



PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO PARA TRIBÔMETRO RTEC: SISTEMA DE AQUECIMENTO E MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

Iago Freitas Santana, iago.emec@gmail.com¹
Erickson Fabiano Moura Sousa Silva, efmssilva@uesc.br¹
Vicente Ferraz Silveira, vicenteferrazz@gmail.com¹
Tiago Santa Fé Matos, t.tsmatos@gmail.com¹
Rui Queiroz Salles Neto, rqsneto@gmail.com¹
Givaldo Souza de Oliveira, gisoliveira@gmail.com¹

¹Universidade Estadual de Santa Cruz, Rodovia Jorge Amado, Km 16

Resumo: *Um dos principais fatores que influenciam a viscosidade de um óleo lubrificante é a temperatura. Em laboratórios em que se usam óleos lubrificantes como objeto de estudo, é aconselhável que se tenha um sistema de monitoramento de temperatura para poder validar e dar um valor normativo aos resultados. O tribômetro RTEC localizado na Universidade Estadual de Santa Cruz em Ilhéus/BA não possui esse sistema de monitoramento. O objetivo deste projeto é a instrumentação do tribômetro em questão com o menor custo possível, trazendo a possibilidade de aquecer os óleos utilizados nos ensaios e controlar esse aquecimento através do arduino, uma plataforma de microcontroladores de fácil programação e montagem, muito utilizado para fins didáticos e de baixíssimo custo nos periféricos usados. Desta forma, os ensaios realizados no tribômetro RTEC terão valor normativo dos dados obtidos que serão monitorados com precisão, visto que o sistema foi capaz de aquecer o óleo lubrificante até 100°C numa média de tempo de 481s. Também se visou um sistema que possa ser alterado facilmente para adição de outros periféricos de medição, como por exemplo um medidor de ph, com o intuito de futuramente ser possível o acompanhamento do máximo de variáveis que tenham influência sobre os óleos lubrificantes.*

Palavras chave: *Viscosidade; Tribômetro; Arduino.*

1. INTRODUÇÃO

A tribologia é a ciência que estuda as interações entre superfícies em contato, em movimento, seja de impacto, deslizamento ou rolamento. Tais movimentos geram desgastes nas superfícies em questão, os quais são o principal foco da maioria dos estudos relacionados à tribologia (Bhushan, 2013).

Os estudos desses desgastes sofridos pelas superfícies acarretam projetos cujo objetivo é aproveitar ao máximo das propriedades tribológicas envolvidas no processo, seja ele industrial, nas máquinas em que se utilizam elementos com superfícies em deslizamento ou rolamento, ou no próprio cotidiano, ao escrever com um lápis, polir um carro ou até mesmo fazer a barba (Bhushan, 2013).

A principal ferramenta utilizada para realizar um ensaio controlado tribológico de um material é o tribômetro. O tribômetro é um aparelho de ensaios mecânicos que, através de interações entre superfícies, permite a realização de estudos e análises relacionadas à fricção, desgaste e lubrificação dos materiais (Radi et al., 2007).

O objetivo do trabalho é projetar e executar a instrumentação do tribômetro universal modelo RTEC localizado no Laboratório de projetos mecânicos e tribologia (LAPMET) favorecendo a precisão e a qualidade dos ensaios realizados. Também será possível aderir a padrões internacionais de ensaios, como a norma ASTM D445-17a, já que possibilitará aquecer o óleo lubrificante utilizado e monitorar a temperatura.

O acompanhamento da temperatura dos lubrificantes utilizados nos ensaios é de grande importância, já que a temperatura tem influência direta na viscosidade do óleo.

A matriz de todo o sistema a ser projetado e executado será um arduino modelo Uno, que consiste num microcontrolador com características didáticas e um bom custo benefício. Como sensor, foi utilizado um termostato modelo 18b20, alguns jumpers para realizar a ligação entre os componentes, um display LCD com módulo i2C, para facilitar a visualização da temperatura a ser alcançada e um relé, que será controlado pelo arduino e tornará possível o aquecimento do óleo através de uma célula de aquecimento a ele acoplada.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Tribômetro: Conceitos e aplicações

O tribômetro é um equipamento em que são realizados ensaios para estudo e medição de propriedades de atrito e desgaste em situações específicas. Pode-se citar como situações específicas: o uso de certos materiais combinados com lubrificantes em condições padronizadas de carga, velocidade e temperatura, para uma simulação do uso real de dado material e/ou estudo das propriedades do lubrificante (Radi et al., 2007).

Os estudos realizados com o auxílio do tribômetro têm como principal objetivo a análise em escala macro ou nano da superfície do material, e uma obtenção de dados que auxiliarão no estudo da taxa de desgaste, coeficiente de atrito e/ou durabilidade do filme. Tais estudos podem ter aplicações em áreas como industriais, aeronáuticas, aeroespaciais e automotivas (Radi et al., 2007).

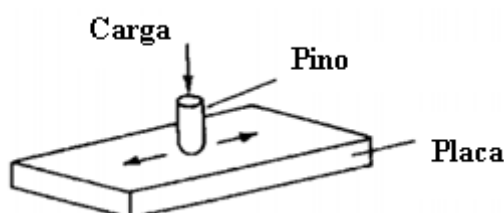
Para tornar os resultados dos ensaios mais próximos dos valores reais, é importante replicar todas as interações dos materiais com os fatores de influência do sistema, tais como: lubrificação, temperatura e meio corrosivo (Verdi, 2011).

Existem diversos tipos de ensaios que podem ser realizados com o tribômetro, e cada um desses ensaios, por norma, possui uma característica específica do sistema a ser estudado. Dentre eles, destacam-se os ensaios PIN-ON-DISK e PIN-ON-FLAT. Para este trabalho, será feita a instrumentação do tribômetro em ensaios PIN-ON-FLAT.

2.1.1 PIN-ON-FLAT

O ensaio PIN-ON-FLAT consiste em uma placa plana se movimentando no eixo longitudinal, em relação a um pino em estado estacionário. Em alguns casos, ocorre o contrário, o pino se move em relação à placa estacionária. O pino pode ser constituído por uma esfera ou simplesmente ter uma ponta hemisférica. A velocidade da placa ou pino e a velocidade de movimento são determinadas por norma escolhida para cada tipo de ensaio (Bhushan, 2013).

Figura 1 - Elementos do ensaio pin-on-flat (Bhushan, 2013)



2.1.2 Lubrificantes

Os lubrificantes podem ser descritos como substâncias de natureza líquida ou sólida, que quando colocadas entre duas superfícies possuem a capacidade de reduzir o atrito entre elas e/ou o desgaste causado pelo movimento. Tendo em vista que atrito e desgaste são dois fenômenos distintos, um lubrificante não, necessariamente, trará eficácia de mesmo grau em cada um desses fenômenos (Bayer, 2004).

De acordo com Bayer (2004), em um sistema metálico em deslizamento, o coeficiente de atrito sem o uso de lubrificantes pode variar entre 0,5 e 1,0 e esses valores podem ser diminuídos em escala de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$ com o uso de lubrificantes, a depender dos parâmetros utilizados no fluido escolhido. Já no que diz respeito ao desgaste, Bayer (2004) afirma que a redução é mais significativa, sendo de no mínimo de uma ordem de magnitude

2.1.3 Influência da temperatura na viscosidade dos lubrificantes

A temperatura de operação dos óleos lubrificantes tem uma forte influência em sua viscosidade. Com o aumento da temperatura, a viscosidade dos óleos cai rapidamente, podendo chegar a uma perda de 80% em um acréscimo de apenas 25°C. É de suma importância para os engenheiros, o conhecimento do valor da viscosidade dos óleos lubrificantes em diferentes temperaturas para um melhor controle do comportamento do sistema a ser estudado (Stachowiak; Batchelor, 2005).

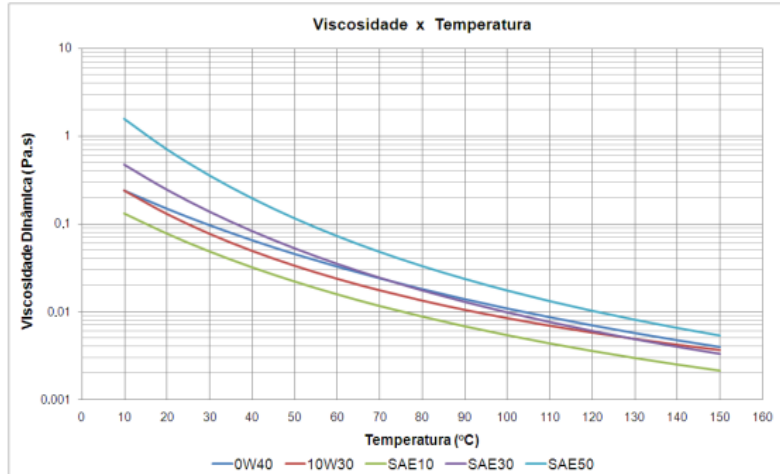
Existem diversas equações que relacionam a temperatura com a viscosidade, nesse caso, utiliza-se a Equação de Vogel, por ser a mais utilizada em cálculos de engenharia

$$\mu(T) = a \cdot \exp\left(\frac{b}{T+c}\right) \quad (0)$$

Onde a , b e c são constantes empíricas e T é a temperatura do fluido.

O gráfico da figura 2 ilustra o valor da viscosidade de alguns óleos lubrificantes para diferentes temperaturas, utilizando-se da equação de Vogel para se obter esses valores

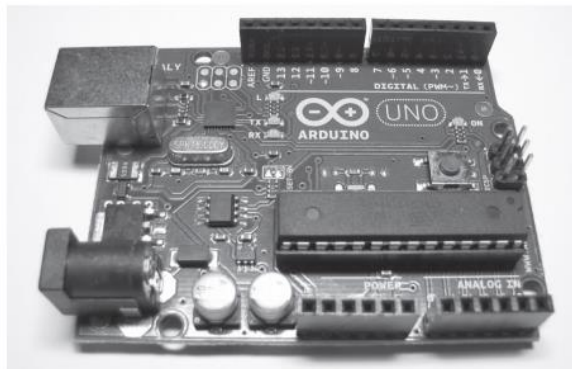
Figura 2 - Viscosidade de alguns óleos lubrificantes sob diferentes temperaturas (Profito, 2010)



2.2 Arduino: Uma introdução tecnológica

O arduino é definido como uma plataforma de computação física, ou seja, um dispositivo que possui a capacidade de interação com o ambiente, através de hardware e software. Ele foi projetado com o intuito de facilitar a prototipação de sistemas por pessoas que não necessariamente dominem programação e eletrônica. Essa facilidade se dá porque o arduino possui fonte aberta de software e hardware, ou seja, os códigos de programação, esquemas de montagem e o projeto como um todo podem ser utilizados por qualquer pessoa e compartilhados livremente (McRoberts, 2011).

Figura 3 - Arduino uno (McRoberts, 2011)

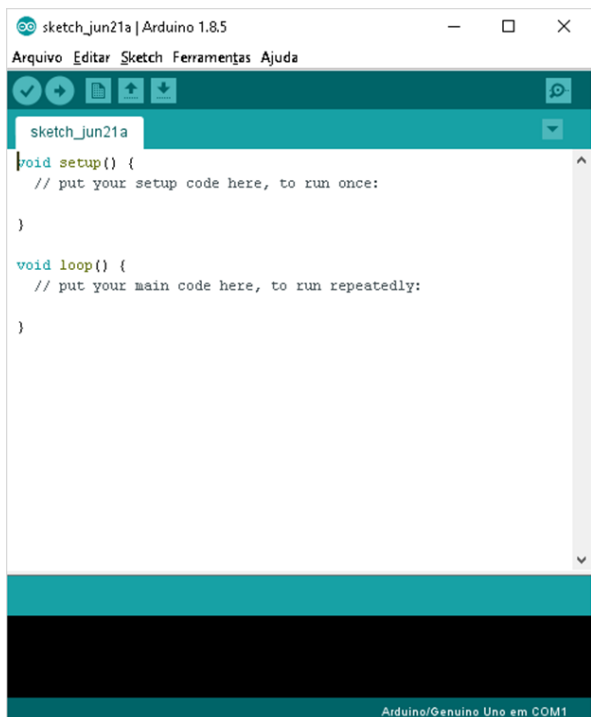


A placa arduino possui pinos de entrada e saída do microcontrolador para conexão com outros circuitos ou sensores e também é composta de um microprocessador Atmel AVR, um oscilador (relógio simples que envia pulsos de tempo em uma frequência especificada, para permitir sua operação na velocidade correta) e um regulador linear de 5 volts (McRoberts, 2011). O arduino utilizado no projeto possui também uma saída USB que permite a conexão com um PC para upload e recuperação de dados.

2.2.1 Arduino: IDE

Sabe-se que o arduino possui seu próprio processador e uma vez programado, não precisa estar conectado a um computador para realizar os comandos. Essa programação de suas funções de leitura ou qualquer que seja o projeto associado a ele, é feita com o auxílio da IDE (Integrated Development Environment) ou mais conhecido como ambiente de desenvolvimento integrado. É um local onde é feita a programação de forma eficaz e interativa, por apontar os possíveis erros de programação e algumas soluções básicas, e por ser muito fácil de manipular, pode ser utilizada até por leigos em computação. A imagem abaixo ilustra a IDE do arduino.

Figura 4 - IDE do arduino (O próprio autor)



Essa IDE pode ser encontrada facilmente no site oficial do arduino e é compatível com diversos sistemas operacionais, além de ser de fácil uso e instalação.

O arduino executa programas escritos em linguagem C++ que é uma linguagem tradicional e de simples aprendizado, até para os leigos no assunto. O programa feito pelo usuário é denominado de sketch e quando a IDE o transmite para o arduino pode ser ligado apenas a uma fonte ou a uma bateria para trabalhar

2.2.1 Estrutura de um programa no arduino

Dentro da janela sketch do arduino, encontra-se toda a programação utilizada para fazer a leitura e execução de comandos e informações. Essa janela é dividida em duas partes: setup, início do programa, onde as variáveis e constantes são definidas, juntamente com a identificação dos sensores e instrumentos a serem lidos pelo arduino, e o loop, local onde será feita a programação do armazenamento e resposta aos dados obtidos pelos sensores e periféricos utilizados

Figura 5 - Sketch do arduino (O próprio autor)



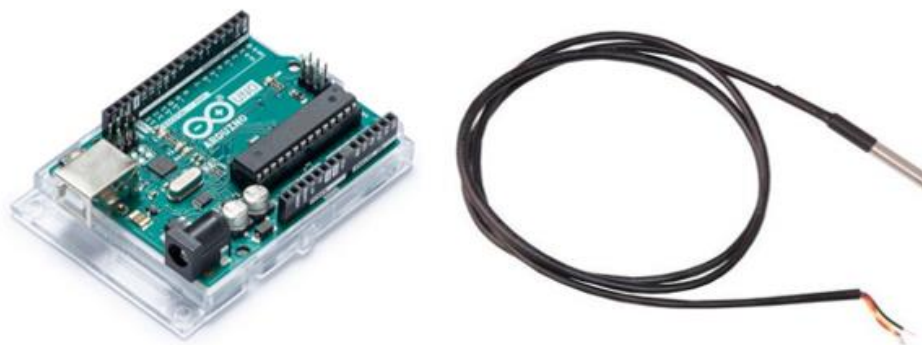
3. METODOLOGIA

Primeiramente foi efetuada a montagem do protótipo, utilizando os elementos que obedeciam aos parâmetros de custo benefício e fácil manutenção e manuseio. Em seguida foram feitos 2 testes: Teste de controle e máxima temperatura e o teste do sistema já instalado no tribômetro. O objetivo do primeiro teste foi de avaliar o comportamento do sistema e se ele de fato seria capaz de aquecer o fluido até a temperatura exigida na norma ASTM D445-17a, e se seria capaz de manter essa temperatura com variações desprezíveis. Já o segundo teste, teve a finalidade de observar se o sistema após instalado no tribômetro, supriria as demandas da norma sob condições reais de ensaio.

3.1 Componentes e montagem

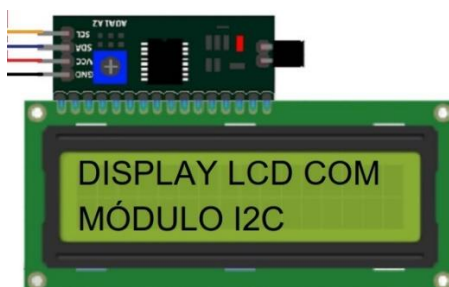
Como base do protótipo, o arduino utilizado foi o Arduino Uno, um modelo com bom custo benefício e de fácil programação. Para a montagem do sistema, foram adquiridos alguns elementos compatíveis com a plataforma do arduino como também foram feitas algumas adaptações. Para que fosse possível o monitoramento da temperatura, foi utilizado um sensor de temperatura do modelo DS18B20, que além de ter um excelente custo benefício, conta com uma boa precisão, de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Figura 6 - Arduino Uno e sensor de temperatura DS18B20 (Arduino, 2018 e Reis, 2014)



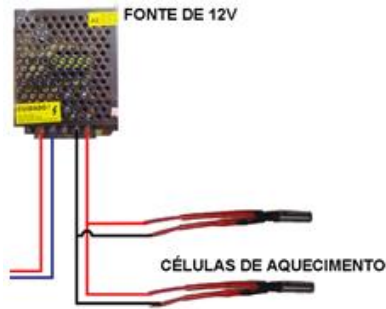
Para tornar possível o monitoramento em tempo real da temperatura de aquecimento do óleo lubrificante, foi utilizado um display LCD já acoplado ao módulo i2C, que reduz a conexão de 16 pinos no protoboard para apenas 4 pinos. O módulo i2C torna mais prática a conexão entre arduino e display, além de tornar a manutenção mais rápida e precisa, por ser necessária uma menor quantidade de fios. A imagem abaixo mostra esse dispositivo.

Figura 7 - Display LCD e módulo i2C utilizados no projeto (O próprio autor)



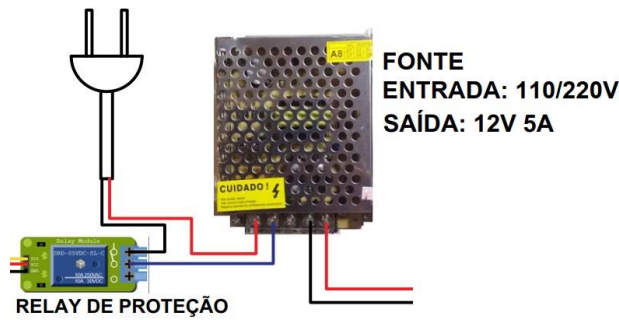
Um dos alvos prioritários da pesquisa envolvida no projeto foi a melhor forma de aquecer o fluido lubrificante, possibilitando o controle por meio do arduino, mantendo assim a linha de baixo custo. A opção mais viável foi utilizar uma célula de aquecimento, pequena resistência encapsulada numa extremidade metálica e preenchida com cerâmica, de uso muito comum em impressoras 3D. Para alimentar essa célula de aquecimento foi necessário o uso de uma fonte chaveada com saída de 12V e 5A. Com esses valores de saída, a opção mais viável foi a utilização de 2 células de aquecimento de 40W de potência cada. A fonte de alimentação propositalmente possuía uma voltagem menor do que o necessário para alimentar cada aquecedor, de forma que cada um trabalhasse com metade da sua capacidade, a fim de diminuir a inércia térmica e se ter uma melhor distribuição dos pontos de aquecimento. Portanto, no circuito final, tem-se 2 aquecedores de 20W cada.

Figura 8 - Ligação entre fonte e células de aquecimento (O próprio autor)



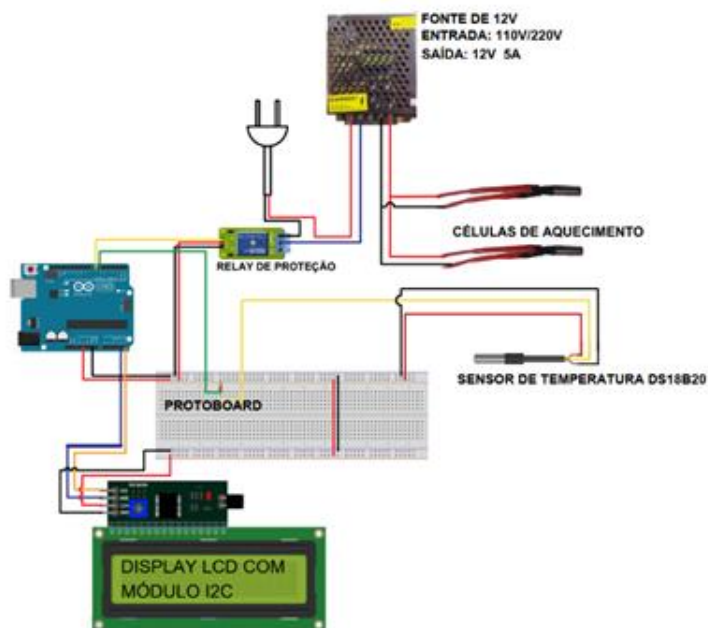
O controle da fonte foi possível por meio de um relay de proteção comandado pelo programa do arduino, fechando ou abrindo o circuito. O parâmetro utilizado para este acionamento foi a temperatura, ao atingir o valor desejado o relay abria, desativando a fonte, e ao descer 0,5°C o relay fechava e acionava novamente a fonte. A ligação entre alimentação de 110/220V e fonte feita no relay foi mantida em normalmente fechada (NF), ou seja, ao ligar na tomada o circuito já começa a ser alimentado pela fonte.

Figura 9 - Esquema de ligação entre relay e fonte (O próprio autor)



O circuito completo é ilustrado na figura abaixo. Após todos os testes e adaptações no programa de execução na IDE do arduino, comprovou-se a possibilidade de controlar o aquecedor de acordo com a temperatura lida no sensor, foram feitos testes para estudo de temperatura máxima atingida e construção da curva de aquecimento para o óleo escolhido

Figura 10 - Circuito completo de aquecimento e monitoramento de temperatura



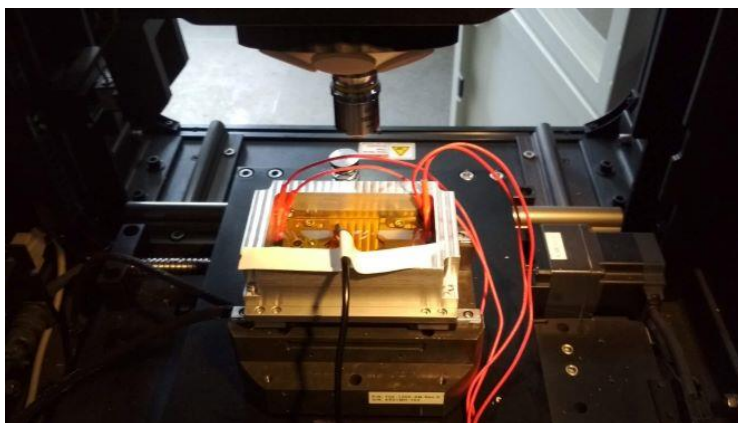
3.2 Teste de controle e máxima temperatura

O primeiro teste efetuado foi a observação na temperatura máxima que o sistema seria capaz de atingir e avaliação do sistema de controle. Em 50 ml de óleo 15W40 (volume aproximado de óleo utilizado no ensaio no tribômetro), armazenado num béquer de 100 ml, o valor máximo obtido, sem estabelecer limites de temperatura para o aquecedor, foi de 125°C. Após provar que o sistema seria capaz de chegar nos 100°C, como exige a norma, foi feito o teste no sistema de controle. Esse teste simulou uma situação de ensaio, cujo sistema tem como objetivo o aquecimento a 100°C e a manutenção dessa temperatura até que o ensaio termine. O sistema de controle manteve a temperatura entre 98,5°C e 101,5°C, variação desprezível para os fins do ensaio. Dessa forma, garante-se que o sistema é capaz de aquecer e controlar a temperatura do óleo lubrificante tanto a 40°C quanto a 100°C como pede a norma ASTM D445-17a.

3.3 Teste do sistema instalado no tribômetro

O segundo e último teste foi com o dispositivo já instalado no tribômetro, e efetuado uma simulação de ensaio, para que fosse obtida uma nova curva de aquecimento, utilizando o mesmo óleo. As imagens abaixo foram tiradas no momento do teste da instalação do sistema no tribômetro.

Figura 11 - Bloco de ensaio do tribômetro (O próprio autor)



A fig.11 acima mostra como os aquecedores (em vermelho) ficaram localizados, para garantir um aquecimento em ambas extremidades do bloco onde o corpo de prova será fixado e submerso ao óleo. O bloco fica em constante movimento, garantindo a homogeneidade do aquecimento e o sensor de temperatura (em preto) fica próximo ao corpo de prova.

Figura 12 - Sistema completo no tribômetro (O próprio autor)



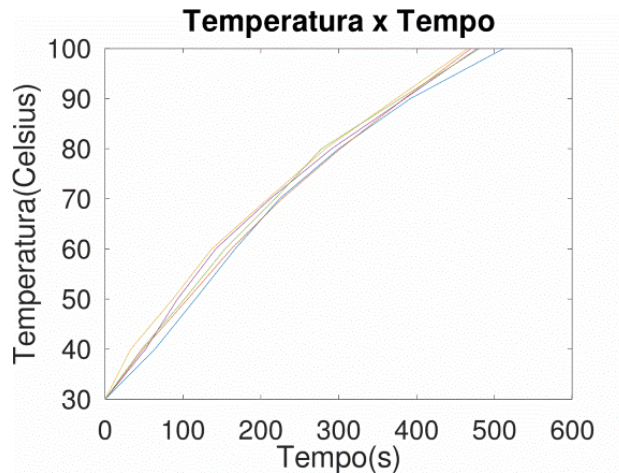
Como toda a parte de controle se localiza em baixo da parte móvel do tribômetro, não haverá interferência alguma do sistema para a movimentação, registro e acompanhamento dos ensaios realizados.

Por conta da alta dissipação de calor, o sistema não foi capaz de alcançar a temperatura de 100°C, mantendo-se a uma temperatura média de 65°C, o que só satisfaz ensaios a 40°C como pede a norma ASTM D445-17a

4. RESULTADOS

Após provar que o sistema seria capaz de aquecer o sistema até 100°C e manter esse valor com variações desprezíveis, foi construída uma curva de aquecimento para os 50 ml de óleo com intervalos de temperatura de 30°C a 100°C no béquer. O tempo de aquecimento também é um parâmetro importante a se avaliar. O gráfico seguinte ilustra os dados obtidos a partir de 5 repetições do aquecimento do óleo de 30°C a 100°C.

Figura 13 - Curvas de aquecimento para óleo 15W40. Cada linha colorida equivale a uma repetição (O próprio autor)



Com os dados obtidos acima, foi possível também calcular a eficiência de aquecimento, por meio da equação de transferência de calor, onde a variação de temperatura foi de 70 °C e o tempo necessário foi a média das 5 replicações: 481,4 segundos.

Aplicando os valores na equação:

$$q = m \cdot cp \cdot \Delta T \quad (2)$$

Onde m é a massa do óleo, cp é o calor específico, ΔT a variação de temperatura e q a quantidade de calor.

A massa do óleo pode ser calculada por meio do volume utilizado de 50 ml e a densidade do óleo, 0,9 g/cm³, o calor específico do óleo, de 1,88 kJ/kg.K e a variação de temperatura que foi de 70°C. Tem-se que:

$$q = 6,185 \text{ kJ}$$

Dividindo este valor pela variação de tempo, tem-se a potência útil:

$$P_{\text{útil}} = 12,85 \text{ W}$$

Cada aquecedor fornece uma potência de 20W, totalizando 40W de potência fornecida, desta forma a eficiência será:

$$n = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{fornecida}}} = \frac{12,85}{40} = 32,1\%$$

Esse valor de eficiência é aceitável por não se considerarem as perdas térmicas do fluido e do recipiente para o ambiente.

Já quando colocado em situações reais de ensaio, o sistema não foi capaz de aquecer o fluido a 100°C, mantendo-se a uma média de 65°C. Isso ocorre por conta de o material do bloco de fixação ser metálico, favorecendo a troca térmica por condução com outros elementos do tribômetro acoplados a ele e por convecção com o ambiente. Desta forma, não foi possível a construção da curva de aquecimento para que fosse feita uma comparação.

5. CONCLUSÃO

O sistema projetado foi eficaz no aquecimento e manutenção da temperatura do fluido selecionado quando armazenado em um béquer, provando a eficácia do projeto. Porém, quando instalado no tribômetro, a dissipação de calor pelo bloco onde o fluido é armazenado foi grande o suficiente para não permitir que a temperatura chegasse no valor necessário para satisfazer a exigência da norma ASTM D445-17a. Este problema de perda de calor pelo bloco, será alvo de estudo e trabalho futuro

6. REFERÊNCIAS

- ARDUINO. Arduino Products. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Main/Products>>. Acesso em: 23 jun. 2018.
- BAYER, R. G. Mechanical wear fundamentals and testing. 2th ed. New York: Marcel Dekker, 2004. 416 p.
- BHUSHAN, B. Introduction to tribology. 2th ed. New York: John Wiley, 2013. 711 p.
- BHUSHAN, B. Principles and applications of tribology. 2th ed. New York: John Wiley, 2013. 980 p.
- MCROBERTS, M. Arduino básico. São Paulo: Novatec, 2011.
- PROFITO, F, J. Modelagem unidimensional de regime misto de lubrificação aplicada a superfícies texturizadas. 2010. 193 p. Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- RADI, P. A. et al. Tribologia, conceitos e aplicações. São Paulo: Anais do XIII ENCITA, 2007.
- REIS, Valdinei Rodrigues dos. Como medir temperatura com um DS18B20. 2014. Disponível em: <<http://www.arduinoobras.com/arduino/arduino-sensor/como-medir-temperatura-com-um-ds18b20/>>. Acesso em: 23 jun. 2018.
- STACHOWIAK, G. W.; BATCHELOR, A. W. Engineering Tribology. 3th ed. New York: Elsevier, 2005.
- VERDI, J. Dispositivo pino-disco para análise de desgaste na presença de diesel e biodiesel. 2011. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e tecnologia de materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.