

Introdução aos conceitos de mecânica dos fluidos e de reologia em produtos do cotidiano

Introduction to the concepts of fluid mechanics and rheology in everyday products

¹ Paulo Henrique de Lima Silva phlimasilva@gmail.com

¹ Unicarioca - Centro Universitário Carioca / Prof. Assistente.

Resumo

Muitas vezes, tenta-se simplificar a realidade por meio de modelos que, em determinado momento ou exemplo, se aplicam quase perfeitamente. Todavia, uma gama de produtos comuns não faz parte desse universo que podem ser simplificados, pois respondem de maneira diferente às solicitações empregadas. Assim, este artigo visa relacionar os conceitos básicos de mecânica dos fluidos e reologia em quatro produtos do cotidiano das pessoas: óleo mineral, ketchup, maionese e pasta de dentes. Inicialmente será apresentada uma revisão da literatura e, a partir desta revisão, serão apresentadas as curvas de escoamento para todos os produtos e, adicionalmente, uma varredura de tensão para a pasta de dentes, para evidenciar suas propriedades materiais. Do mesmo modo, o estudo das propriedades materiais de tais produtos se faz necessário para o dimensionamento de máquinas e equipamentos, predizendo comportamentos que irão nortear uma determinada condição de utilização, seu escoamento em tubulações, possibilidade de sedimentação, entre outras possibilidades.

Palavras-chave

Mecânica dos fluidos. Fluidos newtonianos. Fluidos não-Newtonianos. Reologia.

Abstract

Attempts are often made to simplify reality by means of models that, at a given moment or example, apply almost perfectly. However, a range of common products are not part of this universe which can be simplified because they respond differently to the used requests. Thus, this article aims to relate the basic concepts of fluid mechanics and rheology in four products of daily life: mineral oil, ketchup, mayonnaise and toothpaste. Initially a literature review will be presented and from this review, the flow curves for all the products, and additionally a stress sweep for the toothpaste to evidence its material properties will also be presented. Likewise, the study of the material properties of such products is necessary for the sizing of machines and equipment, predicting behaviors that will guide a certain condition of use, its flow in pipes, and possibility of sedimentation, among other possibilities.

Keywords

Fluid mechanics. Newtonian fluids. Non-Newtonian fluids. Rheology.

Como você deve citar?

SILVA, Paulo Henrique de Lima . Introdução aos conceitos de mecânica dos fluidos e de reologia em produtos do cotidiano. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, n. 37, p. 33-44, ago. 2018.

1 INTRODUÇÃO

Grande parte dos produtos utilizados no cotidiano estão inclusos num universo desconhecido para a maioria das pessoas. De uma maneira geral, utiliza-se diariamente pasta de dentes, shampoo, hidratante, tintas, gel para cabelo, entre tantos outros, sem se perceber que o comportamento mecânico desses produtos pode ser tão complexo quanto se queira estudá-lo.

Basta analisar ligeiramente a pasta de dentes, algo que é muito usado em sociedades modernas (MEZGER, 2015). Não é desejado uma pasta de dentes muito mole, sem firmeza, pois, ao se colocar a pasta de dentes na escova de dentes, esse fluido escorrerá antes de chegar a boca. Por outro lado, a pasta de dentes não pode ser muito rígida ou muito firme, porque, ao se iniciar uma escovação, a mesma pode ferir as gengivas. Assim, algo simples como a pasta de dentes deve ter características singulares de acordo com o momento de sua aplicação (ARDAKANI *et al.*, 2011).

A mecânica dos fluidos e a reologia não são apenas temas de interesse para os engenheiros, mas também para profissionais de outras esferas que estudam suas leis e as aplicam nos respectivos processos envolvidos. Por exemplo, um médico deve ter noção de que a pressão do sangue escoando nas veias e artérias afeta diretamente na velocidade desse sangue, já que ele é formado por estruturas diversas (hemácias, leucócitos, plaquetas, etc.), tornando esse processo de predição do escoamento muito mais desafiador e difícil.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Inicialmente alguns conceitos fundamentais precisam ser abordados, sendo os mais relevantes detalhados abaixo. São eles:

- Fluido – segundo Fox *et al.* (2014, pág. 5), "um fluido é uma substância que se deforma continuamente sob a aplicação de uma tensão de cisalhamento, não importando o quão pequeno seja o seu valor."
- Deformação - nenhum material é perfeitamente rígido. Quando submetidos a uma força externa, eles mudam de tamanho e forma. Essa alteração na forma ou tamanho do corpo é definida como deformação. Todos os materiais (aço, concreto, madeira e outros materiais) deformam-se em certa medida sob forças aplicadas, mas as deformações são geralmente pequenas demais para serem detectadas visualmente (BEER *et al.*, 2005).
- Mecânica dos Fluidos – "é o estudo dos fluidos em movimento (dinâmica dos fluidos) ou em repouso (estática dos fluidos)" (WHITE, 2011, pág. 14).
- Fluido Newtoniano – são fluidos que possuem uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento, ou seja, em sistemas dentro do regime laminar apresentam valor de viscosidade apenas dependente da temperatura e pressão (MACHADO, 2002).
- Reologia – "é a ciência da deformação e escoamento" (MEZGER, 2006, p.16).
- Tensão Cisalhante – "é a força tangencial por unidade de área" (BRUNETTI, 2008, p. 3).
- Material viscoelástico – são materiais que retornam, em grande parte, à sua forma original depois que as forças aplicadas externamente são removidas (mostrando uma resposta elás-

tica), mas a recuperação parcial ou total de suas deformações não é instantânea e ocorre ao longo do tempo mensurável (apresentando uma resposta viscosa) (NIKLAS, 1992).

Diante das definições apresentadas acima pode-se concluir que, quando um fluido é submetido a uma tensão cisalhante ele vai se desfigurar de acordo com determinados parâmetros. Tal alteração pode colocá-lo em movimento ou simplesmente deformá-lo. Logo, esse comportamento como um todo vai ser estudado pela Reologia. Voltando ao caso da pasta de dentes, o comportamento mecânico altamente dependente das condições de aplicação, pode ser mais bem delineado pela aplicação do conhecimento dessa ciência.

A reologia pode ser aplicada para o desenvolvimento de produtos farmacêuticos (cremes, pomadas, loções, suspensões, etc.), para estudo de fluidos complexos como o petróleo, ou até mesmo no estudo da circulação sanguínea nos vasos, veias e artérias. Sua importância está diretamente relacionada à elaboração de equipamentos e técnicas de previsão de produção e qualidade dos produtos, pois seria indesejável comprar uma pomada que não se fixasse no local, ou, ao se pintar uma parede, a tinta escorresse toda para o chão.

Ante ao exposto, muitos profissionais de diferentes áreas de atuação necessitam de conhecimentos básicos dessa ciência, a reologia, para aplicar no seu dia a dia, para a fabricação de seus produtos e/ou previsão do comportamento mecânico sob dadas circunstâncias, com qualidade, economicidade e segurança.

2.1 Fluido não-Newtoniano

A Lei da viscosidade de Newton descreve uma classe de fluidos que apresentam uma relação direta entre a taxa de cisalhamento e a tensão cisalhante imposta no próprio fluido (CHHABRA, 2010), denominados não-Newtonianos, e são apresentados na Gráfico 1.

Lei da Viscosidade de Newton (FOX *et al.*, 2014,):

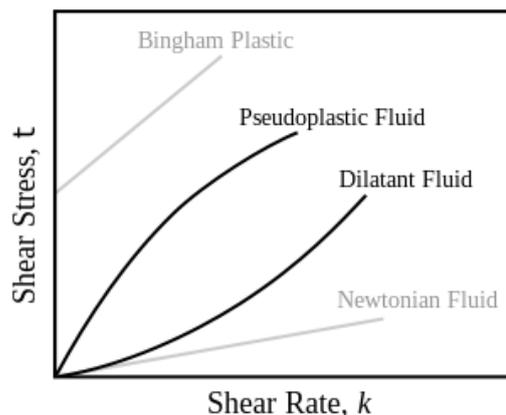
$$\tau = \eta \, du/dy \quad (\text{eq. 1})$$

Onde: τ – tensão cisalhante

η – viscosidade

du/dy – taxa de deformação ($\dot{\gamma}$)

Gráfico 1 - Classificação dos fluidos.



Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:non-Newtonian_fluid.svg

Fluidos que apresentam comportamento diferente dos apresentados pela Lei da Viscosidade de Newton são classificados como fluidos não-Newtonianos, tendo sua viscosidade alterada em função da taxa de deformação imposta sobre eles, ou seja, o comportamento não é linear nas condições impostas. Os mais comuns são fluidos pseudoplásticos e dilatantes, os quais os valores de viscosidade diminuem e aumentam conforme a taxa de cisalhamento aumenta, respectivamente (FERREIRA *et al.*, 2005).

Outros tipos de fluidos não-Newtonianos necessitam de um valor inicial de tensão, uma tensão finita conhecida como tensão limite de escoamento ou, em inglês, *yield stress*, para que ocorra deformação, como, por exemplo, os materiais denominados plásticos de Bingham. A tensão limite de escoamento pode ser definida como a tensão a partir da qual um material se comporta como um líquido com viscosidade plástica e abaixo da qual se comporta como um sólido elástico (BRITISH STANDARD 5168, 1975).

Uma expressão simples e muito utilizada para caracterizar os fluidos não-Newtonianos é a expressão encontrada no modelo de fluido de potência desenvolvido empiricamente por Ostwald e Waele (BARNES *et al.*, 2000) abaixo descrita:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (\text{eq. 2})$$

No modelo apresentado acima temos que τ é a tensão de cisalhamento, k é o índice de consistência, n é o índice de potência e $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação.

2.2 Reologia

A reologia como ciência apareceu no início do século XX, aplicada ao estudo das deformações e do escoamento dos materiais. A origem do nome vem da base grega *rheos* (fluir) e *logos* (estudo) (MACOSCO, 1994). Ao ser aplicada uma força sobre o material, este responde de maneira singular, podendo a sua resposta a tal solicitação representar uma deformação ou escoamento. Assim, a reologia estuda os padrões de respostas desses materiais e, a partir de modelos elaborados na literatura ou empiricamente, é capaz de prever seu comportamento.

Apesar de terem características diferentes, os sólidos e os fluidos fazem parte do escopo de estudo dessa ciência, mas cada qual tem como resposta uma propriedade específica. Para materiais

sólidos, o interesse é pela sua elasticidade, enquanto para os fluidos, o objetivo é estudar a viscosidade (CASTRO *et al.*, 2001).

2.3 Curvas de escoamento

A viscosidade de um material pode variar de acordo com a taxa à qual esse material é cisalhado. Desse modo, fornece informação importante sobre o comportamento durante seu processamento, por exemplo. Isso pode ser importante na produção, na distribuição e no bombeamento do produto que será sujeito a uma variedade de taxas de cisalhamento, como o caso do petróleo. A variação da viscosidade, ou tensão, em função da taxa de cisalhamento dá origem à curva de escoamento (BRAMLEY, 2016).

Por outro lado, o comportamento a baixas taxas de cisalhamento pode estar relacionado às condições de armazenamento dos materiais: sedimentação, separação de fases e retenção da estrutura. Assim, um único ponto de informação sobre viscosidade do material não traduz com segurança todo o espectro de taxas de cisalhamento.

Os materiais podem comportar-se da mesma forma numa extremidade da curva de escoamento, mas podem mostrar uma diferença dramática na outra, o que se relaciona com diferenças estruturais nesses materiais (TA INSTRUMENTS, 2016).

2.4 Varredura de Tensão

Em geral, as características reológicas de um material viscoelástico são independentes da deformação até uma determinada tensão. Além desse ponto, o comportamento do material não é linear e o módulo de armazenamento diminui. Assim, medir a dependência da amplitude de deformação dos módulos de armazenamento e perda (G' , G'') é o primeiro passo para caracterizar o comportamento viscoelástico. Uma varredura de deformação estabelecerá a extensão da linearidade do material (TA INSTRUMENTS, 2016).

3 MATERIAIS E MÉTODO

A seguir, serão enunciados os materiais utilizados neste estudo, assim como o método adotado para selecionar os fluidos, escolher a geometria e executar os testes.

3.1 Materiais

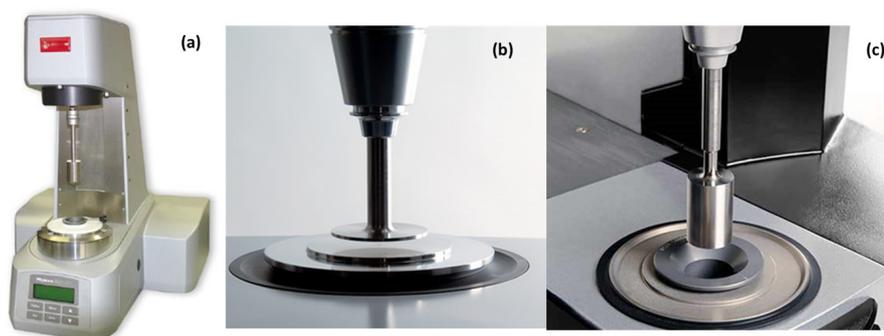
Como citado anteriormente, foram utilizados os seguintes materiais:

- I - Óleo Mineral – líquido oleoso, transparente, incolor, inodoro ou quase inodoro, produzido por UNIÃO QUÍMICA FARMACÊUTICA NACIONAL S/A.
- II - *Ketchup* – líquido aquoso, avermelhado, odor adocicado, produzido por Hellmann's tradicional, embalagem com 380g.
- III - Maionese – líquido pastoso, cândido, odor característico de uma emulsão base óleo, produzida por Hellmann's®, embalagem regular com 500g.
- IV - Pasta de dentes – fluido estruturado, branco com listras azuis e verdes, odor mentolado, produzida por Colgate®, do tipo Tripla Ação®, embalagem com 90g.

Os testes foram realizados em equipamentos do laboratório de Reologia da PUC-Rio. Para a análise das propriedades reológicas os reômetros utilizados foram: Physica MCR301 (Fig. 2) e Physica MCR501, ambos da Anton Paar.

Um reômetro é um dispositivo laboratorial usado para medir a maneira pela qual um líquido, suspensão ou dispersão flui em resposta às forças aplicadas. É utilizado para os fluidos que não podem ser definidos por um único valor de viscosidade e, portanto, exigem mais parâmetros a serem definidos e medidos (INNOVATEUS, 2013).

Figura 1 – (a) reômetro e exemplo de geometrias: (b) placas paralelas, (c) cilindros concêntricos.



Fonte: <https://www.malvern.com/br/products>

3.2 Método

O método para a execução dos testes seguiu as etapas descritas abaixo:

- I - Seleção dos fluidos – óleo mineral, maionese, *ketchup* e pasta de dentes, todos os produtos de marcas facilmente encontradas em estabelecimentos comerciais.
- II - Seleção da geometria – de acordo com as características dos fluidos a serem estudados, as geometrias selecionadas foram as de placas paralelas, cilindros concêntricos e placas ranhuradas.
- III - Os testes executados - curvas de escoamento para todos os fluidos e varredura de tensão para a pasta de dentes. As taxas de cisalhamento utilizadas foram de $0,01\text{s}^{-1}$ a 100s^{-1} para a pasta de dentes e *ketchup*; 1s^{-1} a 100s^{-1} para o óleo mineral; e $0,0001\text{s}^{-1}$ a 100s^{-1} , para a maionese. A varredura de tensão para a pasta de dentes foi executada entre 0,01Pa e 100Pa.
- IV - A geometria de cilindros concêntricos apresenta um espaçamento pré-determinado, enquanto a distância entre as placas utilizadas foi de 1mm. Exemplos dessas geometrias podem ser visos na Figura 1.
- V - O óleo mineral foi transferido para a geometria de cilindros concêntricos com o auxílio de uma seringa plástica descartável de 20ml, sendo a quantidade especificada para o teste de 19ml, enquanto foram utilizados 3,5ml para a maionese, o *ketchup* e a pasta de dentes usados na geometria de placas paralelas.

VI - Após a colocação dos fluidos, foi esperado 30min para estabilização das temperaturas envolvidas nos testes, no caso, 20°C para o óleo mineral, maionese e pasta de dentes e 24°C para o ketchup.

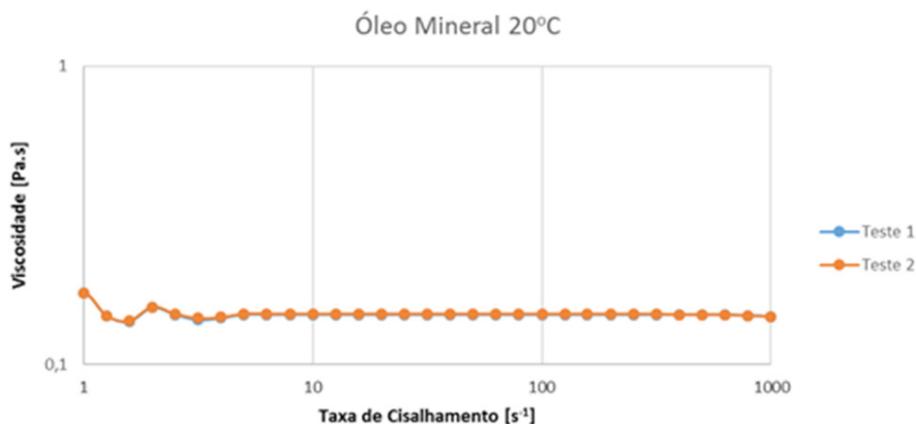
Os fluidos foram selecionados pela utilização habitual das pessoas e facilidade de encontrá-los nos estabelecimentos comerciais. Segundo Mezger, (2015), a escolha da geometria se dá por alguns fatores relacionados ao fluido que se deseja estudar, dentre eles: viscosidade, se tem partículas suspensas, densidade, quantidade de amostra disponível, base água ou base óleo, etc.

Quando o fluido apresenta uma viscosidade muito baixa, a geometria mais indicada é a de cilindros concêntricos (couette), onde o fluido terá uma maior área de contato com a geometria, implicando numa maior sensibilidade. Todavia, alguns cuidados devem ser tomados como, por exemplo, fluidos que sedimentam ou com partículas podem interferir nos resultados (MEZGER, 2015). Por outro lado, tal dificuldade não é encontrada na geometria de placas paralelas e placas ranhuradas, mas para tais geometrias, deve ser aplicada uma correção, visto que a taxa de cisalhamento não é constante em toda a geometria (MEZGER, 2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão apresentados os testes nos fluidos anteriormente descritos. Inicialmente, serão apresentados resultados do óleo mineral e posteriormente os demais.

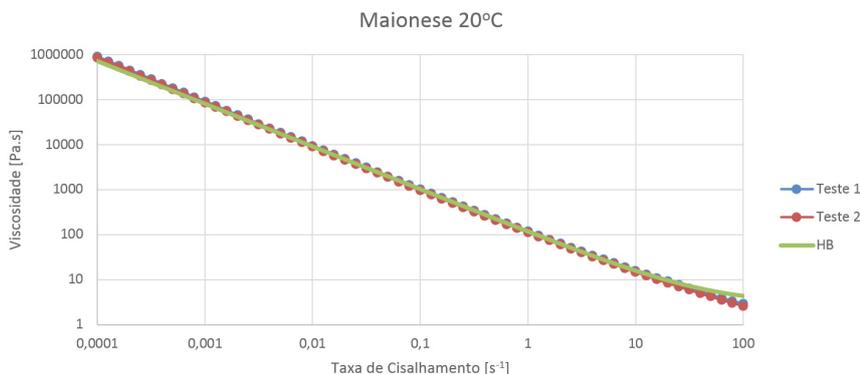
Gráfico 2 - curva de escoamento do óleo mineral a 20°C.



Fonte: autor (2017).

Como pode ser visto no gráfico da Gráfico 2, a viscosidade não se altera com o aumento da taxa de cisalhamento, evidenciando que o óleo mineral é um fluido newtoniano, em outras palavras, o valor da viscosidade é constante, para uma dada temperatura. Os testes foram realizados na geometria couette. No início dos testes (abaixo de 5s⁻¹), as medidas ficaram instáveis devido à sensibilidade do equipamento em baixas rotações, ainda pela baixa viscosidade do óleo mineral a 20°C. Como a tensão é proporcional a taxa de cisalhamento, a resposta do equipamento fica em função dessa última, prejudicando as medidas (MEZGER, 2015).

Gráfico 3 - curva de escoamento para a maionese a 20°C.



Fonte: autor (2017).

As respostas da maionese às tensões impostas não são de um fluido que segue a lei da viscosidade de Newton (Gráfico 3), portanto, a maionese é um fluido não-Newtoniano. Os testes foram executados com a geometria de placas paralelas com ranhuras. Outra observação importante para a maionese é a de que o modelo proposto para fazer um ajuste de curva é o modelo de Herschel-Buckley (HB). Tal modelo pode ser encontrado em Bird *et al.* (1983), e é descrito pela Equação 3:

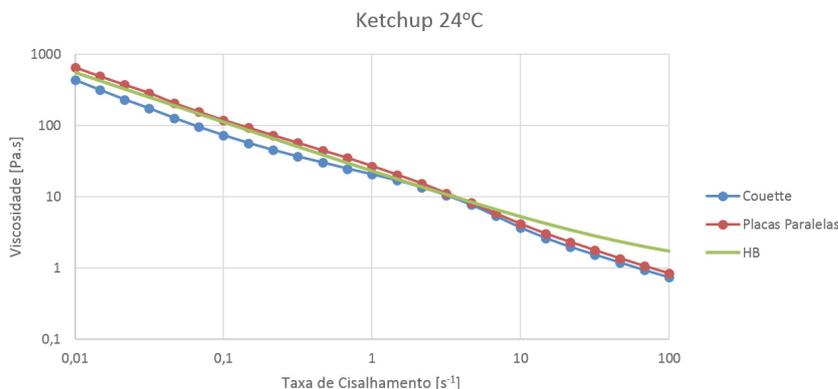
$$\tau = \tau_y + K\dot{\gamma}^n \quad (\text{eq.3})$$

Onde τ_y é a tensão limite de escoamento, e os demais termos são semelhantes ao modelo de Fluido de Potência, ou seja, k é o índice de consistência, n é o índice de potência e $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação.

Muitos trabalhos na literatura evidenciam tal comportamento da maionese como fluido não-newtoniano, podendo-se citar, entre outros: Ma e Barbosa-Cánovas (1995), Tabilo-Munizaga e Barbosa-Cánovas (2005) e Gerami *et al.* (2012), que também mostram um ajuste pelo modelo de Herschel-Buckley, com outros parâmetros, pois se tratava de uma outra amostra de maionese e de outras concentrações dos materiais constituintes nas amostras.

Neste trabalho foram encontrados os seguintes valores para τ_y , k e n , respectivamente: 89 Pa; 116,08 Pa.sⁿ; -0,948.

Gráfico 4 - curva de escoamento para o ketchup a 24°C.

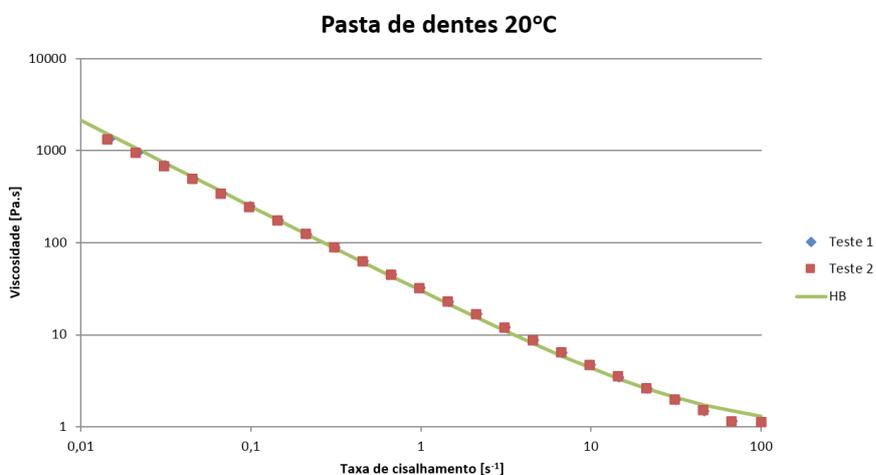


Fonte: autor (2017).

O Gráfico 4 exibe a curva de escoamento para o ketchup, onde foram utilizadas as geometrias de placas paralelas e couette. Todos os testes foram executados a 24°C. Apesar dos testes divergirem levemente a baixas taxas de cisalhamento (taxas menores ou iguais a $1,0s^{-1}$), as curvas apresentaram uma boa concordância. Efeitos de bordas para ajustar os resultados expressos pela geometria de placas não foram computados, pois a taxa de cisalhamento ao longo da placa não é constante. Como o estudo objetiva uma introdução a esses conceitos, mostrando suas aplicabilidades, essa correção não foi executada e pode ser encontrada em Macosco (1994).

Novamente o modelo utilizado para fazer o ajuste de curvas foi de Herschel-Bulkley, onde $\eta_0 = 0,833 \text{ Pa}\cdot\text{s}$; $k = 22 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$; $n = -0,7$. Um estudo feito por Juszcak *et. al.* (2013) testa diferentes amidos comerciais na composição do *ketchup*, obtendo a mesma equação constitutiva do modelo Herschel-Bulkley para modelar o comportamento de tais amostras, diferindo nos valores de τ_y , k e n , justamente por estarem interessados nas variações dos parâmetros reológicos com as mudanças na composição química.

Gráfico 5 - curva de escoamento para a pasta de dentes a 20°C.

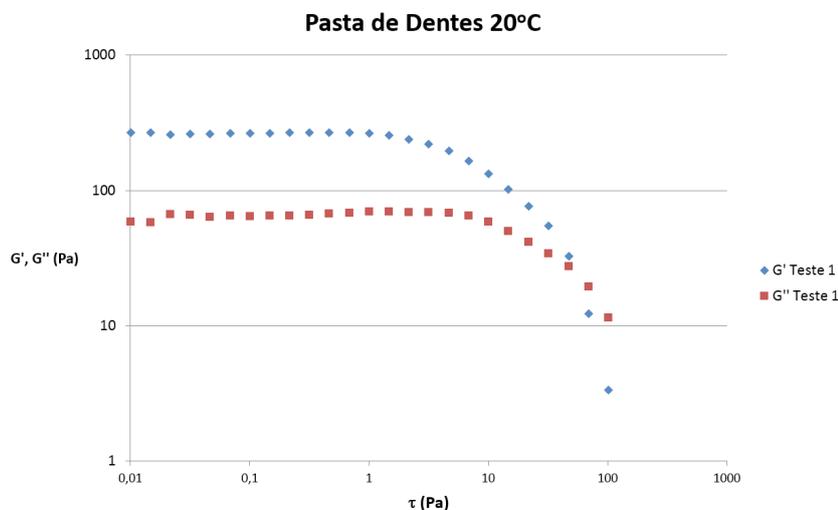


Fonte: autor (2017).

Os testes para a pasta de dentes (Gráfico 5) foram realizados na geometria de placas paralelas ranhuradas, uma vez que o fluido em questão pode apresentar deslizamentos em baixas taxas de cisalhamento. Nos testes, foi mantida a temperatura de 20°C, onde os resultados foram muito satisfatórios, apresentando uma boa reprodução, apesar de ser um fluido complexo de se trabalhar, pois sua estrutura se modifica muito rapidamente, quando entra em contato com o ar ambiente, mais objetivamente, a pasta de dentes resseca rapidamente.

Também para a pasta de dentes o modelo de ajuste de curva foi o Herschel-Bulkley, tendo como parâmetros: $\eta_0 = 0,9 \text{ Pa}\cdot\text{s}$; $k = 29,3 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$; $n = -0,93$.

Gráfico 6 - varredura de tensão para pasta de dentes a 20oC.



Fonte: autor (2017).

Como se pode ver no Gráfico 6, para o teste de varredura de tensão para a pasta de dentes, existe uma região onde o material em questão se comporta como um sólido e, a partir de um determinado valor, o material escoar. O teste inicia com uma tensão bem baixa, 0,01 Pa, onde o material se comporta como um sólido, onde o módulo elástico do material (G') é maior do que o módulo viscoso (G''). No decorrer do teste, a tensão vai aumentando gradativamente, até que, quando atinge um valor próximo a 69 Pa, os módulos elástico e viscoso invertem, mostrando que o material começa a escoar. É justamente a região entre 0,01 Pa e 69 Pa, descrita inicialmente, onde a pasta de dentes se comporta como sólido.

O teste de varredura de tensão serve para mostrar, além de um indicativo da tensão limite de escoamento, uma característica do material ter um comportamento viscoso e elástico ao mesmo tempo, ou seja, com esse tipo de teste pode-se distinguir esse material da classe dos fluidos puramente viscosos ou dos sólidos puramente elásticos, um tipo de material complexo que exige um estudo mais aprofundado de suas propriedades materiais.

Os testes apresentados mostraram uma boa concordância com resultados encontrados pela literatura, mas são singulares na descrição do comportamento mecânico desses materiais em um único estudo, mostrando que a aplicação conjunta de conceitos referentes à mecânica dos fluidos e reologia são fundamentais no momento de aplicações práticas, quando tais materiais são utilizados no dia-a-dia ou nos seus processos de fabricação.

5 CONCLUSÃO

A reologia se faz necessária para uma análise mais completa de fluidos complexos que não seguem a Lei de Newton para a viscosidade (fluidos não-Newtonianos), uma vez que alguns parâmetros (viscosidade, módulo elástico e módulo viscoso) do produto variam conforme a taxa de cisalhamento imposta. O *ketchup*, a maionese e a pasta de dentes são exemplos de fluidos não-Newtonianos apresentados neste trabalho que fazem parte do cotidiano de muitas pessoas e de diversas organizações que os fabricam.

Sem uma análise mais apurada e completa das condições em que esses produtos transitam no processo produtivo, pode não haver rentabilidade do investimento desejada ou até mesmo comprometer toda a instalação. As curvas de escoamento servem para definir o comportamento do material que se tem e como eles reagem a uma determinada situação imposta, em complemento à varredura de tensão, mostrando se o material possui elasticidade ou uma tensão necessária para que se comece o escoamento.

Portanto, essas organizações precisam aprofundar suas análises para entender o comportamento mecânico por completo, visando dimensionar máquinas e equipamentos, embalagens e condições de utilização. A reologia cumpre o seu papel para que esse detalhamento faça a diferença nos dias atuais, em que consumidores são mais exigentes e informados com relação aos produtos que adquirem.

REFERÊNCIAS

- ARDAKANI, H. A. *et al.* **Thixotropic flow of toothpaste through extrusion dies**. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics 166 (2011) 1262–1271.
- BARNES, H. A. **A Handbook of Elementary Rheology**. Aberystwyth, University of Wales, Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics. 200p. 2000.
- BEER, F. P. *et al.* **Mechanics of Materials**. SI Metric Edition. 4th Edition. The McGraw Hill Companies. 2005.
- BIRD, R.B. *et. al.* **The rheology and flow of viscoplastic materials**. Rev. Chem. Eng., 1 (1983) 1-70.
- BRAMLEY A. **Flow Stress, Flow Curve**. The International Academy for Produ, Laperrière L., Reinhart G. (eds) CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg, 2016.
- BRITISH STANDARD 5168. **Glossary of Rheological Term**. 1975.
- BRUNETTI, FRANCO. **Mecânica dos Fluidos**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
- CASTRO, A. G.; COVAS, J. A.; DIOGO, A. C. **Reologia e Suas Aplicações Industriais**. 1.ed. Ciência e Técnica (Instituto Piaget). Lisboa, Portugal. 462 p. 2001.
- CHHABRA, R.P. **Non-Newtonian fluids: An introduction**. Rheology of Complex Fluids, Springer New York, 2010; 3–34.
- FERREIRA, E. E. *et. al.* **Reologia de suspensões minerais: uma revisão**. Revista da Escola de Minas de Ouro Preto. v.58. Ouro Preto. 2005, p. 83-87.

FOX, ROBERT W. *et. al.* **Introdução à mecânica dos fluidos**. 8a Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

GERAMI, A *et. al.* **Rheological Properties of Low Fat Mayonnaise with Different Levels of Modified Wheat Bran**. *Journal of Food Biosciences and Technology*, 2 (2012) 27-34.

INNOVATEUS. **What is a Rheometer?** 2013. Disponível em: <http://www.innovateus.net/science/what-rheometer>. Acesso em: 27 jun. 2017.

JUSZCZAK, L. **Effect of Modified Starches on Rheological Properties of Ketchup**. *Food Bioprocess Technology*, 6. 2013 1251–1260.

MA, L; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Rheological Characterization of Mayonnaise. Part II: Flow and Viscoelastic Properties at Different Oil and Xanthan Gum Concentrations**. *Journal of Food Engineering* 25. 1995, 409-425.

MACHADO, J. C.V. **Reologia e escoamento de fluidos, ênfase na indústria do petróleo**. 1.^a ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2002.

MACOSCO, C.W. **Rheology: principles, measurements and applications**. WILEY-VCH Publishers. New York. 568p. 1994.

MEZGER, T. G. **Applied Rheology**. 1st edition. Anton Paar GmgH. Austria. 191p. 2015.

MEZGER, T. G. **The Rheology Handbook: For users of rotacional and oscillatory rheometers**. 2nd ed.: Coatings Compendia. 298p. Hannover. 2006.

NIKLAS, KARL J. **Plant Biomechanics: An Engineering Approach to Plant Form and Function**. University of Chicago. Press: 1 edition.1992

TA INSTRUMENTS. **Understanding Rheology of Structured Fluids**. AAN016. 11p. 2016. Disponível em: http://www.tainstruments.com/pdf/literature/AAN016_V1_U_StructFluids.pdf. Acesso em: 02 maio 2017.

TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. **Rheology for the food industry**. *Journal of Food Engineering*, 67 (2005) 147–156.

WHITE, FRANK M. **Mecânica dos Fluidos**. 6. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.