

# CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL E NUMÉRICA DO GRAU DE COMPRESSIBILIDADE EM ELASTÔMEROS

André Guilherme Cintra Vilela<sup>1</sup>, Prof.<sup>a</sup> Debora Francisco Lalo<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup> Departamento de Engenharia Mecânica, Centro Universitário FEI  
 andregecv@outlook.com<sup>1</sup>, dflalo@fei.edu.br<sup>2</sup>

**Resumo:** Este trabalho tem como objetivo a análise e o estudo da caracterização de elastômeros através de ensaios mecânicos para a definição do grau de compressibilidade da borracha dependente dos parâmetros viscoelásticos. Um modelo de simulação também será implementado computacionalmente através da combinação do comportamento hiperelástico e viscoelástico obtidos através dos ensaios experimentais.

## 1. Introdução

Os elastômeros são materiais de grande importância, tanto do ponto de vista tecnológico, como comercial. Existem vários aspectos que explicam o sucesso destes materiais, sendo de destacar: a elevada elasticidade e capacidade de deformação que possuem, o baixo desperdício de matéria prima associado à sua produção, por serem obtidos na sua forma final, e ainda a sua presença em grande parcela dos setores de atividade automotiva, aeroespacial, construção civil, medicina entre outros<sup>[1]</sup>.

A propriedade mais notável dos elastômeros é a sua capacidade de experimentar grandes deformações sob pequenas cargas e retornar a configuração inicial sem considerável deformação permanente após a remoção da carga<sup>[2]</sup>.

Seu comportamento de tensão-deformação é não-linear e o módulo de elasticidade não é suficiente para caracterizar estas deformações. Portanto, a caracterização do comportamento de elastômeros é de grande importância<sup>[3]</sup>.

Os materiais conhecidos como hiperelásticos, como os elastômeros, são descritos através da função energia de deformação  $W$ , que define a energia elástica armazenada pela unidade de volume não deformado, em função dos três invariantes  $I_1, I_2$  e  $I_3$ .<sup>[2]</sup>

$$W = f(I_1, I_2, I_3) \quad (1)$$

Onde:

$$\begin{aligned} I_1 &= \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \\ I_2 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2 \\ I_3 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Sendo  $\lambda_1, \lambda_2$ , e  $\lambda_3$  as razões de elasticidade principais<sup>[2]</sup>.

A função da energia de deformação pode ser dividida em duas parcelas, sendo a primeira responsável pela incompressibilidade do material e a segunda pela compressibilidade<sup>[4]</sup>.

Pode-se dividir os materiais hiperelásticos em dois tipos de modelos, cada um definindo a função de energia de deformação de maneira diferente. Os modelos fenomenológicos que tratam o problema do ponto de vista da mecânica do continuum e do

comportamento da tensão-deformação, é caracterizado sem referência à estrutura microscópica. O outro modelo são fisicamente motivados e que consideram a resposta do material do ponto de vista da microestrutura<sup>[2]</sup>.

Os modelos hiperelásticos que são comumente usados em pacotes computacionais de elementos finitos para a caracterização dos elastômeros são os denominados: Mooney-Rivlin, Polinomial, Neo-Hookeano, Ogden, Yeoh, Van Der Waals e Arruda-Boyce<sup>[2]</sup>.

A viscoelasticidade é o fenômeno pelo qual os elastômeros, e os polímeros em geral, apresentam tanto características de um sólido como as de um fluido. Os parâmetros que representam este fenômeno podem ser obtidos em função do tempo, frequência ou temperatura. Desta forma, técnicas de ensaio de fluência e/ou relaxação no domínio do tempo, bem como a análise dinâmico-mecânica tem sido largamente empregada na caracterização deste fenômeno<sup>[1]</sup>.

Um parâmetro fundamental para a caracterização do comportamento mecânico de um material é o coeficiente de Poisson, que está atrelado ao seu grau de compressibilidade. Em geral, o coeficiente de Poisson pode ser dado pela relação entre os módulos de cisalhamento e volumétrico.

As equações constitutivas no domínio do tempo de um material viscoelástico incluem este histórico de deformações, sendo que o esforço, o deslocamento, a taxa de deformação e o tempo de aplicação da carga na amostra são parâmetros necessários para determinar as constantes nas equações constitutivas. Os modelos viscoelásticos mais conhecidos são chamados de Kelvin, Maxwell, Voigt, Kelvin-Voigt<sup>[5]</sup>.

Com determinados ensaios mecânicos, é possível obter fatores relacionados ao desempenho do material, como o módulo de armazenamento, o módulo de perda e o fator de perda. Uma forma comum para estas equações tem o aspecto de uma série de Prony, como a função de relaxação  $Y$  em função da constante de retardo temporal  $\tau_i$  e a constante de Prony  $p_i$ <sup>[5]</sup>.

$$Y(t) = E_0 \cdot \left( 1 - \sum_{i=1}^n p_i \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau_i}} \right) \right) \quad (3)$$

## 2. Metodologia

Serão utilizados corpos de provas de borracha natural como objeto de análise referentes aos ensaios de relaxação e fluência. Os mesmos foram fornecidos pela empresa Vibtech e os ensaios serão realizados em um equipamento eletromecânico de bancada com coluna dupla (Instron 5567), no laboratório do Centro Universitário FEI. Os métodos de ensaio mecânico serão programados através do software Bluehill.

Será realizado também o teste de compressão volumétrica para a verificação do grau de compressibilidade da borracha e, para tanto, será necessário a confecção de um dispositivo para o alojamento do corpo de prova para o teste.

Com os dados obtidos através dos ensaios mecânicos, serão utilizados modelos hiperelásticos e viscoelásticos implementados no software de simulação computacional via método dos elementos finitos (Abaqus), visando a análise das tensões e deformações dos corpos de prova, gerando resultados que serão avaliados em relação aos resultados experimentais. Para a simulação via MEF, foi desenvolvido um modelo virtual do dispositivo de compressão volumétrica junto com o corpo de prova para realizar a pré-calibração de dados, conforme ensaios pesquisados na bibliografia. O modelo do corpo de prova desenvolvido foi gerado em uma malha de elementos hexaédricos com formulação híbrida.

### 3. Resultados

A figura 1 representa o modelo desenvolvido para a confecção do dispositivo volumétrico. Ele foi idealizado para ser composto por três partes fundamentais, separado em punção superior (elemento 1), bucha guia (elemento 2) e base (elemento 3), onde a bucha e a base serão fixadas por parafusos do tipo Allen M10x40 mm (elemento 4).

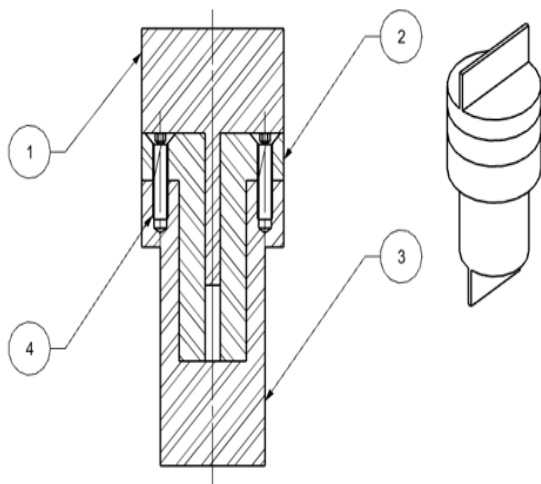


Figura 1 – Dispositivo de confinamento do corpo de prova para ensaio de compressão volumétrica.

A figura 2 representa as curvas obtidas através da simulação pelo MEF para cada modelo hiperelástico constitutivo, para a calibração do modelo do ensaio de compressão volumétrica com dados obtidos a partir da literatura referenciada.

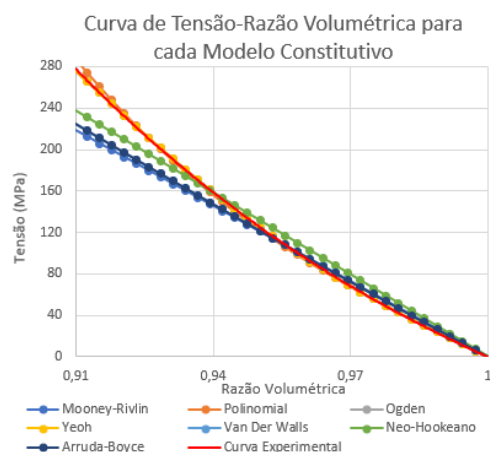


Figura 2 – Gráfico de tensão-razão volumétrica obtido através da análise via MEF para os modelos.

### 4. Conclusões

O dispositivo volumétrico foi projetado para reduzir em 50% o comprimento do corpo de prova no ensaio volumétrico. Os desenhos referentes ao dispositivo foram realizados e o dispositivo está na fase de espera para ser confeccionado.

Com o modelo de elementos finitos pré-calibrado, observou-se que o mais recomendável é a utilização dos modelos hiperelásticos como Ogden, Yeoh e Polinomial para descrever o comportamento do elastômero a partir de ensaios de compressão volumétrica. O modelo que apresentou melhor aproximação foi o de Ogden com um erro de 1,27%.

Este projeto encontra-se na fase inicial, onde o próximo passo será, após a confecção do dispositivo de ensaio volumétrico, a aquisição de dados via ensaios em laboratório para a validação do modelo proposto através do MEF para, assim, efetuar a caracterização viscoelástica bem como definir o grau de compressibilidade do elastômero.

### 5. Referências

- [1] ROQUE, M. R. Análise Teórica e Experimental de Elastômeros. Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2007.
- [2] SHAZAD, M.; KAMRAN, A.; SIDDIQUI, M. Z.; FARHAN, M.; Mechanical Characterization and FE Modelling of a Hyperelastic Material. Materials Research, 2015.
- [3] BRINSON, H. Polymer Engineering Science and Viscoelasticity: an introduction. Evanston: Springer Verlag, 2008.
- [4] ALI, Aidy; HOSSEINI, M.; SAHARI, B. B. A review of constitutive models for rubber-like materials. American Journal of Engineering and Applied Sciences, v.3, n.1, p. 232-239, 2010.
- [5] CHEN, Tzikang; Determining a Prony Series for Viscoelastic Material from Time Varying Strain Data. NASA, 2000.

### Agradecimentos

Ao Centro Universitário FEI pela utilização dos recursos necessários ao desenvolvimento deste projeto.

<sup>1</sup> Aluno de IC do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 08/19 a 06/20.