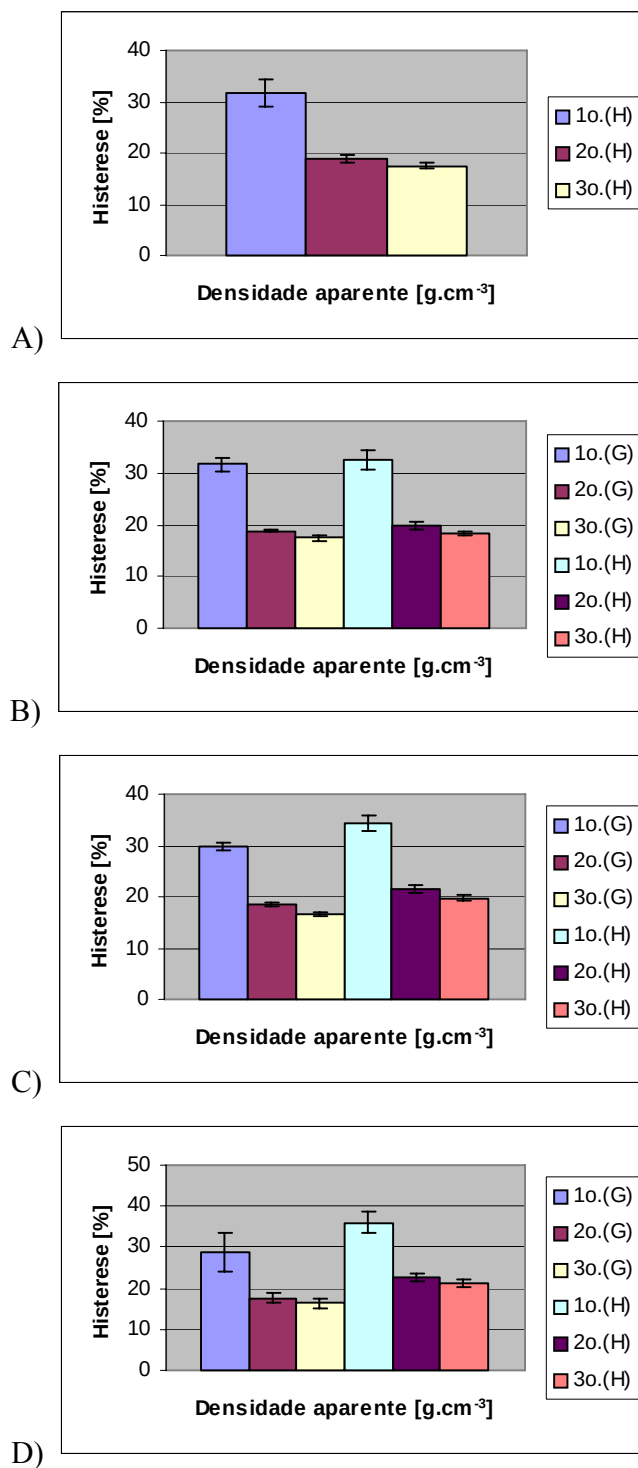


Gráfico 22: Histerese mecânica (média) em função da densidade aparente para espuma de PU flexível empregado na fabricação de sobrepalmilhas, nas espessuras de: A) 3mm; B) 4mm; C) 5mm; D) 6mm. (Legenda no gráfico: ciclo (densidade)).

Outra questão era se a variável densidade aparente do material afeta a histerese. Para testá-la utilizou-se o teste *t* para dois grupos independentes (vide apêndice S).

Observaram-se diferenças significativas entre as espessuras 5 mm e 6 mm, o que pode indicar que a densidade aparente influi no comportamento da histerese para o material espuma de PU flexível. Observa-se que a uma tendência para um incremento na histerese quando a um aumento na densidade aparente. Contudo, as possíveis variáveis intervenientes destacadas quando se avaliou a influência da espessura devem ser isoladas.

Considerando-se os dois materiais, porque a análise do látex espumado de SBR ficou prejudicada, como já destacado tem-se um comportamento para o expandido de EVA semelhante para a espuma de PU flexível no que diz respeito à diferença entre o primeiro e o segundo ciclo de deformação tanto na variável espessura quanto na variável densidade aparente.

4.3.3.2 Medida do coeficiente de restituição de energia

A normalidade dos dados e os demais testes estatísticos para avaliar a influência entre a espessura, densidade aparente e o coeficiente de restituição de energia estão nos apêndices T, U e V.

Os dados apresentaram normalidade para todas as espessuras tanto para o material com densidade aparente *G*, quanto para o material com densidade aparente *H*.

Os resultados de coeficiente de restituição médio em função da espessura e da densidade obtidos para espuma de PU flexível são ilustrados no gráfico 23.

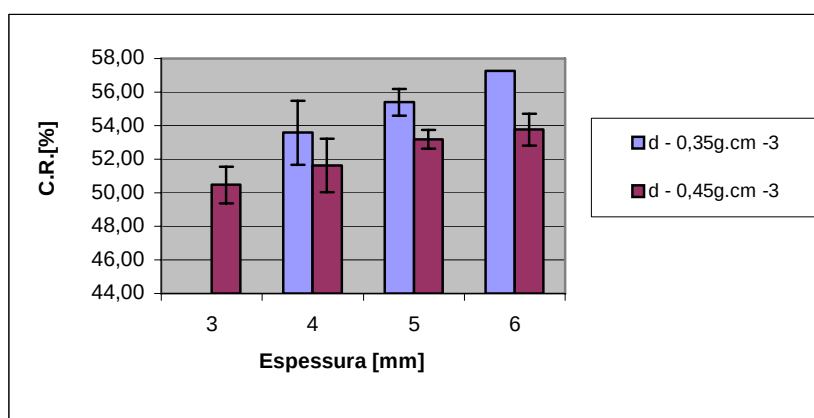


Gráfico 23: Coeficiente de restituição em função da espessura e para espuma de PU flexível empregado na fabricação de sobrepalmilhas com diferentes densidades.

Pela ANOVA verificou-se que há diferenças significativas nas médias no nível de significância de 0,05 entre materiais com espessuras de 4 mm e 6 mm na densidade aparente G para o coeficiente de restituição.

Em materiais com espessuras entre 3 mm e 5 mm e entre 3 mm e 6mm as médias apresentam diferenças significativas para a densidade H .

Os resultados parecem indicar que pequenas diferenças de espessura (1 mm) não interferem no coeficiente de restituição de energia em se tratando de espuma de PU flexível nas densidades avaliadas.

De acordo com o teste t para dois grupos independentes verificou-se que a variável densidade aparente do material afeta a o coeficiente de restituição de energia.

Se considerarmos que durante o movimento do pé humano uma das etapas é a absorção do choque (ver 2.2) e que os materiais se comportam de acordo com suas características intrínsecas e também resultantes dos processos de fabricação é importante selecionar as propriedades que revelem esse comportamento e sejam capazes de os diferenciarem.

Como se demonstrou o corpo humano no seu sistema locomotor possui mecanismos próprios de proteção do pé durante a marcha (ver 2.2), contudo acredita-se que com o uso de materiais projetados para essa finalidade tenha se maior conforto.

Se altas cargas de impacto provocam ondas de choque com danos para o organismo devem-se desenvolver materiais que tenham capacidade de absorver essa energia. Por isso é desejável que apresentem baixo coeficiente de restituição, contudo mantenham a propriedade de isolamento entre o pé e o solo.

Dois aspectos devem ser ressaltados, sendo que o primeiro é de que as considerações acima são válidas para calçados de uso diário. Em calçados para prática de esportes de alta *performance* há outras variáveis a serem observadas. O segundo aspecto é o balanceamento adequado entre dissipação da energia (deformação) e resiliência (coeficiente de restituição) para manter a “memória” do material, isto é, protegendo o pé contra o contato com o solo.

Um estudo de Nigg e Anton (1995) aborda a interação entre a superfície, o calçado e o pé sob o enfoque do material e a economia de energia durante uma corrida e as implicações das vibrações para todo o sistema. Esses pesquisadores relatam a influência do balanço entre trabalho/energia durante a locomoção humana devido à energia devolvida

(resiliência) para o sistema locomotor pela superfície. Referem ainda, a importância de se levar em conta as características do tipo de esporte, como por exemplo, se é corrida de velocidade ou maratona. Adicionalmente, outra componente a ser avaliada no balanceamento é a questão da geração de calor devido à dissipação da energia, pois acarretará aumento da temperatura interna do calçado com consequências para o conforto.

4.4 Caracterização dos materiais de diferente natureza em função da propriedade biomecânica: pressão plantar máxima

De acordo com a revisão da literatura fica demonstrada a importância da distribuição de pressão na sobrepalmilha e suas consequências para o pé durante a marcha.

Adotou-se a pressão plantar máxima baseada na norma NBR 14836 que define o pico de pressão plantar máximo de $26,0 \text{ N.cm}^{-2}$ para calçados muito confortáveis.

4.4.1 Material EVA expandido

Os valores da média do pico de pressão (vide gráfico 24) foram calculados conforme definido na metodologia, sendo que o teste de normalidade dos dados encontra-se no apêndice X. Constatou-se que todas as densidades apresentaram distribuição normal para a variável pico de pressão máximo.

Considerando-se que se deseja verificar se as variáveis espessura e densidade aparente do material da sobrepalmilha afetam o pico de pressão máximo utilizaram-se ferramentas estatísticas para análise de dados contínuos com mais de dois grupos independentes que estão nos apêndices Y e Z.

O efeito da espessura sobre o pico de pressão é maior na densidade aparente A. Na densidade aparente B diferenças de 1 mm não alteram o pico médio de pressão. Já na densidade aparente C a espessura não tem influência observável sobre o pico médio de pressão.

Para a densidade aparente os resultados indicam que um aumento no valor da propriedade provoca um incremento no valor médio do pico de pressão para todas as espessuras avaliadas.

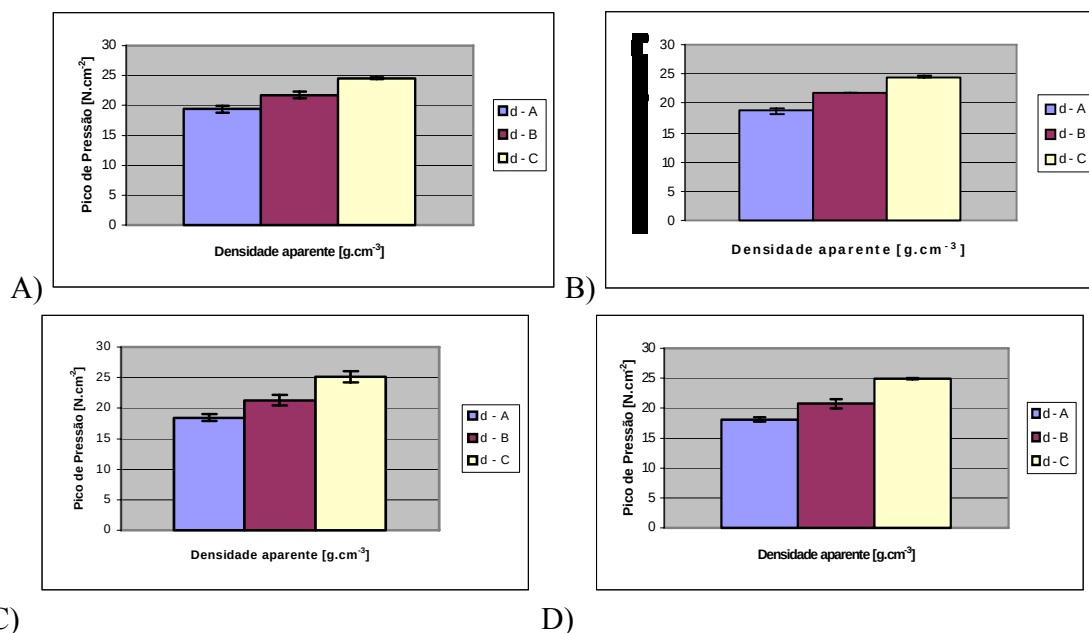
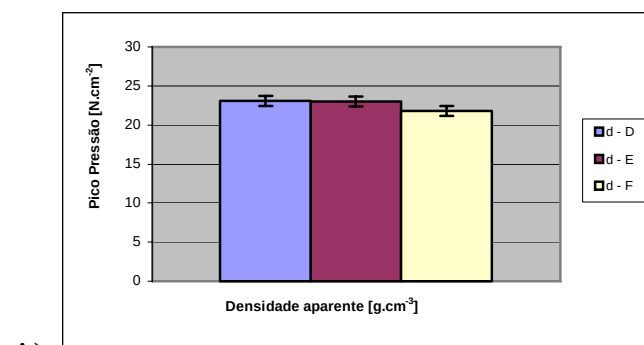


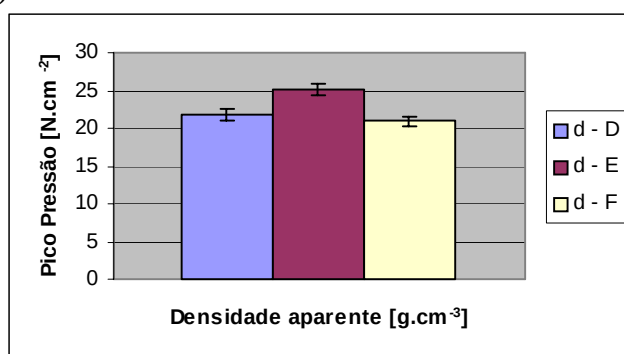
Gráfico 24: Pico de Pressão plantar (média) em função da densidade aparente para EVA expandido empregado na fabricação de sobrepalmilhas, nas espessuras de: A) 3mm; B) 4mm; C) 5mm; D) 6mm.

4.4.2 Material látex espumado de SBR

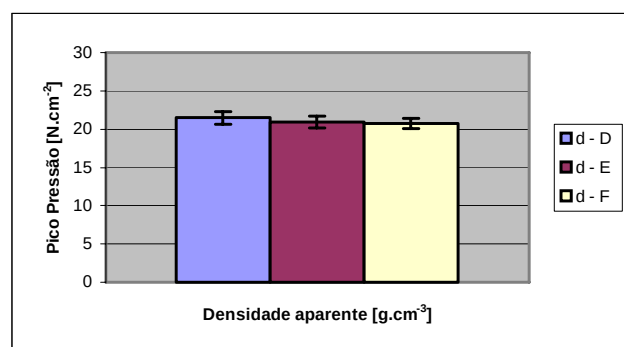
Os procedimentos de coleta adotados foram os descritos na metodologia, sendo que os dados estão no gráfico 25 e o teste de normalidade está no apêndice AA. Os dados do pico de pressão para a espessura 4 mm na densidade aparente *F* não seguem uma distribuição normal. Os testes estatísticos para a questão se a variável espessura e densidade aparente do material para sobrepalmilha afetam o pico de pressão plantar máximo estão nos apêndices AB. Como no material com densidade aparente *F* os dados de pico de pressão médio não apresentaram normalidade realizou-se o teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste U de Mann Whitney. O teste de Anova revelou o valor para $p = 0,00$, isto é, há diferenças estatisticamente significativas nas espessuras estudadas. O teste de scheffé indicou que essas diferenças encontram-se entre as espessuras 3 mm e 4 mm, 3 mm e 5 mm, 3 mm e 6 mm (em ambas densidades); entre 4 mm e 6 mm (densidade *D*) e entre 5 mm e 6 mm (densidade *D*). O teste de Kruskal Wallis revelou o valor de $p = 0,00$ que há diferenças na distribuição de valores entre as espessuras. O teste U de Mann Whitney, indica que essas diferenças estão entre todas as espessuras, exceção entre as espessuras 4 mm e 5 mm.



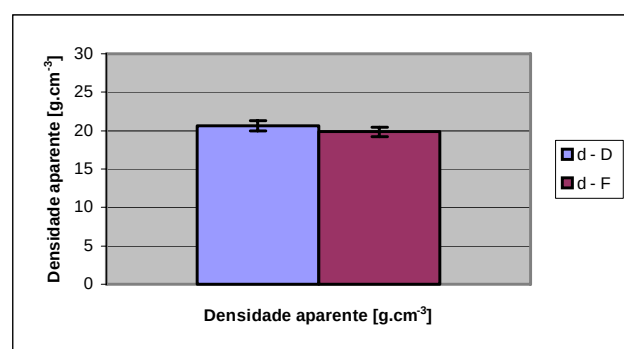
A)



B)



C)



D)

Gráfico 25: Pico de pressão plantar (média) em função da densidade aparente para látex espumado de SBR empregado na fabricação de sobrepalmilhas, nas espessuras de: A) 3mm; B) 4mm; C) 5mm; D) 6mm.

A partir da análise pela ANOVA para as densidades aparentes D e E e por Mann-Whitney (vide apêndice AC) para a densidade aparente F pode-se inferir que a espessura é fator de influência no pico de pressão para o látex espumado de SBR.

4.4.3 Material espuma de PU flexível

Os procedimentos de coleta são os mesmos dos materiais anteriores. Os resultados estão no gráfico 26, sendo que o teste de normalidade está no apêndice AD.

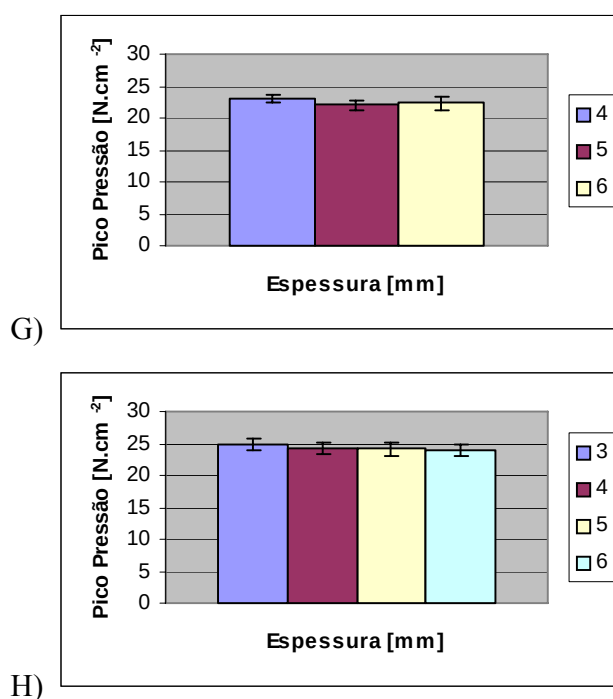


Gráfico 26: Pico de pressão plantar (média) em função da espessura e para espuma de PU flexível empregado na fabricação de sobrepalmilhas, nas densidades aparentes G e H .

Nos apêndices AE e AF os testes estatísticos avaliam se as variáveis espessura e densidade aparente da sobrepalmilha afetam o pico de pressão plantar.

Segundo os resultados o pico de pressão é influenciado tanto pela espessura como pela densidade aparente para a espuma de PU flexível.

4.5 Análise da relação entre as variáveis mecânico-dinâmicas e a variável biomecânica (pressão plantar máxima)

Desde o delineamento do estudo havia uma certeza que as dificuldades seriam grandes para avaliação das propriedades por se tratar de material celular. Portanto, o fato de não se estabelecer conexão precisa entre uma propriedade e outra não significa que ela não exista.

Um dos objetivos era investigar, nas duas condições examinadas, a inter-relação entre pressão plantar máxima e as propriedades mecânico-dinâmicas, no caso coeficiente de restituição de energia, porque os materiais das sobrepalmilhas sofrem solicitações de compressão/descompressão durante a marcha e o ensaio é o que mais simula a condição de uso, contudo as limitações do estudo de ordem metodológica e da natureza dos materiais como também da interação de ambas impossibilitaram estabelecer correlações consistentes para extrapolar os resultados para fora do intervalo. E, mesmo no intervalo deve-se ter cautela, porque os resultados podem ser frutos do número de pontos e não do fenômeno em si. Por isso, foram descartados os testes de correlação.

Sendo as propriedades dos materiais celulares função do tamanho, formato e concentração de células de acordo com o demonstrado na revisão bibliográfica às páginas 45 e 46 (gráfico 2), na qual a densidade aparente do material varia conforme a espessura é de supor que muito dos resultados obtidos sejam devido a esses fatores.

No material espuma de PU flexível ficou visível essa heterogeneidade observando-se as micrografias $G - 1$ e $G - 2$ à página 88, onde a densidade aparente G apresenta diferença entre os tamanhos e concentração de células para as espessuras 5 mm e 6mm. Mesmo tendo havido a preocupação com a homogeneidade das amostras, daí a necessidade da caracterização da densidade aparente e da espessura dentro de critérios rígidos, a variabilidade é inerente aos processos de fabricação desses materiais.

Um dos fatores que diferencia o material celular expandido do material espumado é a quantidade de fluido (gás) disperso e outro igualmente importante é forma de produção, que afeta a estabilidade dimensional e o desempenho mecânico. No material celular expandido a expansão se dá sob pressão, pois o material fica comprimido dentro do molde e ao cessar a pressão ele expande. No material celular tipo espuma o processo de expansão

(“espumação”) se dá livremente. Logo, o primeiro cria tensões, as quais à medida que ocorre o resfriamento, vai contraindo até atingir o equilíbrio. Já no segundo, esses esforços praticamente não existem e, portanto as contrações são menores. Essas contrações são resultado quase que exclusivamente pela perda de fluido gasoso. Essa perda dependerá da permeabilidade da membrana (paredes internas e película superficial) polimérica e do tamanho da molécula do gás utilizado na produção do material celular. Nos expandidos essas perdas são menores, pois o gás está confinado numa célula fechada.

Nesse sentido sugere-se que seja considerado o estudo realizado por Mills e Rodriguez-Perez (2001), no qual é feita uma avaliação criteriosa de entressolas de EVA expandido *versus* permeabilidade do fluido gasoso sob compressão.

Essa discussão pode dar bem uma idéia da complexidade dos materiais celulares e sua aleatoriedade na obtenção das propriedades.

5. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A questão proposta neste trabalho para ser respondida não deve ser decomposta como tradicionalmente é feito. As interações entre o material, sua densidade, estrutura e aspectos dimensionais não puderam ser isolados, muitas vezes, de forma que fosse possível demonstrar o efeito individual com confiabilidade pela metodologia empregada.

Entretanto pode-se concluir que:

Os equipamentos para avaliar a deformação dinâmica, absorção de energia e resiliência ao impacto não são adequados à metodologia proposta.

Para o EVA expandido pode-se inferir que em espessuras menores a perda por histerese entre o primeiro e os demais ciclos é menor.

Para o látex espumado de SBR, considerando-se os resultados obtidos, recomenda-se que haja melhor controle sobre as variáveis de processo, assim como a escala de densidade aparente tenha um intervalo maior entre os pontos afim de que se possa observar de forma confiável a influência da densidade aparente na histerese e para a espuma de PU flexível o comportamento foi semelhante ao EVA expandido.

A ênfase que se atribuiu à diferença entre os ciclos se deve ao fato de que ela pode ser um indicativo da vida útil do material, quando em uso, no que se refere à deformação;

Comparando-se apenas os três materiais, EVA expandido, látex espumado de SBR e a espuma de PU flexível, verificou-se que tanto a espessura, quanto a densidade modificam a histerese mecânica por tração, assim como o coeficiente de restituição.

De forma geral pode-se comprovar que em todos os materiais observa-se a tendência de uma redução do coeficiente de restituição de energia quando aumenta a densidade aparente do material.

Como fora destacado o coeficiente restituição deve ser avaliado de forma mais aprofundada controlando-se as variáveis que foram abordadas nas limitações do estudo na página 27, porque todos os materiais são comerciais.

Outra abordagem importante, discutida no item 2.5, é a diferença entre os dois métodos de medição da resiliência ao impacto no que se refere à massa do pêndulo ou do coeficiente de restituição à massa de impacto da ponteira piezelétrica ou a altura da queda, por isso acredita-se devem ser reduzidas.

Além das constatações destacadas no item 4.3.1.3, adicionalmente pode-se inferir que a explicação para o fato de na densidade aparente *A* não haver diferenças nas médias pode estar ligada à questão da capacidade de isolamento do material entre a ponteira piezelétrica e o suporte da base do equipamento, porque o material não apresenta rigidez estrutural suficiente na baixa densidade para neutralizar o efeito da base no momento do choque. Fato que pode ser comprovado para o material com densidade aparente *C* na espessura 6 mm. Pois nessa densidade aparente e com essa espessura já há isolamento suficiente entre as superfícies.

Outro dado relevante que demonstra a dificuldade de avaliação devido à sensibilidade de equipamento é a dureza. No látex espumado de SBR as três faixas de densidades seriam incapazes de ser diferenciada pela propriedade dureza.

Com relação à suposição inicial para a hipótese de que materiais com temperatura de transição vítrea mais baixa possam ter melhor desempenho em relação à histerese mecânica por tração deve ser investigada mais detalhadamente quando se trata de material celular. O efeito do componente gasoso na estrutura do material pode alterar substancialmente o comportamento mecânico do polímero.

Ainda no que concerne ao material observou-se que no caso tanto da espuma de PU flexível, quanto do látex espumado de SBR uma variável que deve ser melhor controlada é a espessura da película superficial (pele) que recobre as placas. Como o EVA foi avaliado sem a película, enquanto que nos outros dois materiais foi mantida a película superficial recomenda-se que esta seja controlada. Dentro da mesma linha de raciocínio outro detalhe importante é a espessura da parede das células, que igualmente não houve nenhum controle. Sendo o que determina as propriedades elásticas é o polímero, portanto as paredes desempenham papel preponderante na *performance* do material.

A espessura interfere no pico de pressão para EVA expandido, sendo que a espessura terá maior ou menor impacto à medida que diminui a densidade aparente do expandido.

Pela análise do gráfico 25, embora não se possa determinar correlação pode-se verificar que tanto a espessura como a densidade aparente do látex espumado de SBR afeta o pico de pressão plantar médio no intervalo estudado. Observa-se que na medida em que

há um aumento na densidade aparente do material ocorre redução no pico de pressão médio, logo para o látex espumado de SBR a densidade aparente F é mais indicada.

O fato de não haver modificação quando se passa da densidade aparente D para E , talvez seja em função da taxa de $0,05 \text{ g.cm}^{-3}$ ser pouco significativa para alterar o pico de pressão nessa faixa de densidade aparente em material celular tipo espuma.

Para os três materiais a alteração da espessura provoca modificação no pico de pressão plantar. Como para a espuma de PU flexível não se dispunha da espessura de 3 mm, assim como a densidade aparente na faixa inferior, deve-se comparar na espessura de 6 mm e a densidade aparente no extremo superior para todos os materiais. Então, tem-se para o látex espumado de SBR e para a espuma de PU flexível uma redução do pico de pressão plantar médio, quando se aumenta a espessura do material, enquanto que para o EVA expandido o pico médio de pressão se mantém, aproximadamente, dentro da mesma faixa.

Quando se analisam os três materiais no tocante à variável densidade aparente no caso do EVA expandido, quanto maior a densidade maior o pico de pressão (gráfico 24). Esse dado estatístico dá embasamento às observações do modelo durante as coletas em laboratório. Embora não fizesse parte dos objetivos do estudo, solicitou-se que fossem relatadas as sensações percebidas entre as várias espessuras e densidades.

As sobrepalmilhas em todas as espessuras tanto na densidade aparente A , quanto na B não apresentaram diferença sensível no caminhar – “parece que não há nada debaixo do pé”. O material tem grande deformação e promove pouco isolamento do solo. Na densidade aparente C nas espessuras de 3 mm e 4 mm há a percepção de maior rigidez e, na medida em que as espessuras de 5 mm e 6 mm são usadas a sensação é acentuada, dando maior proteção ao pé.

Para o látex espumado de SBR (gráfico 25) ocorre o inverso do EVA expandido (gráfico 24). A explicação para esse fato, possivelmente, se deve a micro-estrutura de ambos, porque o EVA se trata de material expandido, enquanto o látex de SBR é espumado (ver 2.6.1). Sob o ponto de vista da aplicação pode-se usar EVA expandido com densidade aparente na faixa de $0,25 \text{ g.cm}^{-3}$ ou látex espumado de SBR na faixa de $0,30 \text{ g.cm}^{-3}$, porque ambos se equivalem em termos de pico de pressão plantar. Já ao comparar-se a faixa de

$0,35\text{g.cm}^{-3}$ a espuma de PU flexível apresenta menor pico de pressão plantar do que o EVA expandido.

A relação entre pressão plantar máxima e o coeficiente de restituição, não deve ser absoluta porque tem-se que controlar melhor as variáveis intervenientes.

De maneira geral, pode-se dizer que quanto maior o coeficiente de restituição maior o pico de pressão.

O resultado da análise de correlação entre a espessura e a densidade aparente com as propriedades histerese mecânica por tração e coeficiente de restituição de energia dos três materiais demonstrou um comportamento inconsistente para o intervalo avaliado (quatro espessuras e três densidades aparentes).

De acordo com os dados da literatura (gráfico 1) verificou-se que há concordância nos resultados para a densidade aparente, todavia deve-se ressaltar dois aspectos: o primeiro é que o intervalo avaliado foi pequeno, apenas três pontos e em segundo os dados referidos são que a densidade aparente aumenta do centro para a superfície do material celular (densidade vs secção transversal). Recomenda-se que para ter um modelo matemático do fenómeno, propriamente, o número de pontos deva ser maior, contudo cabe ressaltar que para fins práticos não tem aplicação, porque em espessuras e densidades aparentes acima das ensaiadas há limitações tanto para fabricação da sobrepalmilha, quanto para a construção dos calçados.

Os critérios para avaliação de sobrepalmilhas em relação às normas de conforto em calçados de uso diário, adotando-se a pressão plantar máxima da norma NBR 14836 que define o pico de pressão plantar máximo de $26,0\text{ N.cm}^{-2}$ para calçados muito confortáveis todos os materiais avaliados no estudo, espessuras e densidades aparentes estão abaixo do valor referido. Contudo, os resultados não autorizam estabelecer nenhum critério visando atingir maior conforto pelas razões amplamente discutidas no trabalho.

É importante salientar que para o conforto conforme conceito desenvolvido no presente estudo as propriedades originais dos materiais assumem papel destacado. Todavia, mais relevante ainda é manter as propriedades durante o uso por longos períodos.

Sob esse aspecto pode-se concluir que espessura de 2 mm é inadequada, principalmente quando em materiais celulares do tipo espuma com densidade aparente na faixa de $0,20\text{ g.cm}^{-3}$ devido a carga exercida sobre a superfície plantar ser elevada,

provocando grande deformação do material da sobrepalmilha, porque o fluido é depletado do interior da célula.

Materiais expandidos com densidade na faixa acima de $0,30 \text{ g.cm}^{-3}$ e com espessuras acima de 5 mm apresentam tendência a um incremento na pressão plantar máxima.

Sob o ponto de vista das propriedades mecânico-dinâmicas sugere-se que outra linha a ser investigada seja a histerese por compressão desde que sejam observadas variáveis como as superfícies externas (pele) dos materiais, além das outras variáveis já relacionadas para os materiais celulares.

Finalizando, no que concerne aos tipos de materiais celulares sugere-se que seja avaliada a borracha expandida e sob a questão das perdas de fluido gasoso nas páginas 108 e 109 é recomendável que se controle essa variável, isto é, o intervalo entre o tempo de fabricação do material celular e a execução dos ensaios.

6. REFERÊNCIAS

ARNDT, A. et alli. A comparison of external plantar loading and in vivo local metatarsal deformation wearing two different military boots. **Gait and Posture**, v.18, p. 20-26, 2003.

ASHRAE, 1992. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/disciplinas/paginas/arquivos/aut_0268_aula_2_parametros_de_conforto.pdf> Acesso em: 12 jun. 2005.

ÁVILA, Aluisio Otavio Vargas. Conforto em Calçados. **Revista Tecnicouro**, Novo Hamburgo, v.22,nº9, p.175, nov.2001.

BLOW, C.M., HEPBURN, C. (ed); WEBSTER, J. G. **Rubber Technology and Manufacture**. 2ed. Inglaterra: Butterworthm Scientific, 1982. p. 474-5.

BORGES Júnior, N.G. et al. Revista Brasileira de Biomecânica, São Paulo: Estação Liberdade, nº1, p.28-9, abr.2003.

BROWN, Roger. **Physical Testing of Rubber**. 4a. ed. New York: Springer Science + Business Media, Inc., 2006. p.173-200.

BRUNIERA, Carlos Alberto Veiga; AMADIO, Alberto Carlos, Análise da Força de Reação do Solo para o Andar e Correr com Adultos Normais do Sexo Masculino durante a Fase de Apoio.In: **Congresso Brasileiro de Biomecânica**, V, 1993, Santa Maria.Anais.Santa Maria: UFSM, 1993. p. 20.

CANEVAROLO Sebastião V. Júnior. **Ciência dos Polímeros**. São Paulo: Artliber, 2002. 183p.

CARL, H.D. et alli. Assessment of plantar pressure in forefoot relief shoes of different designs. **Foot and Ankle**, v.27, p.117-20, 2006.

CARTILHA DE EVA.Conselho de Componentes. Novo Hamburgo: CTCCA, 1993.

CAVANAGH, P. R., HENNIG, E. M. Pressure distribution measurement - a review and some observations on the effect of shoe foam materials during running. In B. M. Nigg & B. A. Kerr (Ed.), *Biomechanical Aspects of Sport Shoes and Playing Surface*. Calgary, Alberta, Canada, pp. 187-190, 1983.

DAVIES, O. Ll.; MILLS, N. J. The Rate Dependence of Confor Polyurethane Foams. **Cellular Polymers**, UK, v. 18, nº2, p. 117-136, 1999.

DATTA, R. N. 2001.**Rubber Curing Systems**.Rapra Rewiew Reports, Report 144

ESPUMA DE LÁTEX PARA CALÇADOS. Novo Hamburgo: CTCCA, 1998.

EXPANDED Foam. **Sumitomo Chemical Company, Limited**, nº3-2.

FELDMANN, Dorel, 1989. **Polymeric Building Materials CL**. Disponível em: <<http://books.google.com/books>> Acesso em: 20 fev. 2007.

FORTE, J. Nilton Dias. Descompassos entre o pé e o calçado. **Revista Tecnicouro**, Novo Hamburgo, v.13, nº5, p.34-8, jul.1991.

GEIB, Oscar Fernando. **Relação dos Perímetros com a Forma e o Calçado, segundo Critérios de Conforto**. Florianópolis: UDESC, 1999. Dissertação de mestrado em Ciências do Movimento Humano, Centro de Educação Física e Desportos, Universidade do Estado de Santa Catarina, 1999.

GRUBER, Joachim. Orthopädische grundlagen und ihre Konsequenzen für die gestaltung von Schuhen. **Schuh Technick**, Heidelberg: Hüthig, v.9, p.12-3, 1995.

HENNIG, Ewald M., The Evolution and Biomechanics of the Human Foot – Applied Research for Footwear. In: **II Simpósio Brasileiro de Biomecânica do Calçado**, 1, 2003, Novo Hamburgo. Anais. Novo Hamburgo: CTCCA, 1993. p.08.

_____. Foot Biomechanics of Children, Foot Biomechanics of Children, Adults and Overweight Persons Adults and Overweight Persons. In: **Simpósio Brasileiro de Biomecânica do Calçado**, V, 2006, Novo Hamburgo. Disponível em: <<http://ctcca.locaweb.com.br>> Acesso em: 19 abr. 2006.

HOUSE, Carol M. et al. The influence of simulated wear upon the ability of insoles to reduce peak pressures during running when wearing military boots. **Gait and Posture**, v16, p.297-303, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. **Tábuas Completas de Mortalidade**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 04 abr. 2005.

JORDAN, C.; BARTLETT, R. Pressure Distribution and Perceived comfort in Casual Footwear. **Gait and Posture**, UK, v.3, p.215-220, dez.1995.

KLEEMANN, W.; WEBER, K., **Elastomer Processing – Formulas and Tables**. Cincinnati: Hanser/Gardner Publications, Inc., 1994.

LACERDA, Delfina Falcão. O Calçado através dos tempos. **Revista Tecnicouro**, Novo Hamburgo, v.9, nº4, p.64-6, jun./jul.1987.

LAVERY, Lawrence A. et al. **Reducing Plantar Pressure in the Neuropathic Foot - A comparison of footwear**. Disponível em: <www.algeos.com> Acesso em: 27 mai. 2006.

LITERATURA TÉCNICA BÁSICA EM CALÇADOS, Novo Hamburgo: CTCCA, 2002, 160 p (Estruturação Fabril, v.3).

LOPES, Fabiana Augusta Moreira; OLIVEIRA, Flávia Aparecida, **Fatores de Risco para o Desenvolvimento do Pé Diabético em Sujeitos Atendidos pelo Programa de Saúde da Família (PSF)**. Curso de Especialização em Saúde Coletiva e Disciplina de Patologia Geral da Faculdade de Medicina do Triângulo Mineiro (FMTM)2004. Disponível em: <http://www.fmtm.br/instpub/fmtm/patge/Diabetes_psf.htm>Acesso em: 21 abr. 2005.

MARK, James E. (ed); **Polymer Data Handbook**. 2ed. Nova York: Oxford University Press, 1999. p.983-5.

MEHTA, Farhad; NADELLA, Krishna. **Prediction of density variation in thick microcellular sheets**. Autumn, 2003. Course Project Report Dept. of Mechanical Engineering, University of Washington, Seattle, Washington 9819. Disponível em: <http://courses.washington.edu/mengr599/vk/project_reports/density_prediction.pdf>Acesso em: 28 Mai. 2006.

MILANI, T. L.; HENNIG, E. Pressure patterns inside of a running shoe during walking and running. In C. E. Cotton, M. Lamontagne, D. G. E. Robertson, & J. P. Stothart (Ed.), **Vth. Biennial Conference of the Canadian Society of Biomechanics**, Ottawa: Spodym Publ., London, Ontario, pp. 110-111,1988.

MILLS, N. J. et all. Polymer foams for personal protection: cushions, shoes and helmets. **Composites Science and Technology**. v.63, p.2389-2400, 2003.

_____; RODRIGUEZ-PEREZ, M. A. Modelling the gas-loss creep mechanism in EVA foam from running shoes. **Cellular Polymers**, v.20, p. 79-100, 2001.

NERY, C. Metatarsalgias. 1997. Disponível em: <<http://www.unifesp.br/dortoped/pe/pgtec02.htm>> Acesso em: 27/01/2006 às 21:35

NIGG, B.M.; HERZOG, W.; READ, L.J. Effect of viscoelastic shoe insoles on vertical impact forces in heel-toe running. **American Journal of Sports Medicine**. v. 16, n°1, p. 70-76, 1988.

_____; ANTON, M. Energy aspects for elastic and viscous shoe soles and playing surfaces. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. v. 27, n°1, p.92-97,1995.

PARK, Young-Jun; KIM, Hyun-Joong. Hot-melt adhesive properties of EVA/aromatic hydrocarbon resin blend. **International Journal of Adhesion & Adhesives**. v.23, p.383-392,2003.

PERRY, J. **Análise de Marcha**. São Paulo: Manole, 2005. 3v.

RABELLO, M. **Aditivação de Polímeros**. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2000.

REVISTA BRASILEIRA DE BIOMECÂNICA, São Paulo: Estação Liberdade, nº1, p.28-9, abr.2003.

REED, Thomas F. **Elastomer Technology – Special Topics**. Ohio: Krishna C. Baranwal, Howard L. Stephens – The Rubber Division – American Chemical Society, 2003. p. 387-414.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D. **FÍSICA**. 4ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.1984. 1v.

SAECHTLING, H. **Plastics Handbook**. Inglaterra: Carl Hanser Verlag, 1983. p.244-5.

SCHLEI, Bernd R., et al. Geometric morphology of cellular solids. Disponível em: <<http://www.nsl.lanl.gov/~bschlei/>> Acesso em: 28 mai. 2006.

SCHIE, C. H. M. A Review of the Biomechanics of the Diabetic Foot. **Lower Extremity Wounds**, Netherlands, v. 4, nº. 3, p.160-170, 2005.

SCHUSTER, R.H., Seminário de Atualidades Tecnológicas. In: Curso de Propriedades Dinâmicas de Materiais Elastoméricos, 1999, São Leopoldo, apostila.S. Leopoldo: Centro de Tecnologia de Polímeros, 1999.

SHIMBO, Minoru et al. On Foaming Process of Vulcanized Rubber Using Physical Blowing Agent. **The Third International Conference on Axiomatic Design**, p. 1-6, Jun 21-24, 2004.

SOARES, B. G; LUCAS, F.Elizabete; MONTEIRO, Elisabeth. **Caracterização de Polímeros**. Rio de Janeiro: E-Papers, 2001.366p.

SOUSA, Sofia S.; TAVARES, J.M.R.S. **Estudo de Soluções Comerciais para Análise Clínica da Pressão Plantar**. Porto: Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial – Laboratório de Óptica e Mecânica Experimental, 2006. Relatório Interno, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006.

STILLING, H. Novel Poyurethane Systems for Footwear as Replacement for EVA and Rubber1990. **Journal of Cellular Plastics**, v.26, nov.1990.

SYCH, Tetyana. **Estimation of Geometric Characteristics of Foam Structures**. Kaiserslautern: Departamento de Matemática, 2004. Tese de Doutorado, Universidade Técnica Kaiserslautern, 2004.

TSUNG, B. Y.S. et al. Effectiveness of insoles on plantar pressure redistribution. **Journal of Rehabilitation Research & Development**, v.41, p.767-774, nov./dez. 2004

VILAR, Walter Dias. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**. 2ed. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria, 1998.

WINTER, David A. **Biomechanics and Motor Control of Human Movement**. 2ed. New York: A Willey-Interscience Publication, 1990.

WITHNALL, Richard et al. Do shock absorbing insoles in recruits undertaking high levels of physical activity reduce lower limb injury? A randomized controlled trial.

Journal of the Royal Society of Medicine, v. 98, jan, 2006.

ZATERA, A. J.; BIANCHI, O.; ZENI, M.; FERREIRA, C. A. Caracterização dos Resíduos de Copolímeros de Etileno-Acetado de Vinila – EVA. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 2005, p.75).

ZATSIORSKI, V.M (ed.); SIFF, M.C, WILLIAM. K. R. **Biomecânica no Esporte – Performance do Desempenho e Prevenção de Lesão**. 1ª. ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan S.A., 2004.

APÊNDICE A - Entrevista com modelistas e técnicos em calçados

Dados de identificação:

Nome:

Endereço:

Fone:

Profissão:

Tempo de atuação:

Escolaridade:

Vínculo institucional:

Questões:

- 1) Dentre os materiais abaixo relacionados quais os mais empregados na fabricação de sobrepalmilha para calçados de uso diário? Classifique-os de 1 a 5

1 – não é usado; 2 – pouco usado; 3 – freqüentemente usado; 4 – muito usado; 5 – mais usado

- () PU (PoliUretano) expandido
- () EVA (Etileno-co-VinilAcetato) expandido
- () Látex de borracha expandida
- () PEBD (PoliEtileno de Baixa Densidade) expandido
- () GEL
- () Outros – Cite:

- 2) Dentre as espessuras abaixo relacionadas quais as mais empregadas na fabricação de sobrepalmilhas?

- () 2 mm
- () 3 mm
- () 4 mm
- () 5 mm
- () Outras – Cite:

- 3) Quais as densidades mais usadas por material (g/cm³):

- PU (PoliUretano)expandido:
- EVA (Etileno-co-VinilAcetato) expandido:
- Látex de borracha expandida:
- PEBD (PoliEtileno de Baixa Densidade) expandido:
- GEL:

Declaro estar ciente dos objetivos da pesquisa, assim como as explicações pertinentes ao projeto foram claras e, que todas as informações por mim prestadas são as de meu melhor conhecimento. Todos os dados a meu respeito serão mantidos em sigilo.

Nome por extenso:

Assinatura: N. Hamburgo,/...../.....

APÊNDICE B - Entrevista com os fabricantes de materiais para palmilhas

Dados de identificação da empresa:

Nome:

Endereço:

Fone:

CNPJ:

Questões:

- 1) Dentre os materiais abaixo relacionados quais os materiais que a empresa produz para sobrepalmilha de calçados de uso diário:

- () PU (PoliUretano) expandido
- () EVA (Etileno-co-VinilAcetato) expandido
- () Látex de borracha expandida
- () PEBD (PoliEtileno de Baixa Densidade) expandido
- () GEL
- () Todos
- () Outros – Cite:

- 2) Dentre as espessuras abaixo relacionadas quais as mais empregadas na fabricação de sobrepalmilhas?

- () 2 mm
- () 3 mm
- () 4 mm
- () 5 mm
- () Outras – Cite:

- 3) Quais as densidades mais usadas por material (g/cm³):

- PU(PoliUretano) expandido:
- EVA (Etileno-co-VinilAcetato) expandido:
- Látex de borracha expandida:
- PEBD (PoliEtileno de Baixa Densidade) expandido:
- GEL:

Declaro estar ciente dos objetivos da pesquisa, assim como as explicações pertinentes ao projeto foram claras e, que todas as informações por mim prestadas são as de meu melhor conhecimento. Os resultados do estudo poderão ser divulgados nas mais diversas formas de publicação, inclusive o nome da empresa fornecedora do material, ficando a critério do pesquisador.

Nome por extenso:

Assinatura:

N. Hamburgo,/...../.....

APÊNDICE C - Carta de Solicitação para Avaliação da Clareza dos Questionários**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE EDUCAÇÃO FÍSICA, FISIOTERAPIA E DESPORTOS –CEFID**

Florianópolis, 30 de maio de 2005.
Nesta

Prezado (a) Senhor (a),

Sou aluno da pós-graduação do Curso de Ciências do movimento Humano, da Universidade do Estado de Santa Catarina. Estou desenvolvendo uma pesquisa para dissertação de mestrado buscando informações com modelistas, técnicos em calçados e fabricantes de materiais para sobrepalmilha, tendo como orientadora a Prof. Dra. Susana Cristina Domenech.

O objetivo geral desta pesquisa é levantar informações sobre tipos de materiais mais usados em sobrepalmilhas, assim como as densidades e espessuras.

Desta forma solicito a sua colaboração na avaliação da **CLAREZA** dos questionários, para realizar posteriormente a coleta de dados.

Agradeço desde já a sua colaboração.

Prof^a. Dra. Susana Cristina Domenech
Orientadora

Wanderlei O. Gonzalez
Pesquisador

Instrução de Preenchimento:

Abaixo se encontram as questões, divididas pelos objetivos específicos.

O Roteiro de entrevista do apêndice A será destinado aos modelistas e técnicos em calçados e o Roteiro de entrevista do apêndice B par fabricantes de materiais para sobrepalmilhas. Para a clareza destes Roteiros de entrevistas, as questões devem ser selecionadas com uma nota de 1 a 10. De 1 a 4 a questão será substituída ou eliminada, de 5 a 7 a questão será reformulada e de 8 a 10 a questão será mantida.

Roteiro de Entrevista do apêndice A – Modelistas e Técnicos em Calçados

1) Dentre os materiais abaixo relacionados quais os mais empregados na fabricação de palmilha para calçados de uso diário? Classifique-os de 1 a 5

- 1 – não é usado
- 2 – pouco usado
- 2 – freqüentemente usado
- 3 – muito usado
- 4 – mais usado

- () PU(PoliUretano) expandido
- () EVA(Etileno-co-VinilAcetato) expandido
- () Látex de borracha expandida
- () PEBD(PoliEtileno de Baixa Densidade) expandido
- () GEL
- () Outros – Cite:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Confusa				Pouco Clara			Clara		

2) Dentre as espessuras abaixo relacionadas quais as mais empregadas na fabricação de palmilhas?

- () 2 mm
- () 3 mm
- () 4 mm
- () 5 mm
- () Outras – Cite:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Confusa				Pouco Clara			Clara		

3) Quais as densidades mais usadas por material (g/cm³):

- PU (PoliUretano) expandido:
- EVA (Etileno-co-VinilAcetato) expandido:
- Látex de borracha expandida:
- PEBD (PoliEtileno de Baixa Densidade) expandido:
- GEL:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Confusa				Pouco Clara			Clara		

Declaro estar ciente dos objetivos da pesquisa, assim como as explicações pertinentes ao projeto foram claras e, que todas as informações por mim prestadas são as de meu melhor conhecimento.

Todos os dados a meu respeito serão mantidos em sigilo.

Nome por extenso:

Assinatura:

N. Hamburgo,/...../.....

Roteiro de Entrevista do apêndice B – Fabricantes de materiais para Sobrepalmilhas

- 1) Dentre os materiais abaixo relacionados quais os materiais que a empresa produz para palmilha de calçados de uso diário:

- () PU (PoliUretano) expandido
 () EVA (Etileno-co-VinilAcetato) expandido
 () Látex de borracha expandida
 () PEBD (PoliEtileno de Baixa Densidade) expandido
 () GEL
 () Todos
 () Outros – Cite:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Confusa				Pouco Clara			Clara		

- 2) Dentre as espessuras abaixo relacionadas quais as mais empregadas na fabricação de palmilhas?

- () 2 mm
 () 3 mm
 () 4 mm
 () 5 mm
 () Outras – Cite:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Confusa				Pouco Clara			Clara		

- 3) Quais as densidades mais usadas por material (g/cm³):

- PU (PoliUretano) expandido:
 - EVA (Etileno-co-VinilAcetato) expandido:
 - Látex de borracha expandida:
 - PEBD (PoliEtileno de Baixa Densidade) expandido:
 - GEL:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Confusa				Pouco Clara			Clara		

Declaro estar ciente dos objetivos da pesquisa, assim como as explicações pertinentes ao projeto foram claras e, que todas as informações por mim prestadas são as de meu melhor conhecimento. Os resultados do estudo poderão ser divulgados nas mais diversas formas de publicação, inclusive o nome da empresa fornecedora do material., ficando a critério do pesquisador.

Nome por extenso:

Assinatura:

N. Hamburgo,/...../.....

APÊNDICE D – Carta de Solicitação para Avaliação da Validade dos Questionários

Novo Hamburgo, 30 de maio de 2005.

Nesta

Prezado (a) Senhor (a),

Sou aluno da pós-graduação do Curso de Ciências do movimento Humano, da Universidade do Estado de Santa Catarina. Estou desenvolvendo uma pesquisa para dissertação de mestrado buscando informações com modelistas, técnicos em calçados e fabricantes de materiais para sobrepalmilha, tendo como orientadora a Prof. Dra. Susana Cristina Domenech.

O objetivo geral desta pesquisa é levantar informações sobre tipos de materiais mais usados em sobrepalmilhas, assim como as densidades e espessuras.

Desta forma solicito a sua colaboração na avaliação da **VALIDADE** dos questionários, para realizar posteriormente a coleta de dados.

Agradeço desde já a sua colaboração.

Prof. Dra. Susana Cristina Domenech
Orientadora

Wanderlei O. Gonzalez
Pesquisador

Roteiro de Entrevista do anexo A – Modelistas e Técnicos em Calçados

1) Dentre os materiais abaixo relacionados quais os mais empregados na fabricação de palmilha para calçados de uso diário? Classifique-os de 1 a 5.

- 1 – não é usado
- 2 – pouco usado
- 5 – frequentemente usado
- 6 – muito usado
- 7 – mais usado

- () PU(PoliUretano) expandido
- () EVA(Etileno-co-VinilAcetato) expandido
- () Látex de borracha expandida
- () PEBD(PoliEtileno de Baixa Densidade) expandido
- () GEL
- () Outros – Cite:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inválida				Pouco Válida			Válida		

2) Dentre as espessuras abaixo relacionadas quais as mais empregadas na fabricação de palmilhas?

- () 2 mm
- () 3 mm
- () 4 mm
- () 5 mm
- () Outras – Cite:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inválida				Pouco Válida			Válida		

3) Quais as densidades mais usadas por material (g/cm³):

- PU (PoliUretano) expandido:
- EVA (Etileno-co-VinilAcetato) expandido:
- Látex de borracha expandida:
- PEBD (PoliEtileno de Baixa Densidade) expandido:
- GEL:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inválida				Pouco Válida			Válida		

Declaro estar ciente dos objetivos da pesquisa, assim como as explicações pertinentes ao projeto foram claras e, que todas as informações por mim prestadas são as de meu melhor conhecimento.

Todos os dados a meu respeito serão mantidos em sigilo.

Nome por extenso:

Assinatura:

N. Hamburgo,/...../.....

Roteiro de Entrevista do anexo B – Fabricantes de materiais para Sobrepalmilhas

1) Dentre os materiais abaixo relacionados quais os materiais que a empresa produz para palmilha de calçados de uso diário:

- () PU (PoliUretano) expandido
 () EVA (Etileno-co-VinilAcetato) expandido
 () Látex de borracha expandida
 () PEBD (PoliEtileno de Baixa Densidade) expandido
 () GEL
 () Todos
 () Outros – Cite:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inválida				Pouco Válida			Válida		

2) Dentre as espessuras abaixo relacionadas quais as mais empregadas na fabricação de palmilhas?

- () 2 mm
 () 3 mm
 () 4 mm
 () 5 mm
 () Outras – Cite:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inválida				Pouco Válida			Válida		

3) Quais as densidades mais usadas por material (g/cm³):

- PU (PoliUretano) expandido:
- EVA (Etileno-co-VinilAcetato) expandido:
- Látex de borracha expandida:
- PEBD (PoliEtileno de Baixa Densidade) expandido:
- GEL:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inválida				Pouco Válida			Válida		

Declaro estar ciente dos objetivos da pesquisa, assim como as explicações pertinentes ao projeto foram claras e, que todas as informações por mim prestadas são as de meu melhor conhecimento.

Os resultados do estudo poderão ser divulgados nas mais diversas formas de publicação, inclusive o nome da empresa fornecedora do material. ficando a critério do pesquisador.

Nome por extenso:

Assinatura:

N. Hamburgo,/...../.....

APÊNDICE E – Termo de consentimento livre e esclarecido



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA

CENTRO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E DESPORTOS - CEFID

COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - CEP

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título do Projeto: Avaliação das propriedades dos materiais utilizados em sobrepalmilha para calçados de uso diário

1. Gostaria de obter informações sobre todos os procedimentos a serem realizados em mim. Estaremos realizando testes de marcha com um indivíduo do sexo masculino, onde deverá caminhar primeiramente descalço e depois usando uma sobrepalmilha dos seguintes materiais: espuma de látex de borracha sintética, espuma de poliuretano flexível, espuma de polietileno de baixa densidade, espuma de EVA expandido e gel de silicone numa velocidade de 5 km/h. A caminhada será em esteira com indivíduo(modelo) treinado e selecionado pelo laboratório do CEBEC (Centro Brasileiro de Engenharia do Calçado). Os materiais serão afixados diretamente em palmilha sensorizada que será calçada no pé do indivíduo(modelo) por intermédio de calçado apropriado. Todos os materiais são atóxicos e não haverá nenhum procedimento invasivo.
2. Quais as medidas que serão avaliadas? Durante a marcha será avaliada a distribuição de pressão plantar, primeiro pico de força e taxa de aceitação do peso.
3. Quais os riscos e desconforto que podem ocorrer? Como você possui experiência em caminhada na esteira o desconforto comum para se adaptar, isto é, para manter o equilíbrio, não será sentido, porém sempre que houver necessidade poderá descansar até completar a análise.
4. Quais os meus benefícios e vantagens em fazer parte desse estudo? Você estará contribuindo para ampliar o conhecimento dos materiais usados em sobrepalmilhas de calçados de uso diário.
5. Quais as pessoas que estarão me acompanhando durante os procedimentos práticos desse estudo? Prof. Dr. Milton Zaro, mestrande Andresa M. de Castro Santos e doutorando Eduardo Nabinger.
6. Este estudo envolve tirar fotos ou filmar a minha pessoa? Sim.

TERMO DE CONSENTIMENTO

Declaro que fui informado sobre todos os procedimentos da pesquisa e, que recebi de forma clara e objetiva todas as explicações pertinentes ao projeto, sendo todas as informações que possam me identificar serão mantidas em sigilo. Eu compreendo que neste estudo, as medições dos experimentos/procedimentos serão feitos em mim.

Declaro que fui informado que posso me retirar do estudo a qualquer momento.

Nome por extenso:

Assinatura

N. Hamburgo, / / .

APÊNDICE F - Consentimento para Fotografias, Vídeos e Gravações**CONSENTIMENTO PARA FOTOGRAFIAS, VÍDEOS E GRAVAÇÕES**

Eu _____
permito que o grupo de pesquisadores relacionados abaixo obtenha fotografia, filmagem ou gravação de minha pessoa para fins de pesquisa, científico, médico e educacional.

Eu concordo que o material e informações obtidas relacionadas à minha pessoa possam ser publicados em aulas, congressos, palestras ou periódicos científicos. Porém, a minha pessoa não deve ser identificada por nome em qualquer uma das vias de publicação ou uso.

As fotografias, vídeos e gravações ficarão sob a propriedade do grupo de pesquisadores pertinentes ao estudo e, sob a guarda dos mesmos.

Nome do paciente/indivíduo:

Assinatura:

Nome dos pais ou responsável:

Assinatura:

Se o indivíduo é menor de 18 anos de idade, ou é incapaz, por qualquer razão de assinar, o Consentimento deve ser obtido e assinado por um dos pais ou representante legal.

Equipe de pesquisadores:

Nomes:

Data e Local onde será realizado o projeto: _____

APÊNDICE G - Teste de Normalidade de Shapiro Wilk para a variável histerese, EVA expandido

Densidade aparente	Espessura [mm]	Probabilidade de Significância ($\alpha=0,05$)
<i>A</i>	3	0,95
	4	0,11
	5	0,72
	6	0,41
<i>B</i>	3	0,70
	4	0,29
	5	0,65
	6	0,35
<i>C</i>	3	0,00
	4	0,25
	5	0,41
	6	0,54

Hipóteses:

H_0 : as variáveis seguem distribuição normal ($p > \alpha$)

H_1 : as variáveis não seguem distribuição normal ($p \leq \alpha$)

APÊNDICE H- Análise de variância ANOVA para Histerese de EVA expandido com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm.

Análise de variância ANOVA para Histerese de EVA expandido com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm.

Densidade aparente	Probabilidade Significância ($\alpha=0,05$)
A	0,00
B	0,67

Hipóteses:

H_0 : as médias das histereses são iguais, independentes da espessura do material ($\mu_1=\mu_2$), isto é $p>\alpha$, sendo $\alpha=0,05$.

H_1 : as médias das histereses são diferentes, portanto dependentes da espessura do material ($\mu_1\neq\mu_2$), isto é $p\leq\alpha$.

Teste Post Hoc de Scheffé para EVA expandido.

Comparações Múltiplas - Variável Dependente: Histerese x grupo Espessura		
Densidade aparente A	Prob.de Significância	
Histerese média 3mm	Histerese média 4mm	0,65
	Histerese média 5mm	0,01
	Histerese média 6mm	0,00
Histerese média 4mm	Histerese média 5mm	0,05
	Histerese média 6mm	0,02
Histerese média 5mm	Histerese média 6mm	0,94

Teste U de Mann-Whitney para EVA expandido.

Comparações Múltiplas - Variável Dependente: Histerese x grupo Densidade aparente Espessura [mm]					
Histerese média	Histerese Média	3	4	5	6
Probabilidade de Significância					
A	B	0,05	0,05	0,05	0,05
	C	0,05	0,05	0,51	0,83
B	C	0,05	0,05	0,05	0,05

APÊNDICE I - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para a variável coeficiente de restituição de energia para EVA expandido

Densidade aparente	Espessura [mm]	Probabilidade de Significância ($\alpha=0,05$)
<i>A</i>	3	0,27
	4	0,86
	5	0,17
	6	0,08
<i>B</i>	3	0,62
	4	0,25
	5	0,85
	6	0,57
<i>C</i>	3	0,68
	4	0,98
	5	0,60
	6	0,22

Hipóteses:

H_0 : as variáveis seguem distribuição normal ($p>\alpha$)

H_1 : as variáveis não seguem distribuição normal ($p\leq\alpha$)

APÊNDICE J - Análise de variância ANOVA para a variável coeficiente de restituição de energia, para os EVA expandido com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm.

Densidade aparente	Probabilidade Significância ($\alpha=0,05$)
<i>A</i>	0,00
<i>B</i>	0,00
<i>C</i>	0,00

Hipóteses:

H_0 : as médias do C.R. são iguais, independentes da espessura do material ($\mu_1=\mu_2$), isto é $p>\alpha$, sendo $\alpha=0,05$.

H_1 : as médias do C.R. são diferentes, portanto dependentes da espessura do material ($\mu_1\neq\mu_2$), isto é $p\leq\alpha$.

Teste Post Hoc de Scheffé para a variável coeficiente de restituição de energia, para os EVA expandido com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm.

Comparações Múltiplas - Variável Dependente: C.R. x grupo Espessura
Probabilidade de Significância

Material		Densidade aparente <i>A</i>	Densidade aparente <i>B</i>	Densidade aparente <i>C</i>
C.R. médio 3mm	C.R. médio 4mm	0,00	0,90	0,06
	C.R. médio 5mm	0,12	0,00	0,00
	C.R. médio 6mm	0,33	0,00	0,00
C.R. médio 4mm	C.R. médio 5mm	0,35	0,01	0,01
	C.R. médio 6mm	0,13	0,00	0,00
C.R. médio 5mm	C.R. médio 6mm	0,93	0,12	0,85

APÊNDICE K - Análise de variância ANOVA para a variável coeficiente de restituição de energia, para EVA expandido com densidade aparente *A*, *B* e *C*.

Espessura [mm]	Probabilidade Significância ($\alpha=0,05$)
3	0,00
4	0,00
5	0,00
6	0,00

Hipóteses:

H_0 : as médias do C.R. são iguais, independentes da densidade aparente do material ($\mu_1=\mu_2$), isto é $p>\alpha$, sendo $\alpha=0,05$.

H_1 : as médias do C.R. são diferentes, portanto dependentes da densidade aparente do material ($\mu_1\neq\mu_2$), isto é $p\leq\alpha$.

Teste Post Hoc de Scheffé para a variável coeficiente de restituição de energia, para EVA expandido com densidade aparente *A*, *B* e *C*.

Comparações Múltiplas - Variável Dependente: C.R. x grupo Densidade aparente

		Espessura [mm]			
C.R. médio	C.R. médio	3	4	5	6
Probabilidade de Significância					
<i>A</i>	<i>B</i>	0,04	0,01	0,02	0,11
	<i>C</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>B</i>	<i>C</i>	0,00	0,00	0,00	0,00

Hipóteses:

H_0 : as médias do C.R. são iguais, independentes da densidade aparente do material ($\mu_1=\mu_2$), isto é $p>\alpha$, sendo $\alpha=0,05$.

H_1 : as médias do C.R. são diferentes, portanto dependentes da densidade aparente do material ($\mu_1\neq\mu_2$), isto é $p\leq\alpha$.

APÊNDICE L - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para a variável histerese mecânica, látex espumado de SBR

Densidade aparente	Espessura [mm]	Probabilidade de Significância ($\alpha=0,05$)
<i>D</i>	3	0,43
	4	*
	5	0,91
	6	0,88
<i>E</i>	3	0,45
	4	0,88
	5	1,00
	6	**
<i>F</i>	3	0,02
	4	0,91
	5	0,28
	6	0,91

* Não foi possível porque só havia dois corpos-de-prova

** O fornecedor do material não dispunha da amostra.

Hipóteses:

H_0 : as variáveis seguem distribuição normal ($p > \alpha$)

H_1 : as variáveis não seguem distribuição normal ($p \leq \alpha$).

Apenas o material de densidade aparente *F* na espessura 3 mm não apresentou normalidade no nível de significância 0,05.

APÊNDICE M- Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para a variável coeficiente de restituição de energia, látex espumado de SBR

Densidade aparente	Espessura [mm]	Probabilidade de Significância ($\alpha=0,05$)
<i>D</i>	3	0,06
	4	0,07
	5	0,02
	6	0,37
<i>E</i>	3	0,09
	4	0,99
	5	0,72
	6	----
<i>F</i>	3	0,07
	4	0,29
	5	0,14
	6	0,64

Hipóteses:

H_0 : as variáveis seguem distribuição normal ($p>\alpha$)

H_1 : as variáveis não seguem distribuição normal ($p\leq\alpha$)

APÊNDICE N - Análise de variância ANOVA para a variável coeficiente de restituição de energia, para látex espumado de SBR com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm.

Densidade aparente	Probabilidade Significância ($\alpha=0,05$)
<i>E</i>	0,00
<i>F</i>	0,00

Hipóteses:

H_0 : as médias do C.R. são iguais, independentes da espessura do material ($\mu_1=\mu_2$), isto é $p>\alpha$, sendo $\alpha=0,05$.

H_1 : as médias do C.R. são diferentes, portanto dependentes da espessura do material ($\mu_1\neq\mu_2$), isto é $p\leq\alpha$.

Teste Post Hoc de Scheffé.

Comparações Múltiplas - Variável Dependente: C.R. x grupo Espessura			
Probabilidade de Significância			
Material		Densidade aparente <i>E</i>	Densidade aparente <i>F</i>
C.R. Médio 3mm	C.R. médio 4mm	0,00	0,99
	C.R. Médio 5mm	0,05	0,35
	C.R. médio 6mm	---	0,00
C.R. Médio 4mm	C.R. médio 5mm	0,00	0,52
	C.R. Médio 6mm	---	0,00
C.R. médio 5mm	C.R. médio 6mm	---	0,00

Teste U de Mann-Whitney para a variável coeficiente de restituição de energia, para látex espumado de SBR com diferentes espessuras.

Comparações Múltiplas - Variável Dependente: C.R. x grupo Espessura		
Probabilidade de Significância		
Material		Densidade aparente <i>D</i>
C.R. Médio 3mm	C.R. médio 4mm	0,01
	C.R. médio 5mm	0,01
	C.R. Médio 6mm	0,01
C.R. Médio 4mm	C.R. médio 5mm	0,01
	C.R. médio 6mm	0,01
C.R. médio 5mm	C.R. médio 6mm	0,60

APÊNDICE O - Teste U de Mann-Whitney para a variável coeficiente de restituição de energia, para látex espumado de SBR com diferentes densidades.

		Espessura [mm]			
C.R. médio	C.R. médio	3	4	5	6
Probabilidade de Significância					
<i>D</i>	<i>E</i>	0,12	0,01	0,01	---
	<i>F</i>	0,01	0,25	0,01	0,03
<i>E</i>	<i>F</i>	0,60	0,01	0,75	---

APÊNDICE P - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para histerese mecânica, Espuma de PU flexível

Densidade aparente	Espessura [mm]	Probabilidade de Significância ($\alpha=0,05$)
<i>G</i>	3	*
	4	0,32
	5	0,88
	6	0,83
<i>H</i>	3	0,85
	4	0,80
	5	0,41
	6	0,16

* O fornecedor do material não dispunha da amostra.

Hipóteses:

H_0 : as variáveis seguem distribuição normal ($p > \alpha$)

H_1 : as variáveis não seguem distribuição normal ($p \leq \alpha$)

APÊNDICE Q - Análise de variância ANOVA para espuma de PU flexível com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm

Densidade aparente	Probabilidade Significância ($\alpha=0,05$)
G	0,18
H	0,00

Hipóteses:

H_0 : as médias das histereses são iguais, independentes da espessura do material ($\mu_1=\mu_2$), isto é $p>\alpha$, sendo $\alpha=0,05$.

H_1 : as médias das histereses são diferentes, portanto dependentes da espessura do material ($\mu_1\neq\mu_2$), isto é $p\leq\alpha$.

Teste Post Hoc de Scheffé para espuma de PU flexível com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm.

Comparações Múltiplas - Variável Dependente: Histerese x grupo Espessura

Probabilidade de Significância		
Material		Densidade <i>H</i>
Histerese Média 3mm	Histerese média 4mm	0,52
	Histerese média 5mm	0,02
	Histerese média 6mm	0,00
Histerese Média 4mm	Histerese média 5mm	0,15
	Histerese média 6mm	0,00
Histerese média 5mm	Histerese média 6mm	0,10

APÊNDICE R -Teste t para dois grupos independentes

Teste t igualdade das médias - Variável Dependente: Histerese x grupo Densidade aparente Espessura [mm]

Histerese média	Histerese média	3	4	5	6
Probabilidade de Significância					
<i>G</i>	<i>H</i>	---	0,08	0,00	0,00

Hipóteses:

H_0 : as médias das histereses dos dois grupos independentes são iguais ($\mu_1=\mu_2$), isto é $p>\alpha$, sendo $\alpha=0,05$.

H_1 : as médias das histereses dos dois grupos independentes são diferentes ($\mu_1\neq\mu_2$), isto é $p\leq\alpha$

APÊNDICE S - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para o coeficiente de restituição de energia, espuma de PU flexível

Densidade aparente	Espessura [mm]	Probabilidade de Significância ($\alpha=0,05$)
<i>G</i>	3	-----
	4	0,70
	5	0,19
	6	0,12
<i>H</i>	3	0,09
	4	0,06
	5	0,06
	6	0,45

Hipóteses:

H_0 : as variáveis seguem distribuição normal ($p > \alpha$)

H_1 : as variáveis não seguem distribuição normal ($p \leq \alpha$)

APÊNDICE T - Análise de variância ANOVA para **para o** coeficiente de restituição de energia, espuma de PU flexível com diferentes espessuras

Densidade aparente	Probabilidade Significância ($\alpha=0,05$)
<i>G</i>	0,00
<i>H</i>	0,00

Hipóteses:

H_0 : as médias do C.R. são iguais, independentes da espessura do material ($\mu_1=\mu_2$), isto é $p>\alpha$, sendo $\alpha=0,05$.

H_1 : as médias do C.R. são diferentes, portanto dependentes da espessura do material ($\mu_1\neq\mu_2$), isto é $p\leq\alpha$.

Teste Post Hoc de Scheffé para o coeficiente de restituição de energia, espuma de PU flexível com diferentes espessuras.

Comparações Múltiplas - Variável Dependente: C.R. x grupo Espessura

		Probabilidade de Significância	
Material		Densidade <i>G</i>	Densidade <i>H</i>
C.R. Médio 3mm	C.R. médio 4mm	---	0,46
	C.R. médio 5mm	---	0,01
	C.R. médio 6mm	---	0,00
C.R. Médio 4mm	C.R. médio 5mm	0,10	0,23
	C.R. médio 6mm	0,00	0,06
C.R. médio 5mm	C.R. médio 6mm	0,09	0,87

APÊNDICE U -Teste t para o coeficiente de restituição de energia, espuma de PU flexível
com diferentes densidades

Teste t igualdade das médias - Variável Dependente: C.R. x grupo Densidade aparente
Espessura [mm]

C.R. médio	C.R. médio	3	4	5	6
Probabilidade de Significância					
<i>G</i>	<i>H</i>	---	0,03	0,04	0,00

Hipóteses:

H_0 : as médias dos C.R. dos dois grupos independentes são iguais ($\mu_1=\mu_2$), isto é $p>\alpha$, sendo $\alpha=0,05$.

H_1 : as médias dos C.R. dos dois grupos independentes são diferentes ($\mu_1\neq\mu_2$), isto é $p\leq\alpha$.

APÊNDICE V - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para a variável pico de pressão máximo, medida em materiais para palmilha de EVA expandido de diferentes espessuras e densidades aparentes.

Denominação da densidade aparente	Espessura nominal [mm]	Probabilidade de significância
A	3	0,14
	4	0,87
	5	0,23
	6	0,10
B	3	0,68
	4	0,85
	5	0,97
	6	0,83
C	3	0,43
	4	0,85
	5	0,10
	6	0,49

Hipóteses:

H_0 : as variáveis seguem distribuição normal ($p > \alpha$)

H_1 : as variáveis não seguem distribuição normal ($p \leq \alpha$)

APÊNDICE X - Análise de variância ANOVA para o Pico de Pressão plantar, EVA expandido com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm.

Densidade aparente	Probabilidade Significância ($\alpha=0,05$)
<i>A</i>	0,00
<i>B</i>	0,00
<i>C</i>	0,06

Hipóteses:

H_0 : as médias dos picos de pressão são iguais, independentemente da espessura do material ($\mu_1=\mu_2$), isto é $p>\alpha$

H_1 : as médias dos picos de pressão são diferentes, portanto dependentes da espessura do material ($\mu_1\neq\mu_2$), isto é $p\leq\alpha$.

Teste Post Hoc de Scheffé para o Pico de Pressão plantar, EVA expandido com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm

**Comparações Múltiplas - Variável Dependente: Pico de Pressão x grupo
Espessura**

		Probabilidade de Significância	
		Densidade aparente A	Densidade aparente B
P. Pressão média 3mm	P. Pressão média 4mm	0,00	1,00
	P. Pressão média 5mm	0,00	0,15
	P. Pressão média 6mm	0,00	0,00
P. Pressão média 4mm	P. Pressão média 5mm	0,11	0,19
	P. Pressão média 6mm	0,00	0,00
P. Pressão média 5mm	P. Pressão média 6mm	0,03	0,05

APÊNDICE Y - Análise de variância ANOVA para o Pico de Pressão plantar, EVA expandido com densidade aparente *A*, *B* e *C*.

Espessura [mm]	Probabilidade Significância ($\alpha=0,05$)
3	0,00
4	0,00
5	0,00
6	0,00

Hipóteses:

H_0 : as médias dos picos de pressão são iguais, independentemente da densidade aparente do material ($\mu_1=\mu_2$), isto é $p>\alpha$

H_1 : as médias dos picos de pressão são diferentes, portanto dependentes da densidade aparente do material ($\mu_1\neq\mu_2$), isto é $p\leq\alpha$.

Teste Post Hoc de Scheffé para o Pico de Pressão plantar, EVA expandido com diferentes densidades aparentes.

Comparações Múltiplas - Variável Dependente: Histerese x grupo Densidade aparente
Espessura [mm]

Histerese média	Histerese média	3	4	5	6
Probabilidade de Significância					
A	B	0,00	0,00	0,00	0,00
	C	0,0	0,00	0,00	0,00
B	C	0,00	0,00	0,00	0,00

APÊNDICE Z - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para a variável pico de pressão máximo, medida em materiais para palmilha de látex espumado de SBR de diferentes espessuras e densidades aparentes.

Densidade aparente	Espessura [mm]	Probabilidade de significância($\alpha=0,05$)
<i>D</i>	3	0,34
	4	0,70
	5	0,06
	6	0,27
<i>E</i>	3	0,58
	4	0,77
	5	0,20
	6*	-----
<i>F</i>	3	0,15
	4	0,03
	5	0,14
	6	0,71

* Não foi testado, porque não se dispunha do material nessa espessura.

Hipóteses:

H_0 : a variável segue distribuição normal ($p > \alpha$)

H_1 : as variáveis não seguem distribuição normal ($p \leq \alpha$)

APÊNDICE AA - Análise de variância ANOVA para o Pico de pressão Plantar, látex espumado de SBR com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm

Densidade aparente	Probabilidade Significância ($\alpha=0,05$)
<i>D</i>	0,00
<i>E</i>	0,00

Hipóteses:

H_0 : as médias dos picos de pressão são iguais, independentemente da espessura do material ($\mu_1=\mu_2$), isto é $p>\alpha$, sendo $\alpha=0,05$.

H_1 : as médias dos picos de pressão são diferentes, portanto dependentes da espessura do material ($\mu_1\neq\mu_2$), isto é $p\leq\alpha$.

Teste Post Hoc de Scheffé para o Pico de pressão Plantar, látex espumado de SBR com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm

Probabilidade de Significância			
Densidade aparente <i>D</i>		Densidade aparente <i>E</i>	
P. Pressão média 3mm	P. Pressão média 4mm		
		0,00	0,00
	P. Pressão média 5mm	0,00	0,00
	P. Pressão média 6mm	0,00	---
P. Pressão média 4mm	P. Pressão média 5mm	0,19	0,00
	P. Pressão média 6mm	0,00	---
P. Pressão média 5mm	P. Pressão média 6mm	0,00	---

APÊNDICE AB - Teste U de Mann-Whitney para o Pico de pressão Plantar, látex espumado de SBR com espessuras de 3, 4, 5 e 6 mm

Comparações Múltiplas - Variável Dependente: Pico de Pressão x grupo Densidade aparente
Espessura [mm]

Pico de Pressão média	Pico de Pressão média	3	4	5	6
Probabilidade de Significância					
<i>D</i>	<i>E</i>	0,75	0,08	0,00	---
	<i>F</i>	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>E</i>	<i>F</i>	0,00	0,00	0,04	---

APÊNDICE AC - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk para a variável pico de pressão máximo, medida em materiais para palmilha de espuma de PU flexível de diferentes espessuras e densidades aparentes.

Densidade aparente	Espessura [mm]	Probabilidade de significância($\alpha=0,05$)
<i>G</i>	3*	---
	4	0,41
	5	0,75
	6	0,56
<i>H</i>	3	0,67
	4	0,82
	5	0,97
	6	0,17

* Não foi testado, porque não se dispunha do material nessa espessura.

Hipóteses:

H_0 : a variável segue distribuição normal ($p > \alpha$)

H_1 : as variáveis não seguem distribuição normal ($p \leq \alpha$)

APÊNDICE AD - Análise de variância ANOVA para a variável pico de pressão máximo, medida em materiais para palmilha de espuma de PU flexível de diferentes espessuras.

Densidade aparente	Probabilidade Significância ($\alpha=0,05$)
<i>G</i>	0,00
<i>H</i>	0,00

Hipóteses:

H_0 : as médias dos picos de pressão são iguais, independentes da espessura do material ($\mu_1=\mu_2$), isto é $p>\alpha$, sendo $\alpha=0,05$.

H_1 : as médias dos picos de pressão são diferentes, portanto dependentes da espessura do material ($\mu_1\neq\mu_2$), isto é $p\leq\alpha$

Teste Post Hoc de Scheffé para a variável pico de pressão máximo, medida em materiais para palmilha de espuma de PU flexível de diferentes espessuras.

Probabilidade de Significância			
Densidade aparente <i>G</i>		Densidade aparente <i>H</i>	
P. Pressão média 3mm	P. Pressão média 4mm	---	0,05
	P. Pressão média 5mm	---	0,00
	P. Pressão média 6mm	---	0,00
P. Pressão média 4mm	P. Pressão média 5mm	0,00	0,86
	P. Pressão média 6mm	0,00	0,27
P. Pressão média 5mm	P. Pressão média 6mm	0,27	0,74

APÊNDICE AE -Teste t para a variável pico de pressão máximo, medida em materiais para palmilha de espuma de PU flexível de diferentes densidades.

Espessura [mm]

Pico de Pressão média	Pico de Pressão média	3	4	5	6
Probabilidade de Significância					
<i>G</i>	<i>H</i>	---	0,00	0,00	0,00

Hipóteses:

H_0 : as médias dos picos de pressão dos dois grupos independentes são iguais ($\mu_1=\mu_2$), isto é $p>\alpha$, sendo $\alpha=0,05$.

H_1 : as médias dos picos de pressão dos dois grupos independentes são diferentes ($\mu_1\neq\mu_2$), isto é $p\leq\alpha$.

ANEXO A – Lista de empresas encontradas com sistemas de análise de pressão plantar

FABRICANTE	PRODUTO	TECNOLOGIA	REFERENCIA	
			ESTUDO	AREA DE APLICAÇÃO
TEKSCAN	<i>Matscan</i>	Plataforma, matriz de sensores <i>FSRs</i> ;	[Menz, 2005]	Influência das características estruturais do pé na magnitude das forças e pressões plantares;
	<i>F-Scan</i>	Palmilhas, matriz de sensores <i>FSRs</i> ;	[Tsung, 2004]	Avaliação da efectividade de suportes plantares na redistribuição da pressão;
			[Dai, 2006]	Efeito da meia na resposta biomecânica do pé durante a marcha;
			[Cheung, 2005]	Efeito do tendão de Aquiles em pé;
			[Han, 1999]	Quantificação do percurso do centro de pressão com palmilhas <i>F-scan</i> ;
			[Garrow, 2005]	Análise das meias na redução das pressões plantares em pacientes com diabetes;
	<i>F-Mat</i>	Plataforma, matriz de sensores <i>FSRs</i> ;	[Wu, 2004]	Características do contacto com o solo durante a prática de <i>Tai Chi</i> ;
NOVEL	<i>Pedar</i>	Palmilhas, matriz de sensores capacitivos;	[Vasarhelyi, 2006]	Efectividade do suporte parcial do peso depois de cirurgias por fractura das extremidades inferiores;
			[Eils, 2004]	Características da distribuição da pressão plantar durante a prática de futebol;
			[Barnett, 2001]	Comparação da força vertical e parâmetros temporais medidos por palmilhas e plataforma de força;
			[Hodge, 1999]	Efectividade de suportes plantares na gestão da pressão plantar e das dores em sujeitos com artrite reumática (<i>rheumatoid arthritis</i>);
	<i>Emed</i>	Plataforma, matriz de sensores capacitivos;	[Knessl, 2005]	Forças de reacção sob o dedo maior do pé depois da implementação da prótese <i>TOEFIT-PLUS</i> ;
			[Taylor, 2004]	Efeitos da indução da insensibilidade plantar nas forças e pressões sob o pé durante a marcha;
			[Taylor, 2004b]	A influência da velocidade da marcha nas medições da pressão;
			[Bus, 2005]	Comparação do protocolo de 1 e mais passos na medição da pressão plantar nos diabéticos;
			[Rosenbaum, 2006]	Sensibilidade plantar, carga e dores durante a marcha de doentes com artrite reumática;
	<i>Mini-Emed</i>	Pedobarógrafo;	[Birtane, 2004]	Avaliação da distribuição plantar da pressão em adultos obesos e não obesos;
			[Nyska, 2006]	Distribuição de forças plantares durante a marcha de pacientes com instabilidade crónica do tornozelo;
RSSCAN	<i>Footscan Platform</i>	Plataforma, matriz de sensores capacitivos;	[Cock, 2005]	Características temporais da interface do pé com a superfície de apoio aquando da pratica de <i>jogging</i> ;
	<i>Footscan Insole</i>	Palmilhas, matriz de sensores capacitivos;	[Praet, 2003]	A influência do desenho do calçado nas pressões plantares em pés de doentes diabéticos;

Fonte: Sousa, Sofia S. e Tavares, J.M.R. S. Estudo de Soluções Comerciais para Análise Clínica da Pressão Plantar, 2006, p.17.

ANEXO A 1 – Lista de empresas encontradas com sistemas de análise de pressão plantar (cont.).

FABRICANTE	PRODUTO	TECNOLOGIA	REFERENCIA	
			ESTUDO	ÁREA DE APLICAÇÃO
<i>RSSCAN</i>	<i>Footscan Insole</i>	Palmilhas, matriz de sensores capacitivos;	[Viswanathan, 2004]	Efectividade de diferentes tipos de palmilhas para doentes diabéticos;
<i>PAROMED</i>	<i>Parotec</i>	Palmilhas, 24 hidrocélulas;	[Kenneth, 2000]	Validação concorrente do centro de pressão através do uso de palmilhas e de plataforma de força;
<i>ZEBRIS</i>	<i>FDM</i>	Plataforma, matriz de sensores capacitivos;	Não foi encontrado nenhum artigo onde este sistema fosse usado; Porém, foi citado em [Faivre, 2004];	
<i>HALM ELEKTRONIK</i>	<i>Cetis</i>	Palmilhas, 8 a 16 sensores piezocerâmicos;	Não foi encontrado nenhum artigo onde este sistema fosse usado; Porém, foi citado em [Kirtley, 1995; Rosenbaum, 1997; Messenger, 1997];	
<i>INFOTRONIC</i>	<i>CGD</i>	Palmilhas, 8 sensores capacitivos;	Não foi encontrado nenhum artigo onde este sistema fosse usado; Porém, foi citado em [Messenger, 1997; Rosenbaum, 1997];	
<i>PRESTON</i>	<i>Musgrave</i>	Plataforma, matriz de FSRs;	Não foi encontrado nenhum artigo onde este sistema fosse usado; Porém, foi citado em [Messenger, 1997; Marques, 2004];	
<i>GUY CAPRON</i>	<i>Eclipse</i>	Plataforma, matriz de sensores resistivos;	Não foi encontrado nenhum artigo onde este sistema fosse usado;	
<i>MEDILOGIC</i>	<i>Medilogic Systems</i>	Plataforma e palmilhas, matriz de sensores resistivos;	Não foi encontrado nenhum artigo onde este sistema fosse usado;	
<i>MEGASCAN</i>	<i>SCAN Systems</i>	Plataforma e palmilhas, matriz de sensores FSR;	Não foi encontrado nenhum artigo onde este sistema fosse usado;	
<i>FSA</i>	<i>FSA Foot</i>	Plataforma e palmilhas, matriz de sensores piezoresistivos;	Não foi encontrado nenhum artigo onde este sistema fosse usado;	
<i>ORTHOTIC GROUP</i>	<i>GaitScan</i>	Plataforma, matriz de sensores piezoeléctricos;	Não foi encontrado nenhum artigo onde este sistema fosse usado.	

Fonte: Sousa, Sofia S. e Tavares, J.M.R. S. Estudo de Soluções Comerciais para Análise Clínica da Pressão Plantar, 2006, p.18

ANEXO B – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos – CEP

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA EM SERES HUMANOS

Florianópolis, 15 de setembro 2005

Nº. de Referência 126/05

Aos pesquisadores Prof.^(a) Dr. Susana Cristina Domenech e Mestranda Wanderlei O. Gonsalez

Prezados (as) Senhores (as),

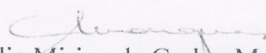
Analizamos o projeto de pesquisa intitulado “*Estudo das propriedades dinâmico-mecânicas e biomecânicas em materiais para sobrepalmilha de calçados de uso diário*” enviado previamente por V. S.^a. Desta forma, vimos por meio desta, comunicar que o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos tem como resultado a aprovação do referido projeto.

Este Comitê de Ética em Pesquisa segue as Normas e Diretrizes Regulamentadoras da Pesquisa Envolvendo Seres Humanos – Resolução CNS 196/96, criado para defender os interesses dos sujeitos da pesquisa em sua integridade e dignidade e para contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos.

Gostaria de salientar que quaisquer alterações do procedimento e metodologia que houver durante a realização do projeto em questão e, que envolva os indivíduos participantes, deverão ser informadas imediatamente ao Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos.

Duas vias do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido deverão ser assinadas pelo indivíduo pesquisado ou seu representante legal. Uma cópia deverá ser entregue ao indivíduo pesquisado e a outra deverá ser mantida pelos pesquisadores por um período de até cinco anos, sob sigilo.

Atenciosamente,


Cláudia Mirian de Godoy Marques
Presidente do CEP/UDESC

Av. Madre Benvenuta, 2007 – Itacorubi - Florianópolis – SC
88032-001 - Telefone/Fax (48) 231-1657

GLOSSÁRIO

- *Temperatura de Transição vítrea (T_g)*, [°C]– Transição térmica de segunda ordem, definida pelo valor médio da faixa de temperatura na qual o aquecimento de um material polimérico, partindo de uma temperatura muito baixa para valores mais altos, possibilita que as cadeias moleculares da fase amorfa tenham mobilidade, ou seja, ocorre mudança de conformação (CANEVAROLO Jr., 2002).
- *Temperatura de fusão cristalina (T_m)*, [°C] - Transição térmica de primeira ordem, definida pelo valor médio da faixa de temperatura na qual durante o aquecimento, desaparecem as regiões cristalinas com a fusão dos cristalitos (CANEVAROLO Jr., 2002).