

INFLUÊNCIA DO ENVELHECIMENTO NA RIGIDEZ DE SILICONE PARA USO EM PRÓTESES ORTOPÉDICAS DE PÉ

Larissa de Oliveira Pereira Fonseca, Universidade Federal, larissa.op.fonseca@gmail.com

Rhayssa H. Amante Moreira, Universidade Federal, rhayssa_amante@hotmail.com

Jayne Pereira de Gouvêa, Universidade Federal Fluminense, jpg@metal.eeimvr.uff.br

Resumo. O presente estudo buscou determinar a rigidez e a curva de força por deslocamento para corpos de prova fabricados em borracha de silicone e comparar os valores obtidos em três ensaios de compressão realizados em diferentes datas. Pode-se verificar que a rigidez aumentou de um ensaio para o outro e a relação entre força e deslocamento se tornou mais linear ao longo do tempo. Dessa maneira constatou-se que as propriedades da borracha de silicone mudam com o envelhecimento e que o tempo é uma variável que deve ser levada em conta durante o uso desse material. É possível utilizar esse material para a confecção de próteses de pé, uma vez que o pé humano é composto por regiões de diferentes coeficientes de rigidez e esses valores diferentes podem ser obtidos com as variações de envelhecimento.

Palavras chave: Prótese. Biomateriais. Biomecânica. Rigidez. Envelhecimento.

1. INTRODUÇÃO

A perda de um membro causa grandes mudanças na vida de uma pessoa e no dos indivíduos ao seu redor, assim como adaptações em suas residências e locais de trabalho. Buscando diminuir os impactos dessas mudanças e promover o bem-estar do indivíduo amputado, próteses podem ser colocadas para a substituição do membro perdido e o quanto mais próximo ela for do membro original, mas fácil é a adaptação e o convívio com ela.

Atualmente os polímeros tem ganhado cada vez mais espaço no meio dos biomateriais, sendo utilizado em próteses de pé para reabilitação ortopédica. O grande desafio é encontrar o material biologicamente mais adequado para cada indivíduo e que chegue o mais perto possível das características originais do organismo. E esta tarefa não é fácil. Determinar o biomaterial correto demanda um estudo profundo do indivíduo que necessita da prótese e qual será a principal finalidade, para prever os tipos de impacto e desgaste que estará submetido e o principal: se é o material mais adequado, para que o indivíduo possa aceitá-lo como parte do corpo, buscando minimizar o incômodo pelo uso da prótese.

2. OBJETIVO

Analisar a interferência do tempo de envelhecimento do silicone no valor da rigidez e na relação entre força e deslocamento.

Avaliar através dos resultados obtidos, se este material é viável para a utilização em próteses ortopédicas de pés.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

Foi utilizado borracha líquida de silicone azul, fabricada pela Redelease, lote 0417822 para a confecção dos corpos de prova cilíndricos, onde cada um deles possuía $29,0 \pm 0,5\text{mm}$ de diâmetro e $12,5 \pm 0,5\text{mm}$ de altura como mostra a Fig. (1).

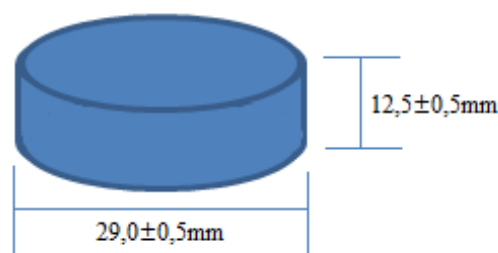


Figura 1. Dimensões do corpo de prova de silicone

Os moldes para o envazamento da borracha de silicone foram confeccionados em uma impressora 3D, para os corpos de prova tivessem as medidas determinadas na ISO 7744. Norma que determina métodos para realização de ensaios de compressão, a fim de obter propriedades de tensão-deformação de borrachas vulcanizadas ou termoplásticas. Os moldes prontos são conforme Fig. (2).



Figura 2. Moldes confeccionados na impressora 3D. (a) Vista superior. (b) Vista lateral

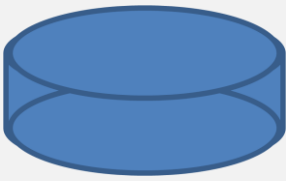
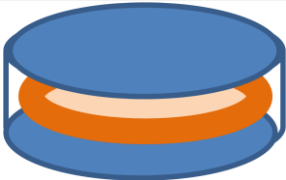
3.2. MÉTODOS

Os ensaios de compressão foram realizados no Laboratório de Mecânica Aplicada da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda em três datas diferentes para que pudesse ser analisado a variação da rigidez e a relação entre a força e o deslocamento em função do envelhecimento das amostras num intervalo de 33, 70 dias do primeiro ensaio.

Como informado na seção anterior, a norma utilizada no ensaio foi a ISO 7744 e a máquina utilizada foi a EMIC DL 20.000.

Foram confeccionados 5 corpos de prova e nomeados conforme Tab. (1).

Tabela 1. Nome, característica e representação dos corpos de prova

Corpo de prova	Características	Representação
1A	SILICONE PURO	
1B		
2A	SILICONE COM FIBRA DE CARBONO CIRCUNFERENCIAL + CENTRAL	
2B		
2C		

4. RESULTADOS

4.1. RELAÇÃO ENTRE FORÇA E DESLOCAMENTO

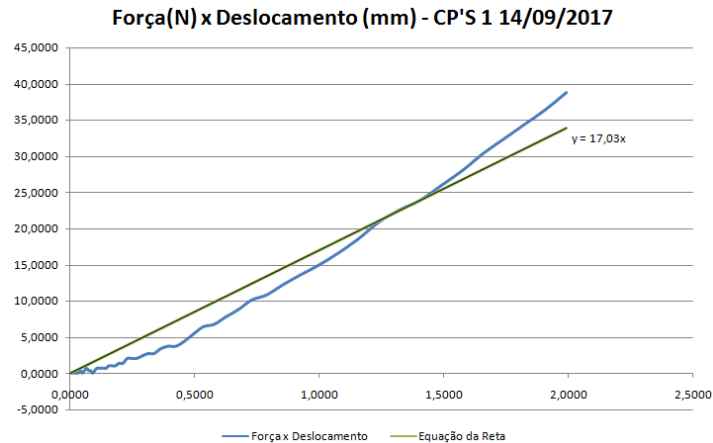
Após a obtenção do par ordenado (força; deslocamento) e refinamento, foi possível plotar um gráfico Força x Deslocamento para cada um dos cp's nas três datas que os ensaios foram realizados. Feito isso, ajustou-se a melhor reta que passa pelos pontos do gráfico considerando-se uma deformação inicial e força inicial igual a zero.

Desta maneira, a equação da reta genérica ajustada ficou da forma apresentada na eq. (1).

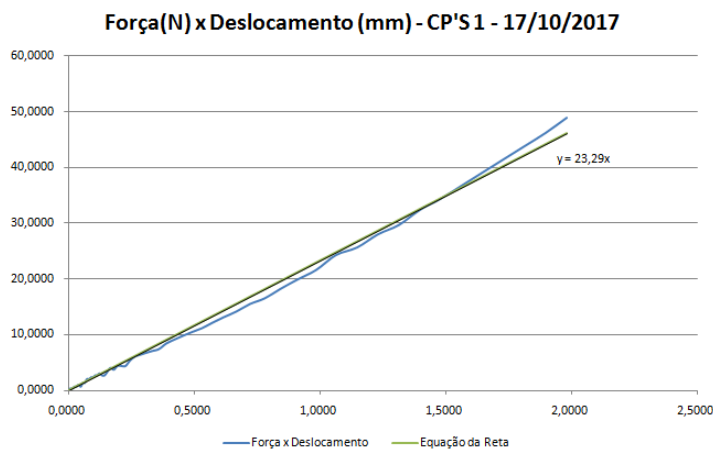
$$F = K x \quad (1)$$

Onde F é a força em cada ponto do ensaio e é dada em Newtons (N), K é a rigidez obtida através do coeficiente angular da reta e é dada em Newtons por milímetro (N/mm) e x é o deslocamento em cada ponto do ensaio dado em milímetros (mm).

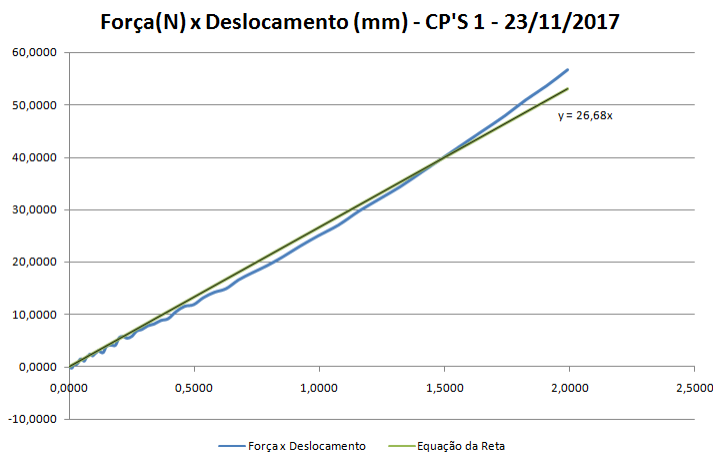
Na Figura (3) tem-se os gráficos da média aritmética para os corpos de prova 1A e 1B, juntamente com a equação da reta para as três datas.



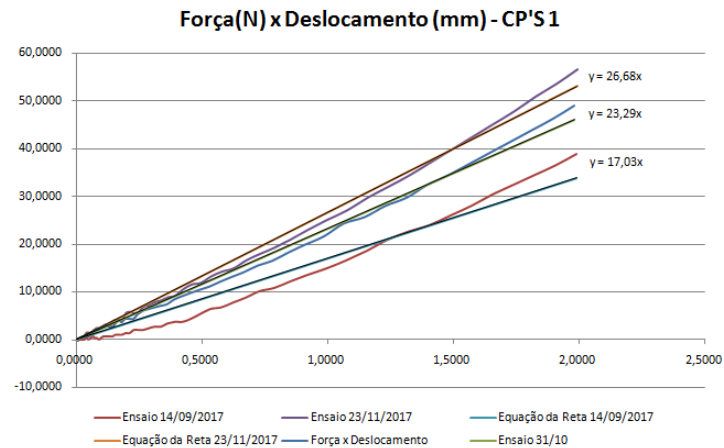
(a)



(b)



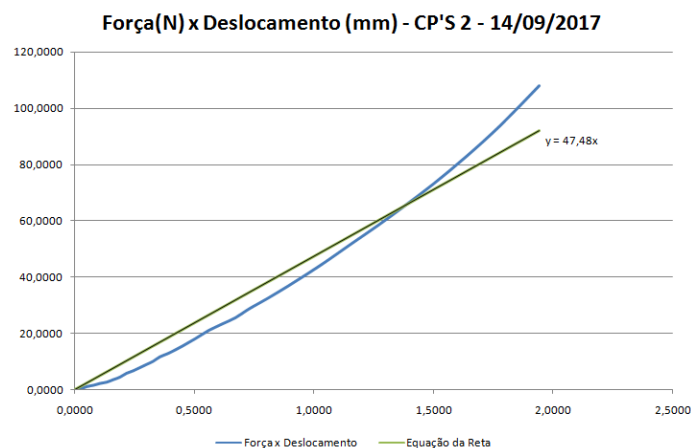
(c)



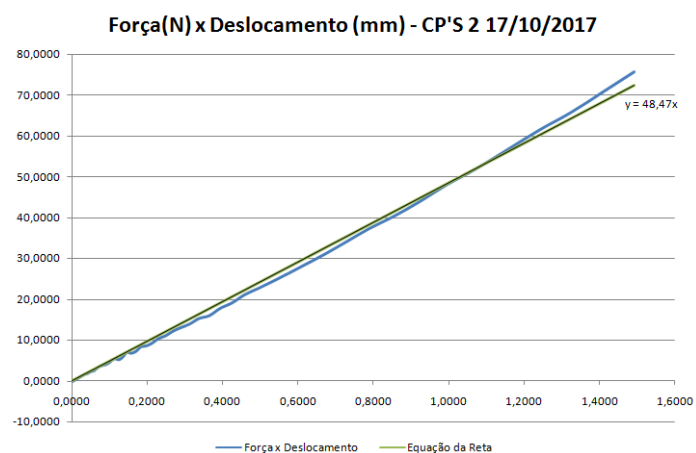
(d)

Figura 3. Média Corpos de prova 1 (a) Primeiro ensaio. (b) Segundo ensaio - 33 dias. (c) Terceiro ensaio - 70 dias. (d) Comparação dos três ensaios.

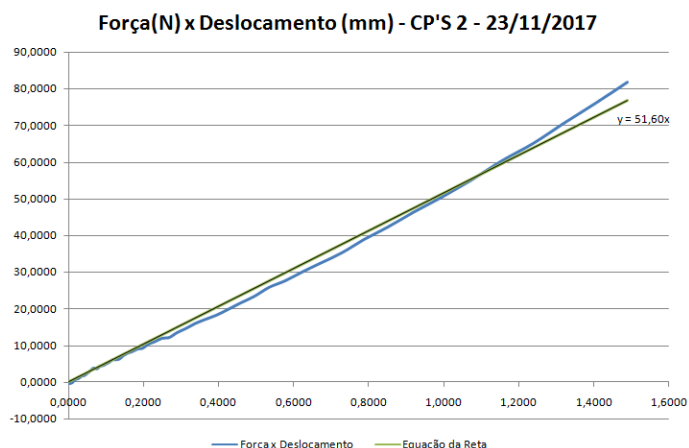
Na Figura (4) estão representados os gráficos, juntamente com a equação da reta, para a média aritmética dos corpos de prova 2 nas três datas de ensaio.



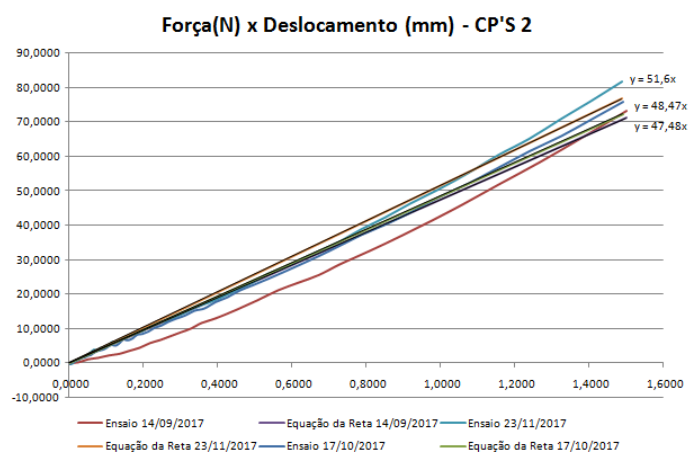
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4. Média Corpos de prova 2 (a) Primeiro ensaio. (b) Segundo ensaio - 33 dias. (c) Terceiro ensaio - 70 dias.
 (d) Comparação dos três ensaios.

4.2.RIGIDEZ AO LONGO DO TEMPO

Neste item será exposto o valor da rigidez para cada um dos corpos de prova, a média para os compostos apenas por borracha de silicone e com fibra de carbono circunferencial e central embebido em borracha de silicone. Também será comparado a diferença de rigidez provocada pelo envelhecimento do material.

A seguir, na Tab. (2) tem-se os valores de rigidez.

Tabela 2. Rigidez dos corpos de prova em cada ensaio

Ensaio 14/09/2017			Ensaio 17/10/2017		Ensaio 23/11/2017	
Média			Média		Média	
1A	14,99 N/mm	17,03 N/mm	21,66 N/mm	23,29 N/mm	27,50 N/mm	26,68 N/mm
1B	19,06 N/mm		24,91 N/mm		25,88 N/mm	
2A	40,60 N/mm		42,65 N/mm		41,43 N/mm	
2B	40,61 N/mm	47,48 N/mm	44,71 N/mm	48,47 N/mm	48,89 N/mm	51,60 N/mm
2C	61,29 N/mm		60,76 N/mm		73,00 N/mm	

Pode-se perceber o aumento da rigidez ao longo do tempo, e na Tab. (3) mostra o percentual que o corpo de prova ficou mais rígido em relação ao ensaio anterior.

Tabela 3. Percentual de aumento da rigidez

	Ensaio 17/10/2017		Ensaio 23/11/2017	
		Aumento Médio		Aumento Médio
1A	44,50%	37,60%	26,96%	15,42%
1B	30,70%		3,89%	
2A	5,05%	4,76%	-2,94%	8,85%
2B	10,10%		9,35%	
2C	-0,87%		20,14%	

5. CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos, pode-se verificar que o envelhecimento influencia tanto na relação entre a força e o deslocamento quanto na rigidez.

Dois efeitos puderam ser destacados, mesmo com pouco tempo de observação: os gráficos mostram que com o tempo, eles se tornam mais lineares e o coeficiente angular da reta, que é a rigidez, aumenta. Dessa maneira, conforme o material vai envelhecendo é necessário uma força maior para obter a mesma deformação na peça.

As tabelas com o valor da rigidez em cada ensaio e o percentual de aumento da mesma mostram valores relevantes para serem estudados, assim o tempo é uma variável que deve ser levado em conta para a utilização da borracha de silicone. Quando o material está puro, o aumento da rigidez é maior do que quando tem-se fibra de carbono, porém ainda sim os valores para ela nos primeiros ensaios com fibra de carbono é cerca de 78% maior do que o silicone puro. Portanto, o uso da fibra de carbono juntamente com essa borracha vale a pena ser estudada com mais detalhes.

Os ensaios realizados foram importantes para constatar o aumento da rigidez com o envelhecimento do material, fato que apenas com o tato já podia ser percebido e que chamou a atenção para o estudo mais aprofundado, a fim de constatar em números o que se podia verificar visualmente.

Também foi possível observar que nos corpos de prova com fibra de carbono, o efeito do envelhecimento foi menos sentido, uma vez que ele se dá apenas no silicone; a fibra de carbono não sofre influência do envelhecimento.

Por fim, é possível utilizar a borracha de silicone para confeccionar partes da prótese de um pé, uma vez que pode-se aumentar a rigidez com o tempo e com o uso da fibra de carbono. Nas regiões mais rígidas do pé humano, como no calcanhar, pode ser utilizado silicone com fibra de carbono e em regiões como o meio pé apenas borracha pura.

Buscando a prótese de um pé, o mais próximo possível de um pé humano, pode-se utilizar borrachas de silicone com diferentes tempos de envelhecimento para, dessa maneira, ter diferentes coeficientes de rigidez ao longo da prótese e assim, ser possível a aproximação com o pé.

Este estudo será continuado e mais ensaios serão realizados e os valores comparados, a fim de determinar uma linha de tendência para o aumento da rigidez e a linearização da relação entre força e deslocamento.

6. REFERÊNCIAS

- SILVESTRE FILHO, G.D.; SANTOS, N.C.; CHIERICE, G.O. Desenvolvimento de uma metodologia de fabricação para hastes de implante ortopédico em compósito polimérico. Em: Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, 1., Curitiba, 2001.
- COSER, E. **Caracterização da borracha de silicone utilizada em isoladores para rede elétrica**. 2009. Tese de Mestrado em Engenharia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais - PPGEM, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ISO - International Organization for Standardization. ISO 7744:2008(E) - Rubber, vulcanized or thermoplastic — Determination of compression stress-strain properties. Suíça, ISO, 2008.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores Larissa de Oliveira Pereira Fonseca, Rhayssa H. Amante Moreira e Jayme Pereira de Gouvêa são os responsáveis pela obtenção dos dados e pelas informações incluídas neste trabalho.



ENEBI 2018 – 6º Encontro Nacional de Engenharia Biomecânica
8 e 11 de maio de 2018, Águas de Lindóia - SP