

PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UM VISCOSÍMETRO DE SAYBOLT

*Marco Antonio da Silva Rodrigues Filho*¹

*Anderson Inácio Junqueira Júnior*²

RESUMO

Por mais que se tente, com a tecnologia atual é impossível criar superfícies totalmente lisas, ao trabalhar com máquinas que possuem peças móveis, a rugosidade superficial das peças conectadas é responsável pelo atrito, e por isso os óleos lubrificantes foram criados. A viscosidade é o fator mais importante na escolha do óleo lubrificante apropriado para ser utilizado em equipamentos mecânicos. É importante a realização de testes periódicos para avaliar a integridade do óleo, pois níveis de viscosidade fora dos padrões de trabalho afetam diretamente na eficiência e vida útil do equipamento, agravando o desgaste causado pelo atrito entre as peças móveis, em função da lubrificação deficiente. Devido a esse problema, vários métodos foram criados para a realizações de testes de viscosidade para fluidos newtonianos e não-newtonianos, sendo o foco deste trabalho o projeto de um viscosímetro de Saybolt, viscosímetro empírico que utiliza um sistema de aquecimento controlado junto a recipientes, adaptados com uma ponta com um furo capilar por onde 60 ml do fluido teste, já em uma temperatura de 40°C ou 100°C, escoam apresentando após a contagem de tempo do processo do mesmo, sua viscosidade e dado como Saybolt universal second. De acordo com os testes realizados com o protótipo criado, foi obtido resultados bem próximos ao esperado, apresentando uma baixa margem de erro, observada através de uma análise estatística.

Palavras chave: Lubrificante. Viscosidade. Viscômetro.

¹ Graduando em Engenharia de Mecânica pela Universidade de Rio Verde, câpus Rio Verde, GO.

² Orientador, mestre em Engenharia Mecânica.

1 INTRODUÇÃO

No mundo, por mais que se tente, é impossível criar uma superfície perfeitamente lisa, já que mesmo através dos processos de mais alta tecnologia, sempre será possível encontrar um certo grau de rugosidade na superfície do material. Esta é responsável pela força de atrito entre superfícies, causada pelo contato de suas irregularidades superficiais, que podem ser vistas através de um microscópio, como diferentes “picos de relevos superficiais” tentando se mover sobre o outro. Assim, cria-se uma resistência ao movimento, e parte da energia fornecida ao objeto transforma-se em calor, reduzindo sua eficiência energética e causando desgaste no sistema. Para a solução desse problema, utiliza-se a viscosidade, característica física contida nos fluidos gasosos ou líquidos, dando-se origem ao que se conhece como lubrificantes, que assumem o papel de intermediário entre as superfícies, de forma a evitar o contato entre elas.

Sistemas com diferentes superfícies em movimento, dependem de uma lubrificação correta para que trabalhem sempre com seu melhor desempenho, logo se aplicam diferentes valores de viscosidade, arbitrados de acordo com a carga entre as peças, a velocidade com que elas trabalham junto à temperatura de operação, pois são aspectos que influenciam diretamente na viscosidade do óleo (calor e rotação) ou na força cortante imposta à camada necessária para que não se crie atrito entre as peças (carga).

Através de pesquisas bibliográficas, serão levantadas informações necessárias sobre a viscosidade e suas propriedades, agregadas as ferramentas criadas e suas respectivas normas, para quantificar suas características e identificar a viscosidade útil a cada equipamento.

Devido a importância desse equipamento, que é aplicado comumente no âmbito industrial, a dificuldade em encontrar laboratórios específicos na região, a demora de resultados de ensaios de viscosidade, que podem acarretar grandes prejuízos financeiros, apresentam-se como fatores que motivam este trabalho.

O objetivo do presente trabalho é o projeto e a confecção do protótipo de um viscosímetro de Saybolt. Os objetivos específicos são:

- Pesquisas de diferentes equipamentos de mensuração de viscosidade;
- Pesquisas no meio científico sobre os princípios teóricos de funcionamento de cada tipo;

- Fundamentado nos princípios teóricos projetar e construir um viscosímetro de baixo custo, utilizando microcontroladores;
- Realizar testes a fim de averiguar a sua eficiência.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A literatura utilizada oferece uma fundamentação no que se diz respeito aos princípios de viscosidade, bem como equipamentos mais utilizados para sua mensuração, ao qual o objeto de estudo pertence.

2.1 VISCOSIDADE

A viscosidade é uma propriedade física de fluidos em geral que corresponde a sua resistência ao escoamento em uma temperatura específica (normalmente medida a 40 °C e 100 °C), também é definida por deformação gradual por tensões de cisalhamento ou tração, sendo então dividida em viscosidade cinemática e dinâmica, que são facilmente confundidas apesar de apresentarem grandes diferenças (TROYER, 2002).

A viscosidade dinâmica, também conhecida como viscosidade absoluta, é definida pela capacidade de escoamento do fluido ou sua capacidade de deformação quando exposto a uma força. Característica que pode ser vista ao se mover uma colher dentro de dois recipientes, um com água e outro com mel, onde se pode perceber que o mel apresentará uma resistência maior ao movimento por apresentar uma viscosidade dinâmica maior (KITTIWAKE, 2012).

De mesma forma, ao utilizar dois recipientes de mesmo tamanho, para despejar água em um, e mel em outro, pode-se perceber que a água irá atingir o seu ponto de repouso mais rápido do que o mel devido a sua baixa viscosidade (TROYER, 2002).

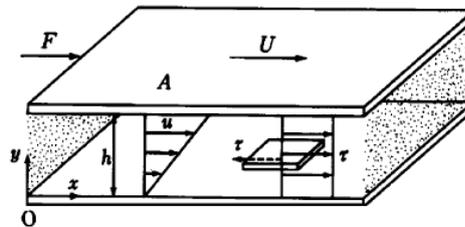
Na visão de Brunetti (2008), a viscosidade é imposta pela lei de Newton, onde uma proporção entre tensão de cisalhamento e a velocidade do fluido, adicionando também um coeficiente de proporcionalidade (μ) denominado viscosidade dinâmica, dando forma a Equação 01:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad (01)$$

Na qual, τ é a tensão de cisalhamento (N); μ é a viscosidade dinâmica ($N.s/m^2$); v : velocidade do fluido (m); y : distância da parede sólida (m).

Como é mostrado na Figura 1, um sistema com duas placas paralelas, preenchidas por um fluido que as separa por uma altura h . Sendo a placa superior móvel, empurrada por uma força F de forma a deslocar sobre o fluido com uma velocidade U (NAKAYAMA, 1998).

FIGURA 1 - Fluxo Couette



Fonte: Nakayama (1998).

Neste caso, utiliza-se a Equação 01 modificada da seguinte forma:

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{U}{h} \quad (02)$$

Na qual, τ é a tensão de cisalhamento (N); F é a força aplicada à placa superior; μ é viscosidade dinâmica ($N.s / m^2$); U velocidade do fluido (m); h distância da parede sólida (m).

As técnicas mais utilizadas em laboratórios para a medida de viscosidade é a viscosidade cinemática, que se define como a resistência do fluido ao escoamento sobre a influência da gravidade, sendo obtida normalmente pela medida de tempo que leva para a amostra do fluido passar por um tubo capilar sobre a força da gravidade (TROYER, 2002). A mesma é dada através da colisão entre as partículas de um fluido que se deslocam em velocidades diferentes, sabendo que quando um fluido se move em um tubo, suas partículas se deslocam com maior velocidade ao centro do tubo, e sua velocidade diminui conforme se

aproxima da parede do mesmo, devido ao atrito entre as camadas do fluido e também entre o fluido e a parede de seu recipiente. Sendo assim necessário algum tipo de tensão, como um diferencial de pressão entre os pontos de entrada e saída do tubo, para que se supere o atrito gerado entre as camadas das partículas, de forma a manter o fluido em movimento (GIANCOLI, 2014).

Brunetti (2008, p.9) reconhece que “Viscosidade cinemática é o quociente entre a viscosidade dinâmica e a massa específica.” Como pode ser visto na Equação 03.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (03)$$

Na qual ν é a viscosidade cinética (cSt); μ é a viscosidade dinâmica ($N.s/m^2$); ρ é a massa específica do fluido (Kg/m^3).

Pode-se dizer que a viscosidade de um fluido é a característica mais importante na hora de se escolher o óleo lubrificante a ser utilizado em um sistema de lubrificação, já que a característica principal do mesmo é criar um filme de lubrificação, preenchendo o espaço entre as superfícies de trabalho (KITTIWAKE, 2012).

Este filme de óleo absorve a energia do movimento, impedindo o contato direto entre as superfícies de forma a anular o atrito entre elas, e então, deve suportar a carga aplicada a ele sem se romper, necessitando assim de viscosidades maiores para situações onde se encontra sujeito a altas pressões, visto que a resistência a força de corte para um fluido mais viscoso é maior, devido a uma maior necessidade de energia para vencer o atrito entre suas partículas (NORIA, 2015; GIANCOLI, 2014).

A velocidade de rotação e a temperatura também devem ser consideradas ao se identificar a viscosidade ideal a ser utilizada, já que ambos são utilizados para definir a viscosidade necessária para produzir um filme de óleo entre as superfícies móveis, lembrando que valores mais altos de viscosidade oferecem mais resistência ao movimento, aumentando assim a energia necessária para seu funcionamento (FITCH, 2015; ROCHA, 2009).

Equipamentos com óleos lubrificantes de viscosidade inadequada podem apresentar vários problemas que influenciam diretamente na confiabilidade do equipamento e custo

operacional, podendo acarretar em paradas inesperadas devido a uma falha crítica dos componentes da máquina como engrenagens e rolamentos (FITCH, 2015).

O desgaste é um problema comum encontrado em máquinas, mesmo quando disposta de lubrificação correta, então quando a viscosidade encontra-se deficiente, o desgaste ocorre em um ritmo mais acelerado, criando abrasão entre as superfícies. Além do desgaste causado pelo atrito entre as peças, grande parte da energia gerada pelo movimento passa a ser transformada em calor, que como visto previamente, diminui a viscosidade do óleo, criando assim, um ciclo que acarreta em um desgaste mais acelerado, e diminui consideravelmente a vida útil do equipamento (FITCH, 2015).

Além de se utilizar o lubrificante correto, é importante saber que existem fatores que alteram a viscosidade dos fluidos ao longo do tempo, como a contaminação do óleo por partículas estranhas, assim como poeira, água e outros elementos comumente encontrados no ambiente de operação do equipamento (NORIA, 2016).

A contaminação do lubrificante por água pode causar grandes problemas no sistema, onde a água encontra-se em globos microscópicos dispersados em meio ao óleo, que ao passar entre as superfícies de atrito, podem explodir gerando fraturas no metal. E ainda, causar oxidação do óleo, através da mudança de propriedades químicas e físicas de óleos minerais e alguns óleos sintéticos, alterando sua viscosidade (NORIA, 2016).

Já a contaminação por partículas, podem ser originárias do meio interno e externo, sendo o externo as partículas que são identificadas em volta do ambiente da peça, e que podem estar na forma de pó de carvão, areia, limalha de ferro, entre outros que acabam entrando em contato com o óleo durante a montagem e a manutenção. Já o caso das partículas de origem interna, tratam dos fragmentos gerados através do desgaste da peça, de toda forma, essas partículas agem como um abrasivo, aumentando a velocidade com que a peça sofre desgaste (MYERS, 2012).

Em contato com o ar, o óleo passa por um processo de degradação de sua estrutura química, ocorrendo assim, a sua oxidação através do tempo, gerando sedimentos indesejados e até mesmo substâncias ácidas. No caso de lubrificantes que trabalham em altas temperaturas, assim como outros contaminantes como água, e partículas de ferro e cobre, o processo de oxidação ocorre de forma mais acelerada. Neste ponto, os óleos sintéticos possuem a vantagem sobre óleos convencionais por apresentar melhor resistência à oxidação, reduzindo assim o intervalo entre as trocas de óleo do equipamento (MYERS, 2012).

Caso a viscosidade do lubrificante utilizado seja testada com certa frequência, o que possibilita perceber mudanças em seus valores originais, pode indicar a contaminação do mesmo por outros elementos como a água, poeira e partículas de metal originadas do desgaste das peças em contato, até mesmo o desgaste natural do óleo, e com isso a identificação e correção de falhas em seu estágio inicial e também a prevenção de futuras falhas (FITCH, 2013).

2.2 VISCOSÍMETROS

Sabendo da importância de uma lubrificação eficiente para o melhor desempenho do equipamento, e ganho de vida útil de suas peças, vários métodos e equipamentos foram desenvolvidos para realizar o teste nas amostras de fluidos, a fim de se verificar os valores de sua viscosidade, sendo eles divididos nas categorias a seguir:

2.2.1 Viscosímetros de tubo capilar

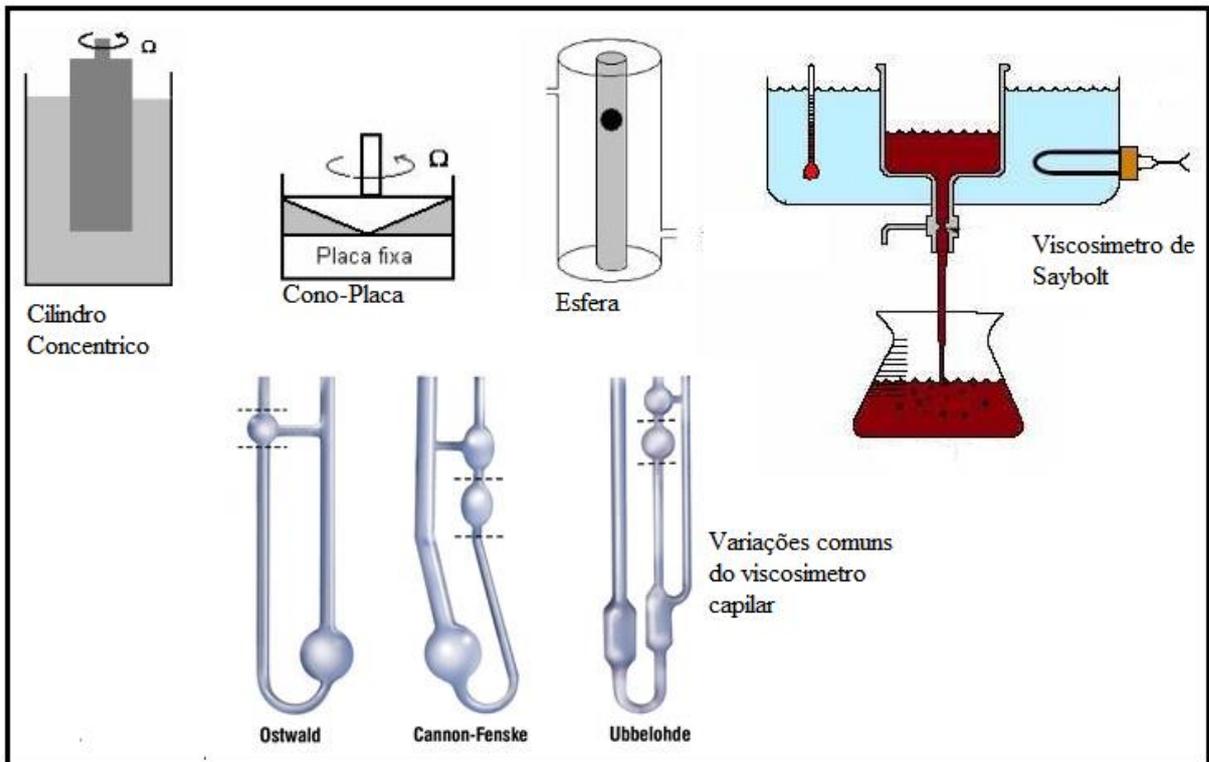
Utilizado apenas em fluidos newtonianos, os viscosímetros de tubo capilar funcionam através da tomada de tempo em que o fluido leva para fluir por um tubo com um diâmetro pequeno, chamado de tubo capilar, onde o tempo que o fluido demora para escoar, é diretamente proporcional a sua viscosidade cinemática, que pode ser convertida em viscosidade dinâmica, utilizando um fator de conversão único para cada viscosímetro utilizado, sendo mais comumente utilizados, os viscosímetros em forma de “U” como o viscosímetro de Ostwald, o viscosímetro de Ubbelohde e o viscosímetro de Cannon-Fenske, todos ilustrados na Figura 2 (TONEGUTTI, 2016).

2.2.2 Viscosímetros rotacionais

Sendo utilizados para medir a viscosidade de fluidos newtonianos e não-newtonianos, que consiste em duas superfícies com seus eixos alinhados, e uma quantidade de fluido entre elas, onde uma se mantém estática, e outra se encontra sobre um torque suficiente para manter uma velocidade determinada, e com base no torque utilizado define-se a taxa de deformação do fluido. Dos viscosímetros rotacionais há os viscosímetros de cilindro concêntrico, e o

cono-placa, ilustrado na Figura 2. Também há os viscosímetros rotacionais de Stormer, Brookfield e tambor giratório (TONEGUTTI, 2016).

FIGURA 2 - Viscosímetro empírico (Saybolt)



Fonte: Adaptado de Faria (2011), Finning (2016), Fitch (2013).

2.2.2 Viscosímetros de bola ou *Stokes*

Conta o tempo em que uma esfera leva para descer pelo fluido que se encontra em um tubo em posição vertical ou inclinado, onde o atrito do fluido passa a compensar a aceleração causada pela força da gravidade, imponto assim uma velocidade limite para a esfera, como ilustrado na Figura 2. Este teste é mais utilizado na medida de viscosidade de fluidos newtonianos transparentes (TONEGUTTI, 2016).

2.2.2 Viscosímetros empíricos

Seu princípio de funcionamento vem da medição da viscosidade cinemática de fluidos newtonianos, que se dá com a medida de tempo em que certo volume leva para escoar por um

tubo capilar de vidro com uma espessura específica, sendo os mais conhecidos o viscosímetro Engle, o viscosímetro Redwood e o viscosímetro de Saybolt furol e Saybolt universal (mostrado na Figura 2) (INMETRO, 2011).

2.2.2 Viscosímetros de *Saybolt*

O viscosímetro de Saybolt conta-se o tempo em que 60 *ml* do fluido escoar por um orifício em condições específicas, determinadas pela norma americana ASTM D88, e seu valor de viscosidade é dado em Segundo universal Saybolt ou *SSU*, dado a temperaturas específicas, sendo este método um dos mais confiáveis da atualidade (ASTM, 1988).

O Saybolt Furol seconds (*SFS* ou *SSF*), trata-se do tempo em que uma amostra de 60 *ml* do fluido testado, a uma temperatura específica, demora para passar pelo orifício de um furol (acrônimo do termo “Fuel and road oils”) cujas proporções são designadas pela norma ASTM D88, sendo também equivalente a um décimo do Saybolt Universal Second (ASTM, 1988).

De acordo com a norma ASTM D88, Equação 04 demonstra a conversão da viscosidade em Saybolt Universal Seconds em Saybolt Furol Seconds

$$SFS = \frac{SUS}{10} \quad (04)$$

Na qual, SFS: medida de tempo onde 60 *ml* de um fluido leva para escoar por um bico furol; SUS: medida de tempo onde 60 *ml* de um fluido leva para escoar por um bico universal.

O equipamento em si conta com um recipiente de material metálico, que se encontra preenchido por um fluido utilizado para transferência de calor entre um ebulidor elétrico e os tubos de teste, posicionados a 30 *mm* de distância, normalmente utiliza-se água ou um óleo de viscosidade especificada pela norma ASTM D88 (ASTM, 1988).

Considera-se também o que se conhece como Lei zero da termodinâmica, que diz que dois corpos entram em equilíbrio térmico, quando os dois possuem a mesma temperatura, em um sistema fechado, esse equilíbrio é atingido através da troca de energia entre os elementos

em questão, que transita do corpo mais quente (com maior energia) para o corpo mais frio (menor energia), a Equação 05 demonstra tal afirmação (GIANCOLI, 2014).

$$Q_{cedido} + Q_{recebido} = 0 \quad (05)$$

O ebulidor elétrico tem o papel de fornecer energia ao sistema, neste caso, ao fluido que se encontra em contato direto com o ebulidor. O fluido, por sua vez, tem como função transportar essa energia para os tubos, que contém o óleo que está sendo testado, o qual passa a receber a energia distribuída. Por ser um sistema não isolado, uma parte desta energia é transferida ao ambiente, dando maior controle da temperatura ao microcontrolador, responsável por identificar e manter as temperaturas internas nos valores desejados.

O equipamento também conta com termômetros, utilizados para se ter um maior controle e precisão durante o procedimento, conferindo uma temperatura precisa das amostras e do fluido utilizado no banho dos tubos. Assim que o fluido encontrar-se na temperatura de teste, são removidas as tampas inferiores dos tubos, permitindo-se o escoamento do fluido, que é contado por um timer, dando então a medida em *SUS*.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste item são apresentados os materiais e métodos que serão utilizados para a construção do dispositivo.

3.1 MATERIAIS

A Tabela 1 demonstra a lista de materiais utilizados na confecção do viscosímetro, assim como as proporções de cada peça e suas quantidades:

TABELA 1. Materiais Utilizados

Materiais	Quantidade	Tamanho (mm)
Chapa de Aço dobrada em U - espessura 3mm	1	420x160
Chapa de aço - espessura 3mm	2	130 x 160
Chapa de aço - espessura 3mm	4	40x40
Chapa de aço - espessura 3mm	2	10x170
Chapa de aço - espessura 3mm	1	175x175
Chapa de aço dobrada em L - espessura 3mm	2	10x70
Cantoneira de Abas iguais - bitola 10mm	4	350
Aço trefilado Ø 2.1/4"	1	300
Aço trefilado Ø 5/8"	1	50
Madeira - espessura 15mm	1	200x200
Madeira - espessura 15mm	1	80x200
Madeira - espessura 15mm	2	80x285
Madeira - espessura 6mm	1	200x300
Madeira - espessura 6mm	1	100x200

Fonte: Próprio Autor.

Como demonstrado na Figura 3, os componentes de madeira, foi construído uma caixa com um lado chanfrado, com uma base de 300 mm x 200 mm, uma altura de 80 mm e uma tampa de 200 mm x 200mm, que abriga os componentes eletrônicos e serve de base para a estrutura metálica do projeto.

FIGURA 3 - Equipamento construído

Fonte: Próprio Autor (2017).

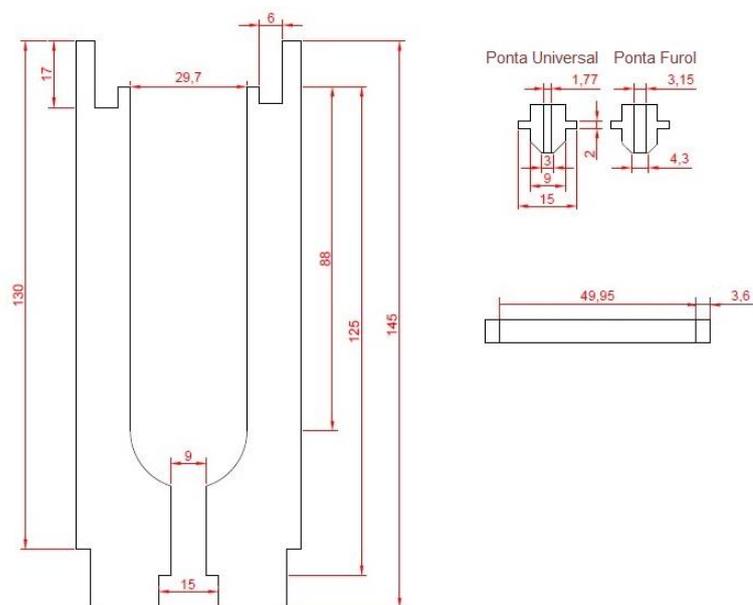
A chapa de aço dobrada em U, junto a duas chapas de 130 mm x 160 mm foram utilizadas para confeccionar o recipiente onde abriga o mergulhão elétrico (cuja função é de aquecer o fluido) e os dois tubos, onde os mesmos foram criados a partir do aço trefilado com o diâmetro de 2.1/4 in. A chapa de 175 mm x 175 mm teve suas bordas dobradas de forma de ser a criar a tampa da caixa.

As quatro cantoneiras, junto as chapas quadradas de 40 mm, deram origem as pernas que foram soldadas na caixa de metal, conferindo-se a altura necessária assim como um meio para fixá-la à base de madeira.

Apesar de sua reação química com a água, causando a oxidação do metal, o aço foi escolhido devido a seu baixo custo, assim como sua condutividade térmica, possibilitando um melhor controle térmico do sistema e um baixo custo de criação.

Para que o viscosímetro de Saybolt funcione, foi necessária a usinagem de dois tubos de aço como mostrado na Figura 5, assim como as pontas universal e furol, que se encaixa nos tubos definindo o tipo de teste. Os tubos foram obtidos através de torneamento de um aço trefilado com diâmetro de 2.1/4 in, já as pontas foram fabricadas de um aço trefilado com diâmetro de 5/8 in por torneamento e furação, sendo suas proporções definidas pela norma ASTM D88.

FIGURA 5 - Desenho com os tamanhos (mm) dos tubos e pontas utilizados



Fonte: Próprio Autor (2017).

3.2 DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS

Para este projeto, será utilizado um ebulidor mergulhão elétrico para o aquecimento do líquido que circunda os tubos junto a três sensores de temperatura DS18B20 à prova d'água, posicionados nos dois tubos e no recipiente que abriga o fluido destinado ao banho dos tubos, em ordem a identificar a temperatura ideal para o início do teste.

Um servo motor tipo Futaba S3003 180°, 4.2 *Kg/cm* para automatizar a abertura dos tubos por onde flui o líquido sendo testado.

Para o controle dos componentes eletrônicos e elétricos, foi utilizado um microcontrolador do tipo Arduino Mega 2560 R3, devido a sua disponibilidade de pinos, utilizados para controlar um número expressivo de componentes.

Um módulo relé 5 V de um canal, será utilizado para junto ao Arduino para controlar a temperatura do equipamento, onde ao atingir 40°C faz com que desative o ebulidor responsável pelo aquecimento do sistema, a alimentação do mesmo é completamente isolada do circuito do microcontrolador.

Uma fonte de 12 Volts, bivolt, para alimentação de energia do Arduino e uma extensão para duas tomadas para ligar a fonte e o ebulidor.

Um teclado matricial 4x4, utilizado para controlar a contagem de tempo, junto a um display LCD 16x2 *backlight*, utilizado para visualização dos da temperatura da água, responsável pelo aquecimento do sistema, junto à temperatura de cada tubo e também, a contagem do tempo de escoamento do óleo, que tem início após a abertura dos tubos pelo servo motor e seu fim marcado ao apertar no teclado matricial o botão correspondente ao tubo.

3.3 TESTES DO EQUIPAMENTO

Após a montagem, o equipamento foi utilizado para realização de testes para determinar sua eficiência. Foram efetuados quinze ensaios de viscosidade, utilizando óleo vegetal extraído da soja da marca “Brasileiro”, e adotado como comparação uma viscosidade de 29,5cSt, retirada de um estudo de viscosidade e condutividade termica de óleos vegetais, realizada por um grupo de engenheiros de alimentos (BROCK, 2008).

O óleo foi depositado em um tubo equipado com uma ponta universal, utilizada para óleos com viscosidade (SUS) menores que 1000s, que se encontrava tampada, impedindo o escoamento do óleo. O sistema de aquecimento encarregou-se de manter uma temperatura de 40°C a todo tempo, elevando lentamente a temperatura do óleo através de condução térmica levando o calor da água, a parede dos tubos esquentando indiretamente o óleo.

O visor indica a temperatura do tubo, enquanto o equipamento espera um sinal para iniciar o teste. Ao apertar o botão, o servo motor é ativado, desobstruindo a ponta universal, permitindo a passagem de óleo, enquanto o tempo começa a ser contado.

O óleo que escoar pelo tubo, cai em uma proveta graduada, que indica até 100ml, em um passo lento, até chegar a 60ml, no qual o botão “ * “ do teclado matricial, é pressionado, travando a contagem do tempo, e indicando seu valor em SUS. Para uma melhor comparação com o valor tabelado já encontrado, os valores são convertidos para Centistokes.

A interpretação dos dados fornecidos pelos testes ocorreu através de uma análise estatística, proporcionando informações importantes sobre o funcionamento do viscosímetro.

Dentre elas, olhando o desvio padrão, que indica a dispersão dos dados coletados em relação à média, onde valores menores de desvio indicam os dados coletados mais homogêneos. (LOPES, 2003)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos testes, os valores de viscosidade dados em Segundo Universal Saybolt (SUS) foram convertidos para Centistokes(cSt), para possibilitar a comparação dos resultados obtidos nos testes com o valor tabelado do óleo vegetal. Os resultados dos testes são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 - Testes do Equipamento

Teste	Tempo (mm:ss)	SUS	Centistokes
1	02:27	145	30,9690
2	02:18	138	29,3817
3	02:14	134	28,4725
4	02:23	143	30,5159
5	02:25	145	30,9690

(continuação)

Teste	Tempo (mm:ss)	SUS	Centistokes
6	2:21	141	30,9690
7	02:22	142	30,2893
8	02:19	139	29,6088
9	02:18	138	29,3817
10	02:20	140	29,8357
11	02:19	139	29,6088
12	02:16	136	28,9274
13	02:19	139	29,6088
14	02:16	136	28,9274
15	02:17	137	29,1546

Fonte: Autor Próprio.

Em seguida, foi realizada uma análise estatística, utilizando os dados obtidos pelos testes, tanto em SUS quanto em cSt, para melhor compreensão dos valores obtidos. Os resultados da análise podem ser visualizados na Tabela 4, disponível a seguir:

TABELA 3 – Análise estatística

	SUS	cSt
Media	139,4667	29,7142
Erro Padrão	0,8387	0,1903
Mediana	139,0000	29,6088
Moda	139,0000	29,6088
Desvio Padrão	3,2484	0,7371
Variância de amostra	10,5524	0,5433
Assimetria	0,3237	0,3210
Intervalo	11,0000	2,4964
Mínimo	134,0000	28,4725
Máximo	145,0000	30,9690
Contagem	15,0000	15,0000

Fonte: Autor Próprio.

Através de quinze testes realizados, obteve-se uma média de 29,7142 cSt, que se aproxima bastante do valor tabelado para o óleo de soja de 29,5 cSt.

Da análise estatística também foram retirados alguns outros dados importantes, como a moda de 29,6088 cSt, sendo esta, o valor mais repetido dentre o espaço amostral. Além disso a variância de 0,5433 cSt, representando uma média de dispersão, mostrando a distância entre os valores obtidos e a média, podendo ser interpretada como uma margem de erro, para as medidas obtidas pelo equipamento, dando uma ideia de sua precisão.

5 CONCLUSÃO

Os objetivos gerais e específicos foram alcançados:

O equipamento desenvolvido ao longo deste projeto apresenta resultados satisfatórios, bem próximo do esperado. Sua pequena imprecisão se dá ao uso dos sensores de temperatura DS18B20, que apresentam uma precisão de $\pm 0,5^{\circ}C$, e os valores estipulados na norma ASTM D88, que são difíceis de obter, uma vez que há a necessidade de ferramentas de usinagem e medida com uma variação permitida de até 20 micrômetros, assim o custo, torna-se muito elevado de acordo com a precisão necessária, acarretando na variância obtida pela análise estatística.

O projeto acabou saindo em um valor aproximado de 1172 reais, porém uma comparação de preço entre o projetado e o comercial não foi possível, devido à demora, pela empresa, da emissão do orçamento requerido para o viscosímetro comercial.

Para trabalhos futuros, sugere-se que seja realizado um estudo termico do sistema assim como um revestimento, de forma a prevenir o ataque corrosivo, e conservar melhor a energia do sistema, além da aferição da eficiência com relação à interferência térmica e a substituição dos sensores utilizados, por sensores com uma precisão de leitura maior.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SAYBOLT VISCO-METER

ABSTRACT

No matter how hard you try, with the current technology is impossible to create totally smooth surfaces, to work with machines that have moving parts, the surface roughness of the parts connected is responsible for the friction, because of this, the lubricating oils were created. Viscosity is the most important factor in choosing the appropriate lubricating oil to be used in mechanical equipment. It is important to carry out periodic tests to evaluate the integrity of the oil, since viscosity levels outside the working standards directly affect the efficiency and useful life of the equipment, aggravating the frictional wear between the moving parts due to poor lubrication. Due to this problem, several methods to perform viscosity tests for Newtonian and non-Newtonian fluid were created. The focus of this work was the project of a Saybolt viscometer using a controlled heating system next to containers, fitted with a tip with a capillary hole through which 60ml of the test fluid, already at temperature of 40°C or 100°C, flows out presenting its viscosity, given as Saybolt universal second. According to the tests carried out with the created prototype was obtained results exhibiting a low margin of error, observed through a statistical analysis.

Keywords: Reverse Lubricant. Viscosity. Viscometer.

REFERÊNCIAS

ASTM. American Society for Testing Materials. *ASTM D88–94*. Standard Test Method for Saybolt Viscosity, Pensilvânia, Annual Book of ASTM Standards, 1988.

BROCK, Josiane et al. Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, n.3, p.564-570, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612008000300010>>. Acesso em: 03 nov. 2017.

BRUNETTI, F. *Mecânica dos Fluidos*. 2.ed. São Paulo: Pearson Education. 2008.

FARIA, A. et al. *Fenômenos dos Transportes*. Rio de Janeiro: Universidade Gama Filho, 2011. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAe0SgAH/trabalho-fenomenos-transportes-viscosidade-oleos-lubrificantes-viscosímetros?part=7>>. Acesso: 25 out. 2016.

FINNING. Fluidos Hidráulicos y Acondicionadores de Fluidos. *Edmonton Canadá*, Finning Caterpillar. 20-?. Disponível em: <<http://www.maquinariaspesadas.org/cursos/fbsh/fluidos-hidraulicos-acondicionadores>>. Acesso em: 25 out. 2016.

FITCH, J. Avoiding the pitfalls of viscosity-starved machines. *Tulsa: Machinery Lubrication Magazine*, ed.88, p.2-5, dez. 2015. Disponível em: <<http://www.e-digitaleditions.com/i/601893-machinery-lubrication-november-december-2015>>. Acesso em: 20 out. 2016.

FITCH, B. *Anatomy of a Viscometer*. Tulsa: Noria. Ago. 2013. Disponível em: <<http://www.machinerylubrication.com/Read/29451/anatomy-of-viscometer>> Acesso: 25 out. 2016.

GIANCOLI, D. C. *Physics: principles whit applications*. 7.ed. Nova York: Pearson Education. 2014.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. *Viscosímetro Empírico*. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. 20 de

out. 2011. Disponível em: <<https://glossarioinmetro.wordpress.com/2011/10/20/viscosimetro-empirico/>>. Acesso em: 25 out. 2016.

KITTIWAKE. Kitiwake Developments Limited. *Viscosity: A lubricant's most important characteristic*. Littlehampton: Kitiwake, 20 dez. 2012. Disponível em: <http://www.kitiwake.com/sites/default/files/2%20-%20Viscosity%20Dec12_0.pdf>. Acesso: 22 out. 2016.

LOPES, L. F. *Apostila de estatística*. Rio Grande do Sul: Universidade de Federal Santa Maria 2003. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/~vera.carmo/LIVROS/LIVROS/Luis%20Felipe%20Dias%20Lopes.pdf>>. Acesso em: 04 nov. 2017.

MYERS, A. *Particulates, liquids, oxidation contribute to oil contamination*. Illinois: Plant Engineering 12 de dez. 2012. Disponível em: <<http://www.plantengineering.com/single-article/particulates-liquids-oxidation-contribute-to-oil-contamination/306c08cf96487ab94458b003d563906f.html>>. Acesso em: 20 out. 2016.

NAKAYAMA, Y. *Introduction to fluid mechanics*. Boston: Butterworth-Heinemann, 1998.

NORIA. *Know the effects on water contamination*. Tulsa: Noria, 2015. Disponível em: <www.noria.com/articles/water-contamination-oil/>. Acesso em: 20 out. 2016.

NORIA. *Lubrication basics*. Tulsa: Noria. Disponível em: <<http://www.machinerylubrication.com/Read/24100/lubrication-basics>>. Acesso: 22 out. 2016.

ROCHA, G. *A importância da viscosidade de um lubrificante para o motor*. Santa Catarina: Infomotor, 2009. Disponível em: <<http://www.infomotor.com.br/site/2009/03/667/>>. Acesso em: 24 out. 2016.

TONEGUTTI, C. A. *Reologia*. Paraná: Universidade Federal do Paraná. Notas de Aula. 20-? Disponível em: <http://www.quimica.ufpr.br/tonегutti/CQ170/Aula_Reologia.pdf>. Acesso em: 22 out. 2016.

TROYER, D. *Understanding Absolute and Kinematic Viscosity*. Practising Oil Analysis, Tulsa: Noria, 2002. Disponível em:

<<http://www.machinerylubrication.com/Read/294/absolute-kinematic-viscosity>>. Acesso em: 20 out. 2016.