



DINCON 2017

CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE DINÂMICA, CONTROLE E APLICAÇÕES
30 de outubro a 01 de novembro de 2017 – São José do Rio Preto/SP

Caracterização Compressiva de Elastômero Natural

Eng. Ludmila Evangelista dos Santos¹

Faculdade UnB Gama, UnB, Gama, DF

MSc. Danilo dos Santos Oliveira²

Laboratório de Processos de Fabricação, Faculdade UnB Gama, UnB, Gama, DF

MSc. José Henrique de Oliveira³

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, SENAI-DF, CFPRAS, Gama, DF

Dr^a. Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa⁴

Laboratórios de Engenharia & Inovação, Faculdade UnB Gama, UnB, Brasília, DF

Resumo. A utilização do látex (*Hevea Brasiliensis*) tem sido utilizado há décadas em aplicações industriais devido a sua propriedade mecânica e pesquisas recentes demonstram sua importância em aplicações biomédicas. Contudo, há pouca informação técnica sobre as características mecânicas do látex. Este estudo tem por objetivo realizar a caracterização do látex via testes mecânicos de natureza compressiva. Para realização dos testes compressivos foi adotado os procedimentos descritos na normas técnicas ASTM 395 e 575, foram fabricadas amostras de látex a temperaturas de 40°C, 60°C e 80°C, e com diferentes concentrações de água 0%, 20% e 40%, para a temperatura de 80°C. Os resultados demonstram que a deformação permanente deve valores contidos 11% e 22% e para o teste dinâmico foi necessário entre 750 – 1000 N para comprimir 50% da espessura de cada amostra.

Palavras-chave. Látex, Caracterização Compressiva, Resposta Elastoplástica

1 Introdução

O látex é obtido da seiva de árvores, portanto, é uma borracha natural. A espécie que se mostrou economicamente viável, para ser utilizado em processos de manufatura, foi o látex da seringueira (*Hevea Brasilienses*), nativa da Região Amazônica do Brasil, descoberta em meados do século XIX [5, 10].

¹ludmila.evangelista@hotmail.com

²danilosantos@unb.br

³jhenrique.unb@gmail.com

⁴suelia@unb.br

A borracha natural é um elastômero, que é caracterizado como sendo um material que quando há aplicação de força sobre a sua superfície, se deforma em até duas vezes a sua espessura inicial, e após cessada a força retorna rapidamente a sua forma original. Os elastômeros podem ser de origem natural ou sintéticos [5, 11].

A borracha natural pode e tem várias aplicações na indústria devido a ser um material viscoelástico, sendo um material ao mesmo tempo resistente e flexível. Outra característica inerente ao elastômero natural é a sua biocompatibilidade em animais e seres humanos, conforme apontam pesquisas recentes [1, 7, 10].

O látex vulcanizado por ser um material versátil e possuir custo de aquisição relativamente acessível do látex *in natura*, em média de R\$ 2/*Kg*, sendo o custo do produto aumentado com o beneficiamento. O beneficiamento é em geral o processo industrial de coagulação do látex ou centrifugação para produção de produtos industriais mais sensíveis [2], o qual é necessário pois, o látex é uma solução aquosa formada por macromoléculas, que ao ser retirado da árvore tem aspecto viscoso e propriedades mecânicas baixas [8, 10].

O produto beneficiado apresenta boa elasticidade e flexibilidade, resistência a abrasão que é sua resistência ao desgaste, boa impermeabilidade, pode ser feita a adesão em outro materiais e possui boa resistência a produtos químicos [3, 9].

Para utilizar o látex em equipamentos industriais em especial equipamentos biomédicos é importante conhecer as características do material, em especial a resposta compressiva do látex. Pode ser estudado e testado, utilizando, de normas técnicas internacionais, haja visto, que a ausência desse tipo de descrição de teste para borracha, pode trazer dificuldades para caracterização desse material, visto que, o entendimento equivocado da norma pode atrasar e aumentar custo no estudo [6, 7].

2 Propósito

O látex vulcanizado pode ser uma alternativa viável por ter custo baixo de aquisição. Entretanto, as suas propriedades mecânicas são desconhecidas ou difíceis de obter, em especial as compressivas. Logo, o trabalho pretende obter dados experimentais referentes a resposta mecânica compressiva do látex vulcanizado, fornecendo informações das características quando é submetido a esforços estáticos e dinâmicos.

3 Métodos

Os elastômeros foram modelados seguindo os procedimentos de fabricação estabelecidos nas normas da *American Society for Testing and Materials* (ASTM). As amostras foram confeccionadas em formato cilíndrico de espessura de $(12,5 \pm 0,5)mm$ e diâmetro de $(29,5 \pm 0,5)mm$. A usinagem foi realizada no Centro de Usinagem do Laboratório de Processos de Fabricação da Faculdade UnB Gama (FGA). Para fabricação das amostras foi utilizado um estufa digital para esterilização e secagem, uma seringa de 3 *ml*, uma forma, uma placa de aço lisa, um Becker de 50 *ml* e o látex Bi Centrifugado obtido na indústria nacional.

Regulou-se a temperatura da estufa para 80°C. Colocou-se 1 *ml* do látex nos 9 orifícios da forma, sendo acrescido 1 *ml* entre 30 e 40 minutos de secagem do látex dentro da estufa,

o processo demora cerca de 6 horas para obter-se as amostras nas dimensões de acordo com a norma ASTM 395. Aproveitando a condição de temperatura de 80°C da estufa, foram confeccionadas as amostras com adição de água no látex na proporção de 20% e posterior adição de 40% de água ao látex.

O procedimento experimental para a caracterização dos elastômeros naturais foi feito para determinar as suas respostas compressivas, quando submetidas à carga estática e dinâmica.

No teste de deformação permanente à compressão, as amostras permaneceram fixas no dispositivo desenvolvido, Fig. (1), por aproximadamente de 48 h. A metrologia da deformação permanente das amostras foram realizadas após 30 minutos de serem removidas do dispositivo, conforme exposto na norma ASTM 395.

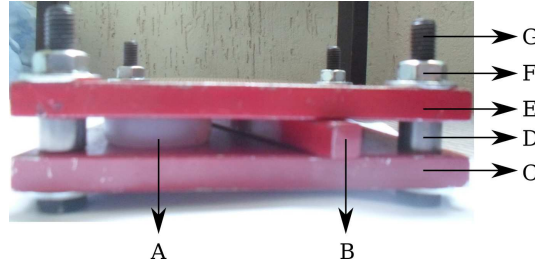


Figura 1: **Teste de deformação permanente à compressão** – Estão dispostos todos os dispositivos utilizados para o teste em: A) elastômero em teste, B) espaçador prismático, C) placa inferior, D) espaçador cilíndrico, E) placa superior, F) porca e G) parafuso. Fonte: Autoria própria.

A utilização do teste de deformação permanente à compressão quantifica em porcentagem qual foi a deformação plástica que amostra de látex teve, sendo calculada pela Eq. (1). Onde C_B representa o conjunto de compressão (método de ensaio B) expresso em porcentagem da deflexão original, t_o representa a espessura original da amostra, t_i representa espessura final da amostra e t_n representa a espessura do espaçador utilizado.

$$C_B = \frac{t_o - t_i}{t_o - t_n} \times 100 \quad (1)$$

Para se determinar o comportamento compressivo dinâmico foi feita a metodologia do teste dinâmico de compressão. O teste dinâmico de compressão foi realizado no Laboratório de Materiais da FGA, em máquina de ensaio de tração e compressão uniaxial *INSTRON 8801*, foi possível obter seu comportamento durante a compressão das amostras. Utilizou-se o Método de Ensaio A da norma ASTM 575. Com velocidade no atuador hidráulico de 20 mm/min , adotando o critério de parada quando ocorrer a redução da amostra em 50% da espessura inicial.

4 Resultados

Para o teste de deformação permanente à compressão foram utilizadas 3 amostras fabricadas a temperatura de 80°C sem adição de água, tendo 20% e 40% de água em sua composição. Foi testada a mesma quantidade de amostras para temperatura de 40°C e 60°C .

Na Fig. (2) é exposto a relação de deformação permanente em diferentes condições de vulcanização do látex, objetivando analisar a influência da temperatura e da adição de água nas amostras em estudo. Nos resultados apresentados na Fig.(2-a), observa-se um aumento da deformação permanente nas amostras em látex em relação ao acréscimo da temperatura. Pode-se notar que a amostra que apresenta menor taxa de deformação permanente é a amostra que foi vulcanizada a temperatura de 40°C e o aumento na taxa de deformação quando a temperatura do processo de vulcanização é elevada com incremento de 20°C até a temperatura de 80°C , observa-se uma resposta aproximadamente linear para os limites analisados.

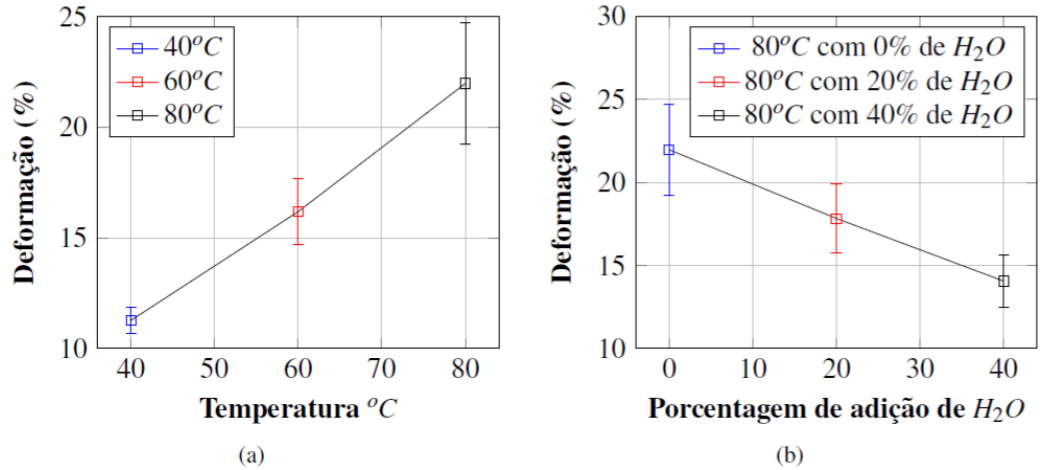


Figura 2: **Ensaio de deformação permanente à compressão dos elastômeros naturais.** Em a) temos a relação médias das deformações permanente a compressão e seus respectivos desvios padrões no látex vulcanizado sem adição de água à temperatura de 40°C , 60°C e 80°C e em b) temos a relação das médias das deformações permanentes à compressão e seus respectivos desvios padrões devido ao processo de vulcanização com adição de água de concentração de água de 0%, 20% e 40% para a temperatura de 80°C .

Nos resultados apresentados na Fig. (2-b) observa-se que a adição de água no látex, com temperatura constante de 80°C , ocasiona um decréscimo na deformação, ou seja, o processo de se adicionar água durante a vulcanização do látex pode reduzir os níveis de deformação permanente a compressão. A adição de água no processo de vulcanização foi analisado, pois pesquisas recentes adotam esta metodologia para aplicações biomédicas [1, 10]

Para complementar as análise de dados foi feita uma análise estatística, para o teste

de deformação permanente, para verificar se as amostras possuem valores médios de deformação iguais, ou se o processo de fabricação a qual foram submetidos trouxe diferenças para os valores médios das amostras. Foi utilizado a análise de variância de distribuição F de único fator e nível de significância padrão $\alpha = 0,05$, para determinar se as médias de deformação compressiva é igual para diferentes formas de fabricação das amostras de látex, hipóteses para análise descritas na Eq.(2). Para a conclusão da análise foi escolhido um novo teste, complementar, para verificar quais as amostras que apresentam diferenças, pois a análise do fator de variância é inconclusivo.

$$Hipotese \longrightarrow \begin{cases} H_0, & \mu_{80^\circ C} = \mu_{80^\circ C 20\%} = \mu_{80^\circ C 40\%} = \mu_{60^\circ C} = \mu_{40^\circ C} \\ H_1, & \mu_{80^\circ C} \neq \mu_{80^\circ C 20\%} \neq \mu_{80^\circ C 40\%} \neq \mu_{60^\circ C} \neq \mu_{40^\circ C} \end{cases} \quad (2)$$

Foi escolhido o teste de comparação de Tukey que é feita análise de comparação entre duas médias de grupos distintos, pois resulta em comparação de intervalo menores com bons resultados. A hipótese apresentada para o teste na Eq. (3), obtendo o valor de diferença mínima significativa considera na análise de 4,80.

$$Hipotese_{Tukey} \longrightarrow \begin{cases} |\overline{X}_a - \overline{X}_b| \geq d.m.s & \longrightarrow \mu_a \neq \mu_b \\ |\overline{X}_a - \overline{X}_b| < d.m.s & \longrightarrow \mu_a = \mu_b \end{cases} \quad (3)$$

A conclusão para o teste de Tukey das amostras analisadas, houve cinco grupos que possuem diferenças significativas entre si são as médias amostras $\mu_{(80^\circ C)} \neq \mu_{(80^\circ C-40\%)}$, $\mu_{(80^\circ C)} \neq \mu_{(60^\circ C)}$, $\mu_{(80^\circ C)} \neq \mu_{(40^\circ C)}$, $\mu_{(80^\circ C-20\%)} \neq \mu_{(40^\circ C)}$ e $\mu_{(60^\circ C)} \neq \mu_{(40^\circ C)}$. E cinco grupos que não apresentam diferenças significativas são as médias das amostras $\mu_{(80^\circ C)} = \mu_{(80^\circ C-20\%)}$, $\mu_{(80^\circ C-20\%)} = \mu_{(80^\circ C-40\%)}$, $\mu_{(80^\circ C-20\%)} = \mu_{(60^\circ C)}$, $\mu_{(80^\circ C-40\%)} = \mu_{(60^\circ C)}$ e $\mu_{(80^\circ C-40\%)} = \mu_{(40^\circ C)}$. Pela análise estatística a temperatura é um fator que pode influenciar, nos valores médios da deformação, quando submetidos ao teste de deformação permanente a compressão, assim como a inclusão de água no látex.

O estudo e análises feito do comportamento mecânico compressivo, estático e dinâmico, do látex não possui referência para comparação, pois foi uma provocação que surgiu do estudo [7], em que se analisou a resposta compressiva de três diferentes tipos de elastômeros sintéticos de dimensões variáveis.

O teste dinâmico de compressão foi realizado para analisarmos a resposta do elastômero natural quando submetido a um incremento de força em um determinado valor de deslocamento, sendo fixado um percentual de 50% de sua espessura inicial.

Com os resultados apresentados na Fig. (3-a), foi constatada uma semelhança no comportamento dinâmico das amostras que foram vulcanizadas a temperaturas distintas e sem adição de água. O comportamento dinâmico das amostra vulcanizadas com adição de água pode ser analisado na Fig. (3-b), observa-se que com a adição de água na amostra houve mudança na resposta compressiva, logo, adição de água altera a resposta compressiva dinâmica no látex, tendo uma resposta próxima dos valor das amostras que foram confeccionas a temperaturas distintas, ou seja, aparentemente a uma equivalência quando a amostra é produzida a temperatura diferentes com a amostra produzida com 40% de água.

Análogo ao teste de deformação permanente a compressão, foi feita para o teste de compressão dinâmica uma análise estatística de variância, de único fator, o da força apli-

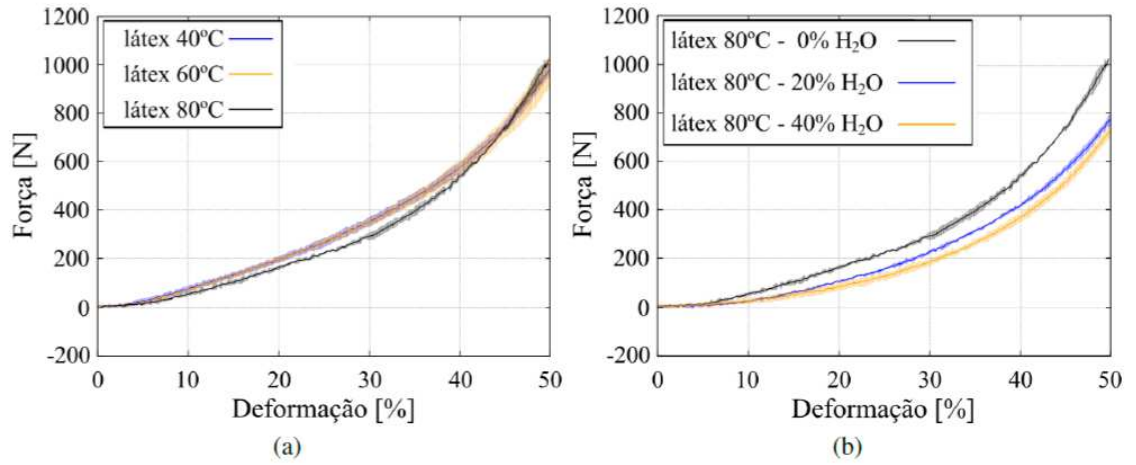


Figura 3: **Resposta a compressão com redução de 50% da espessura.** a) Médias e desvios padrões dos borracha natural com variação da temperatura de 40°C, 60°C e 80°C e sem adição de água. Médias e desvios padrões dos borracha natural com temperatura de 80°C e adição de água na proporção de 0%, 20% e 40%. Gráfico plotado no *software Matlab* versão estudante. Fonte: Autoria própria.

cada as amostras de látex, pois a deformação de 50% foi a mesma para todos os grupos verificados. Pelo teste de Tukey o valor da diferença mínima significativa calculado foi de 428.24, foi maior em todos os cálculos do módulo das médias em análise.

5 Conclusões

O teste de deformação permanente à compressão apresenta valores que estão na faixa de (11,5% – 24,5%) da espessura inicial. Os resultados apresentados evidenciam que as amostras de látex quando fabricado a temperatura maior, tende a ter menor deformação permanente e que o processo de adição de água durante a vulcanização também pode reduzir a deformação permanente. Análise estatística proporcionou uma melhor análise dos dados e foi possível perceber as diferenças que a temperatura e adição da água podem influenciar no resultado do teste de deformação permanente a compressão.

No teste de dinâmico de compressão os elastômeros naturais apresentam como resposta um comportamento aproximadamente quadrático. Pela análise estatística, os valores de média analisados são iguais para todos os grupos, independente do procedimento de fabricação das amostras, ou seja, no teste dinâmico a força aplicada se comporta do mesmo modo nos diferentes grupos.

As informações do comportamento compressivo mecânico do látex é relevante para subsidiar estudos para aplicação do látex na indústrias, em especial, em equipamentos biomédicos, pois o látex é um material que tem potencial para substituir os materiais clássicos como o madeira, cerâmica, vidro e metal.

Referências

- [1] Alves J., Ribeiro R. and Fleury S. S. R. , Characterization of Natural Latex Membranes: A Proposal for Amblyopia Treatment, IEEE Latin America Transactions, IEEE, vol. 14, 3534–3539, (2016).
- [2] Associação Paulista de Produtores e Beneficiadores de Borracha, <http://www.apabor.org.br/sitio/index.php>
- [3] Cal B. R. C., Valdés B. F. G., García E. A. and Blanco. R. A., Vulcanized elastomers assessment [Evaluación de elastómeros vulcanizados], Afinidad, vol. 69, 131-136, Scopus, (2012).
- [4] Cossa M. M., Sirqueira A. S. and Soares B. G., Desenvolvimento de elastômeros termoplásticos vulcanizados (TPV) a base de polipropileno com resíduo de pneu. I - Planejamento fatorial de experimentos, Polimeros, 190-195, vol. 19, Scopus, (2009).
- [5] Mano E. B. , Polímeros como materiais de engenharia, Editora BLUCHER, (2007), DOI: 85-212-0060-9.
- [6] Mano E. B., Química Experimental de Polímeros, Editora BLUCHER, (2004), DOI: 85-212-0347-0.
- [7] Oliveira J. H., Proposta de Amortecimento Adaptável Para Muleta Canadense, Faculdade UnB Gama, Brasília, Universidade de Brasília, Junho, (2017).
- [8] Puszka A. and Kultys A., New thermoplastic polyurethane elastomers based on aliphatic diisocyanate, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, vol. 128, 1, 407–416, (2017), DOI: 10.1007/s10973-016-5923-7.
- [9] Rogulska M., Kultys A. and Pikus, The effect of chain extender structure on the properties of new thermoplastic poly(carbonate–urethane)s derived from MDI, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, vol. 127, 3, 2325–2339, issn:1588-2926, (2017), DOI:10.1007/s10973-016-5756-4.
- [10] Rosa S. S. R. F., Desenvolvimento de um sistema de controle de fluxo esofagiano para o tratamento da obesidade, Universidade de Brasília faculdade de tecnologia departamento de engenharia elétrica, 121 , Universidade de Brasília, Distrito Federal - Brasil, (2009).
- [11] Santos L. E., Caracterização compressiva de elastômeros: Avaliação Experimental e Modelagem matemática, Brasília: UnB, 64 p., (2017).