

CONSTRUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE UM VISCOSÍMETRO DIDÁTICO PARA UTILIZAÇÃO EM AULAS DE MECÂNICA DOS FLUÍDOS

Jasiel Batista Santos Junior¹ ; José Carlos Ferreira²

¹ Aluno regular do curso de Processos de Fabricação Mecânica da FATEC-SO

² Prof. Dr. do Curso de Processos de Fabricação Mecânica da FATEC-SO

Resumo

O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver e calibrar um protótipo de viscosímetro didático para uso em aulas práticas de mecânica dos fluidos. A metodologia foi baseada nos parâmetros propostos em [1] e [2]. As operações de usinagem foram feitas nas oficinas mecânica da Fatec-So, sendo que o corpo principal do viscosímetro foi feito em alumínio e as demais partes, em aço. Para aumentar a versatilidade do viscosímetro foi introduzida uma inovação, com a possibilidade de alternância nos furos padrões - SS Saybolt e SS Furol para ensaios com óleos lubrificantes automotivos. Foram realizados testes com os óleos lubrificantes: SAE-50; SAE-30 e SAE-40, respectivamente nos intervalos de temperaturas: (29°C; 27°C; 24°C; 22°C e 19°C); (27°C; 24°C; 17°C; 14°C e 13°C) e (27°C; 23°C; 12°C e 8°C). Os resultados obtidos para a viscosidade em cada caso mostraram coerência com os valores encontrados na literatura, indicando que o protótipo pode ser utilizado em aulas práticas.

1. Introdução

Atualmente na Fatec-So, os ensaios de laboratório para determinar coeficientes de viscosidade de fluidos, vêm sendo feitos com viscosímetros de coluna líquida, baseados no equilíbrio vetorial entre a reação de Stokes, o empuxo e o peso de esferas de aço em queda livre. Contudo, esse processo é limitado apenas para fluidos translúcidos, não podendo ser usado para fluidos opacos. Os óleos lubrificantes tipo SAE, assim como o óleo de ricino e a glicerina, são translúcidos em condições normais. Fluidos como as tintas e óleos usados, são considerados opacos, pois não permitem a passagem de luz. Da literatura pertinente depreende-se que boa parte dos cursos de engenharia mecânica realiza testes com óleos lubrificantes e utilizam viscosímetros tipo Saybolt Universal em suas aulas práticas de laboratórios. Para isto, foi introduzida uma inovação tecnológica no viscosímetro, para obter estimativas dos coeficientes de viscosidade nas escalas SSU (Second Saybolt Universal) e SSF (Second Saybolt Furol). De modo geral, os viscosímetros são classificados em dois grupos: primários e secundários. Os do grupo primário medem diretamente os valores das tensões de cisalhamento do fluido e a sua respectiva taxa de deformação. Os do grupo secundário inferem indiretamente, a razão entre a tensão de cisalhamento e

a taxa de deformação do fluido. Nesse grupo, estão os tipos Saybolt universal (SSU) e o Saybolt Furol (SSF), mais simples e de menor custo, bastante utilizados na indústria petrolífera, principalmente nos EUA. A determinação da viscosidade é um dos itens mais importantes na especificação de óleos lubrificantes [4] e em pesquisas de recondicionamento de óleos usados.

Um viscosímetro de baixo custo e simples manuseio é o de coluna líquida, que se baseia na reação de Stokes. Contudo, apresenta a desvantagem de funcionar apenas para líquidos translúcidos, ficando limitados para ensaios com óleos usados e outros fluidos escuros e opacos. Outro viscosímetro - do primeiro grupo - bastante usado pela facilidade de manuseio é o Brookfield. Porém, tais aparelhos são de custo elevado, inviabilizando laboratórios acadêmicos que necessitam do uso de muitos aparelhos simultaneamente. Baseado neste último item, decidiu-se pelo desenvolvimento de viscosímetro de baixo custo, com razoável precisão e boa robustez para uso em aulas de mecânica dos fluidos. Informações sobre a viscosidade dos materiais empregados nos processos de fabricação mecânica são fundamentais no desenvolvimento de projetos e dispositivos aplicados na solução de problemas e otimização de processos. O conceito de viscosidade está associado às várias propriedades dos materiais, especialmente no escoamento dos fluidos, sendo fortemente dependente da temperatura, sendo que seus coeficientes aparecem na solução de inúmeros problemas de mecânica dos fluidos, auxiliando na solução de tais problemas. Os problemas, cujas soluções, ainda não foram suficientemente estabelecidas, vêm sendo pesquisados por especialistas na área de mecânica dos fluidos, através de equações aproximadas por métodos numéricos e outras técnicas.

Recentemente, estudos como os de [5] e [6], desenvolveram, com o uso de elementos finitos, equações nas quais são aplicados parâmetros de coeficientes de viscosidade dos fluidos estudados para testes em microcanais e aerodinâmica na camada limite.

2. Material e Métodos

Experimentos mostram que os coeficientes de viscosidade dos fluidos geralmente diminuem com a temperatura, exceção para os gases à pressão constante. Outro fator que pode alterar o valor da viscosidade é a pressão e, que a equação que melhor se ajusta aos valores da temperatura com a viscosidade é do tipo logarítmica. A American Society for Testing and

Materials (ASTM) nos EUA, propôs a fórmula empírica para óleos lubrificantes:

$$\log[\log(\nu + 0,8)] = n \log\left(32 + \frac{9T}{5}\right) + M \quad (1)$$

onde: ν é o coeficiente de viscosidade cinemática, T é a temperatura em graus Celsius e n e M são parâmetros para cada óleo.

Para os viscosímetros tipo Saybolt, Furol, Redwood e Engler é recomendada uma fórmula geral mais prática, para obter a viscosidade cinemática (em centistokes), na forma de uma equação apresentada por:

$$\nu = A \cdot \Delta t - \frac{B}{\Delta t} \quad (2)$$

onde: Δt é a variação de tempo de escoamento de 60 cm³ do fluido e A e B são parâmetros que dependem da geometria do viscosímetro. Os viscosímetros tipo Saybolt Universal são largamente utilizados na Engenharia Mecânica, principalmente em estudos da viscosidade de óleos lubrificantes.

A tabela I mostra alguns valores dos parâmetros A e B para os tipos de viscosímetros mais usuais.

Tabela I - Parâmetros A e B estimados para alguns tipos de viscosímetros.

Viscosímetro	A	B
Saybolt universal		
I) para $\Delta t \geq 100$ sec.	0,226	195
II) para $\Delta t < 100$ sec.	0,220	135
Redwood Standard	0,260	171
Engler (em seg.)	0,147	374

Fonte: BASTOS(1983)

Dada a praticidade da equação (2), optou-se pelo desenvolvimento de um viscosímetro tipo Saybolt-Furol, dotando-o de maior versatilidade para aulas práticas de laboratório.

Os desenhos do projeto do viscosímetro foram desenvolvidos em sistema CAD e os cálculos das dimensões foram baseadas na descrição feita em [1] e [2]. Foram adotados os parâmetros A e B, de ajuste da equação baseada na norma americana para viscosímetros tipo Saybolt Universal e Saybolt Furol. Para isto foi desenvolvido um sistema de alternância dos dois furos normalizados pela (ASTM D80), feitos numa haste em aço laminado de seção reta retangular medindo 15mm x 20mm x 100mm. Durante o ensaio, essa haste pode ser deslocada de modo que o centro do furo do fundo do copo fique concêntrico com um dos furos, normalizados, tornando-o mais versátil para aulas práticas em laboratório. O copo do viscosímetro foi desenvolvido em alumínio com espessura de parede de 5mm, para minimizar trocas de calor. Além de ser mais leve que o latão e o aço, custa menos que os materiais convencionais e é pouco inoxidável, o que prolonga a vida útil do equipamento. As operações de usinagem no

copo do viscosímetro foram feitas nas oficinas da Fatec-So e a matéria prima, adquirida no comércio de Sorocaba. A base de fixação do copo do viscosímetro e, que se constitui no sistema de liberação do fluido, foi feita em aço SAE 1045, com as dimensões de 100mmx100mmx30mm. Para o acoplamento da haste deslizante com os furos normalizados, foi fresado um rasgo ao longo da largura da base, passando pelo furo central do copo. Esse rasgo tem seção reta retangular, por onde a haste deve deslizar para a seleção do furo padrão e a posterior liberação do fluido para o início do escoamento. Para fechar o rasgo, na parte inferior da base foi anexada uma lâmina de aço laminado, fixadas por seis parafusos com sextavado interno.

Para dar versatilidade ao viscosímetro, foram abertos na haste deslizante: um furo de 12,15 mm de comprimento e 1,75 mm de diâmetro para medidas em SSU e, afastado de 20 mm[2] outro furo de 12,15 mm com diâmetro de 3,15 mm, para medidas em SSF[3]. A figura 1 mostra a haste deslizante com os furos normalizados.



Figura 1. Para o observador, as marcas nas extremidades são: S, à esquerda e F à direita e indicam as posições dos furos.

A figura 2 mostra detalhes da base com a haste deslizante totalmente deslocada.



Figura 2. Vista da parte inferior da base do viscosímetro sem o copo, para mostrar a lâmina guia para a centralização dos furos de liberação do fluido.

As figuras 3a e 3b são; respectivamente, o desenho esquemático e uma vista geral do viscosímetro.

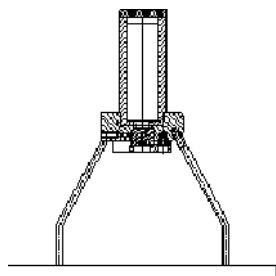


Figura 3a. Desenho em corte do viscosímetro

Para evitar o escorrimento lateral do fluido na face inferior da base de fixação do copo do viscosímetro, foi usinado na saída de cada furo, uma pingadeira, segundo as normas recomendadas em [2]. Para garantir o melhor alinhamento dos furos da haste de fechamento com a abertura do furo da base do copo do viscosímetro, o comprimento da haste foi dimensionado, de modo que ao coincidir as faces laterais da haste com a face lateral da base o furo, ficasse perfeitamente alinhado. Em cada face da lateral da haste foram gravadas as iniciais S para Saybolt e F para Furol conforme o alinhamento do furo desejado.



Figura 3b. Vista geral do viscosímetro montado.

Dessa forma, o desenvolvimento de um sistema alternativo de variação do furo normalizado (ASTM D 88), forma o viscosímetro mais versátil, para que o mesmo possa ser usado como Saybolt Universal e Saybolt Furol. Essa versatilidade deve reduzir custos na aquisição de equipamentos e trazer melhorias no aproveitamento dos recursos didáticos em apoio a estudos, propriedades dos materiais e conceitos de mecânica dos fluidos. Além dos trabalhos em [2], a metodologia foi apoiada em [3] e [4].

Melhores especificações sobre viscosímetros e da classificação dos óleos lubrificantes podem ser encontradas em [1] e [3].

A Figura 3(a) mostra desenho esquemático do viscosímetro, montado sobre a base com as hastes de suspensão para permitir a captação do fluido escoado. Os quatro suportes dos pés do viscosímetro foram rosqueados na base, de modo permitir o nivelamento sobre a mesa. A figura 3(b) mostra a foto do viscosímetro com destaque para a haste de abertura e fechamento dos furos.

A haste do sistema alternativo é um prisma de seção reta retangular, que pode ser movido horizontalmente para dar a alternância de aberturas dos furos nas duas escalas de leituras.

Para calibrar o viscosímetro e testar sua precisão, foram realizados ensaios nos laboratórios da Fatec-So com óleos SAE-50, SAE-30 e SAE-40, adquiridos no comércio local. Inicialmente foram feitos ensaios em sala climatizada, sem o uso de banho termostático, usando-se apenas variações de temperatura com ar condicionado. Para temperaturas mais

baixas, foi utilizado um refrigerador industrial com controle de temperatura.

Nos ensaios foram usados: Uma proveta graduada de 100 ml (20°C), um béquer de 250 ml (20°C), amostras de óleos lubrificantes SAE-50, SAE-30 e SAE-40, um cronômetro de acionamento manual, com precisão de 0,2 segundo, um termômetro de álcool com leituras de três algarismos significativos e precisão de 0,5 de °C. A figura 4 mostra a montagem dos testes com o viscosímetro. O termômetro foi simplesmente mergulhado no fluido sem o uso de haste de fixação. O cronômetro era acionado assim que a haste deslizante se posicionava no furo desejado e, desligado quando o filete do óleo era rompido, dando o início ao gotejamento. Este procedimento foi adotado para assegurar no máximo possível a repetibilidade do teste. Devido ao pequeno diâmetro interno do copo do viscosímetro foi preciso tomar cuidado para que o bulbo do termômetro não obstruísse o furo de escoamento e influenciasse os resultados dos testes.

A constante do viscosímetro foi obtida conforme a metodologia proposta em [2].



Figura 4. Vista geral da montagem experimental dos testes de calibração do viscosímetro. O béquer na parte inferior serve para coletar o óleo escoado e o termômetro é simplesmente mergulhado no fluido sem necessidade de haste de fixação

3. Resultados e Discussão

As tabelas II, III e IV mostram, os intervalos de tempo obtidos para diferentes valores de temperaturas da sala climatizada com o óleo SAE-50, 30 e 40 respectivamente.

Tabela II - Resultados dos intervalos de tempo de escoamento do óleo SAE-50 para 5 valores de temperatura ambiente do laboratório de metrologia da Fatec-So.

Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo(s)
1	28	2577,0
2	27	2689,8
3	24	3157,8
4	22	3661,6
5	19	4272,0

Tabela III - Resultados dos intervalos de tempo de escoamento do óleo SAE-30 para 5 valores de temperatura ambiente do laboratório de metrologia da Fatec-So.

Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo(s)
1	13	2864,2
2	14	2706,2
3	17	2273,4
4	26	1313,4
5	27	1175,8

Tabela IV - Resultados dos intervalos de tempo de escoamento do óleo SAE-40 para 4 valores de temperatura ambiente do laboratório de metrologia da Fatec-So.

Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo(s)
1	8	5229,0
2	12	4613,4
3	27	2379,2
4		

Com base nos resultados dos tempos obtidos nos ensaios explicitados nas tabelas II, III e IV, foram calculados pela equação 2, os respectivos valores de viscosidade em centistokes. Esses valores estão relacionados nas tabelas V, VI e VII.

Tabela V - Estimativas de viscosidade em centistokes do óleo SAE-50, para cinco ensaios com base na equação (2).

Ensaio	1	2	3	4	5
T(°C)	28,0	27,0	24,0	22,0	19,0
ν (SSU)	566,9	591,8	694,7	805,6	939,8

Tabela VI - Estimativas de viscosidade em centistokes do óleo SAE-30, para cinco ensaios com base na equação (2).

Ensaio	1	2	3	4	5
T(°C)	13,0	14,0	17,0	24,0	27,0
ν (SSU)	630,1	595,3	500,1	288,9	258,6

Tabela VII - Estimativas de viscosidade em centistokes do óleo SAE-40, para três ensaios com base na equação (2).

Ensaio	1	2	3	4
T(°C)	8,0	12,0	23,0	27,0
ν (SSU)	1150,4	1014,9	476,5	303,3

Os gráficos das figuras 5, 6 e 7, mostram o comportamento da viscosidade cinemática em centistokes dos óleos SAE-50, SAE-30 e SAE-40 em função da temperatura. Pode-se ver nesses gráficos, que a viscosidade diminui com o aumento da temperatura do óleo.

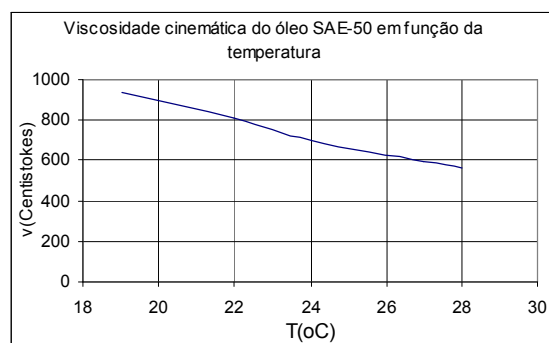


Figura 5. Gráfico do comportamento da viscosidade cinemática em centistokes do óleo SAE-50 em função da temperatura.

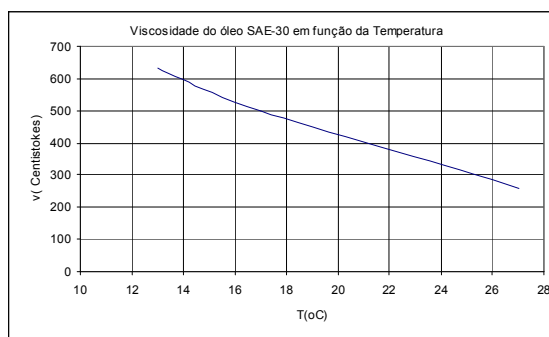


Figura 6. Gráfico do comportamento da viscosidade cinemática centistokes do óleo SAE-30 em função da temperatura.

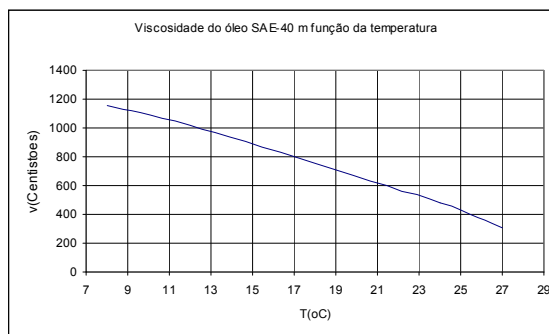


Figura 7. Gráfico do comportamento da viscosidade cinemática em centistokes do óleo SAE-40 em função da temperatura.

Os valores obtidos para a viscosidade cinemática foram submetidos a testes comparativos de mudança de unidades com o ábaco da figura 8, conforme recomendado em [2], apresentando coerência de valores. Os valores de ν transformados em SSU foram confrontados com os valores do gráfico da figura 9, apresentando boa correspondência.



Figura 8. Âbaco comparativo das escalas de viscosidade cinemática em centistokes e SSU. (Adaptado de Bastos, 1983)

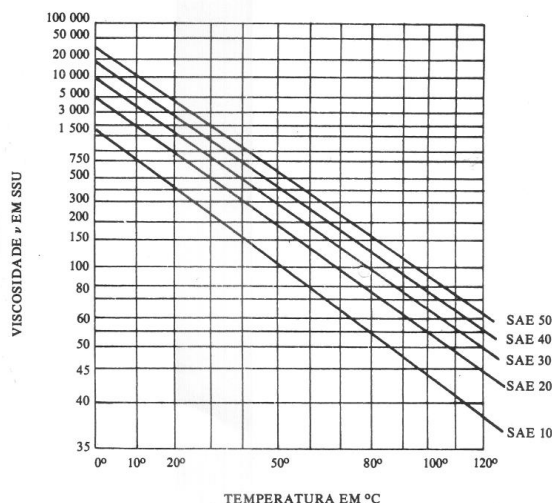


Figura 9. Comportamento da viscosidade de vários óleos SAE em função da temperatura. (fonte: Bastos, 1983)

4. Conclusões

O protótipo foi facilmente desenvolvido com operações simples de usinagem mecânicas, usando material de boa resistência mecânica, fácil de ser obtido, resultando em equipamento didático de baixo custo e com expectativa de vida útil elevada. Seu reduzido peso e tamanho, o torna prático para transporte e acondicionamento em armários, ocupando pouco espaço para isto.

Com relação à precisão, os resultados obtidos, quando verificados com o âbaco da figura 8, mostraram que os valores obtidos para o coeficiente de viscosidade cinemática SSU se ajustam bem aos valores propostos em [2]. Contudo, a quantidade de testes ainda é

insuficiente para a validação total do protótipo. Novos testes com faixas de temperaturas mais elevadas poderão apontar dados para um melhor ajuste na curva de comparação com as curvas, sugeridas por [2]. Para isto deverá ser anexado ao viscosímetro, um sistema de banho termostático para obter mais valores de temperatura controlada e aumentar sua versatilidade. Além disso, os resultados dos testes poderão propiciar aplicação de estudos de regressão para estimar os parâmetros da equação do protótipo do viscosímetro. Para aulas práticas de com óleos lubrificantes os resultados obtidos mostraram que o protótipo pode ser utilizado com sucesso.

Agradecimentos

Ao Departamento de Ensino Geral e a Direção da Fatec-So, pelo apoio financeiro e pela confiança depositada no sucesso do trabalho.

Ao Departamento de Mecânica pelo uso das máquinas operatrizes.

Referências Bibliográficas

- [1] P. O. A. L. Albuquerque, **Lubrificação**, Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda, 143p, 1977.
- [2] F.A.A. Bastos, **Problemas de Mecânica dos Fluidos**, Editora Guanabara Koogan, 483p, 1983.
- [3] C. R. S. Moura; R.P. Carreteiro, **Lubrificantes e Lubrificação**, Livro Técnico Científico Editora S.A., 443p., 1975.
- [4] A. M. Rocha; M.F. Pimentel; S. Martorelli, **Estimativas da Incerteza Associada à Determinação da Viscosidade Cinemática de Óleos Lubrificantes**, Metrologia-2003, Sociedade Brasileira de Metrologia(SBM), 01-05, Recife/PE, setembro, 2003
- [5] M. J. P. Santos; J. C.C. Amorim, **Modelagem de Camada Limite Tridimensional, Compressível e Turbulenta em Corpos Aerodinâmicos**, XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. 16th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, 2001
- [6] Y. Wei-Hua; Z. Jing-Zhou; C. Hui-Er, **The Study of flow characteristic of curved microchannel**, Elsevier, Thermal Engineering, 25- p.1894-1907, 2005.