



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102020025935-0 A2



(22) Data do Depósito: 17/12/2020

(43) Data da Publicação Nacional: 28/06/2022

(54) Título: SISTEMA DE ANÁLISE TRIBOLÓGICA

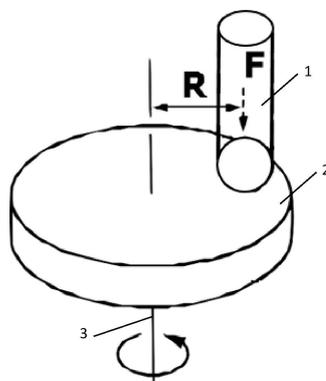
(51) Int. Cl.: G01N 3/56.

(52) CPC: G01N 3/56.

(71) Depositante(es): UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO.

(72) Inventor(es): APARECIDO CARLOS GONÇALVES; CARLOS FELIPE FERREIRA GALVÃO; EMILIANA BORSANELLI SILVA.

(57) Resumo: SISTEMA DE ANÁLISE TRIBOLÓGICA. O presente pedido de patente de invenção descreve sobre os métodos de análise tribológica, ensaiados em laboratório, que são realizados em um equipamento denominado tribômetro, utilizado para avaliar com precisão o comportamento do desgaste por deslizamento de pares de materiais. Os tribômetros comercializados atualmente apresentam um alto valor, pois precisam de um sistema de automação com controle e aquisição de dados, além disso, é necessário que estes equipamentos tenham um controle preciso sobre os parâmetros de teste (carga, velocidade de deslizamento, distância ou tempo do ensaio), além de realizar a aquisição de dados de forma automática. O presente pedido de patente de invenção propõe o desenvolvimento da instrumentação para controle e aquisição de dados de um tribômetro pino sobre o disco, seguindo as recomendações da norma ASTM G99, utilizando hardware de baixo custo e plataforma com código aberto (Arduino) com integração de hardware que são controlados por esta plataforma através da interface I2C. Foram utilizados sensores de medição de temperatura na superfície de contato entre o pino e o disco, célula de carga para determinar a carga normal aplicada, célula de carga para se obter o coeficiente de atrito, acelerômetro para aquisição de dados de (...).



SISTEMA DE ANÁLISE TRIBOLÓGICA

[001] O presente pedido de patente de invenção descreve sobre os métodos de análise tribológica, ensaiados em laboratório, que são realizados em um equipamento denominado tribômetro, utilizado para avaliar com precisão o comportamento do desgaste por deslizamento de pares de materiais, com a capacidade da realização de estudos do tribossistema, através do desenvolvimento de equipamentos de baixo custo para a realização destes ensaios de desgaste de diferentes pares tribológicos, tais como tribômetros.

CAMPO DE APLICAÇÃO

[002] O presente pedido de patente de invenção demonstra a inovação no campo da Engenharia Mecânica, mais especificamente em Tribologia.

ESTADO DA TÉCNICA

[003] Ensaios tribológicos são amplamente conhecidos para determinar o desgaste de materiais durante o movimento de operação dos equipamentos, de modo a determinar a vida útil do equipamento em análise através do conhecimento da taxa de desgaste dos pares tribológicos que compõe o equipamento em análise. A análise e acompanhamento dos desgastes de cada componente presente em um sistema tribológico é essencial, principalmente em equipamentos, cuja falha pode ser catastrófica, como equipamentos mecânicos de grande porte, tais como uma moenda de usina de cana-de-açúcar, os componentes de uma turbina de avião, grandes redutores utilizados em usinas eólicas, entre outros diferentes sistemas em que ocorram o deslizamento de um componente em relação a outro componente, formando assim um par ou mais pares tribológicos.

[004] Um ensaio conhecido e amplamente utilizado dentre os diferentes tipos de ensaios tribológicos disponíveis no estado da técnica é o realizado com o equipamento denominado por tribômetro.

[005] O pedido de patente BR102019018444-2 propôs como invenção um tribômetro de disco duplo. O pedido retrata um conjunto de tribômetro de disco duplo que compreende um primeiro eixo de transmissão de amostra (6)

disposto para receber um primeiro disco de amostra (2) e um segundo eixo de transmissão de amostra (7) disposto para receber um segundo disco de amostra (3); um primeiro motor de acionamento (4) configurado para girar o primeiro eixo de transmissão e um segundo motor (5) disposto para girar o segundo eixo de transmissão; o primeiro e segundo eixos de transmissão configurados para serem posicionados, um em relação ao outro, de tal modo que um disco de amostra montado no primeiro eixo de transmissão faça um contato de ponto com um disco de amostra no segundo eixo de transmissão à medida que os eixos de transmissão giram; e em que o conjunto é configurado para permitir que os eixos girem um em relação ao outro em um movimento alternado não-contínuo ou em um movimento não colinear em que um disco de amostra é inclinado em relação ao outro. No entanto além do custo maior para utilizar dois discos, a invenção também propôs em sua solução o uso de dois eixos para a transmissão de movimento para cada um dos discos, e por consequência o uso de dois motores, ou seja, um motor para cada um dos eixos de transmissão de movimento para o acionamento de cada um dos discos, o que aumenta expressivamente o custo do equipamento uma vez que o motor é o elemento de maior custo na fabricação de um tribômetro, e, portanto esta invenção não resolve o problema de alto custo na fabricação de tribômetros para ensaios de pares tribológicos.

[006] A patente de invenção de modelo de utilidade, BR 20 2012 005346-8, intitulada “TRIBÔMETRO MULTIFUNCIONAL COM CONTROLE DE TEMPERATURA DO DISCO A PARTIR DE MÓDULO DE INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA”, descreve um tribômetro (equipamento para medir atrito entre duas superfícies) multifuncional para caracterizar materiais de fricção (pastilha e disco) utilizados em freios veiculares, o qual possui capacidade de aquecimento do disco através de sistema de indução eletromagnética. Esse equipamento possui módulo de atuação caracterizado por possuir indicador eletrônico do raio de deslizamento, mecanismo de fuso e manivela para movimentação do carro atuador sobre guias lineares. O módulo de rotação

diferencia-se por possuir sistema de mancais composto por 5 rolamentos angulares bem como aletas dissipadoras montadas sobre o eixo da máquina. Em termos de funcionalidades, o modelo de utilidade aqui descrito é provido de tecnologia que possibilita o controle da carga ou do torque de arrasto da amostra sobre o disco no período de resfriamento entre duas frenagens consecutivas bem como modo de operação sob nível controlado de desaceleração ou sob velocidade constante do disco. Essas e outras características tornam a presente invenção uma ferramenta com características inovadoras. A dita patente propôs um modelo de utilidade para um equipamento medir o atrito e o desgaste entre duas superfícies, também conhecido como tribômetro. No entanto o modelo de utilidade proposto foi especificamente desenvolvido para ensaiar materiais de fricção empregados em freios veiculares e similares, limitando assim os ensaios de desgaste apenas para este par tribológico, e sendo assim está patente também não resolveu o problema de alto custo para a fabricação de tribômetros capazes de ensaiar diferentes pares tribológicos.

[007] A patente PI 1004143-5, intitulada “EQUIPAMENTO PARA ADAPTAÇÃO EM TRIBÔMETRO PARA EXECUÇÃO DE ENSAIOS DE DESGASTE EM BIOMATERIAIS UTILIZADOS EM PRÓTESES ORTOPÉDICAS DE JOELHO” tem como objetivo um equipamento construído em aço inoxidável AISI 304, ou outro material que suporte os esforços do conjunto, com mancais de deslizamento ou com rolamentos, para ser adaptado a um tribômetro, suportando os corpos de prova projetados para simular as superfícies de contato e os movimentos de uma prótese ortopédica quando implantada, permitindo, dessa forma, a realização do movimento basculante oscilatório entre as superfícies de ensaio, quando do acionamento do tribômetro. O desenvolvimento de um dispositivo adaptador para tribômetro, específico para ensaios de desgaste em biomateriais utilizados em próteses ortopédicas de joelho. Sendo assim esta patente também não resolveu o problema de alto custo para a fabricação de tribômetros capazes de ensaiar diferentes pares

tribológicos.

[008] Da mesma forma, a patente de modelo de utilidade BR202012005356-8 Y1, intitulada “TRIBÔMETRO MULTIFUNCIONAL COM CONTROLE DE TEMPERATURA DO DISCO A PARTIR DE MÓDULO DE INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA” descreve um tribômetro (equipamento para medir atrito entre duas superfícies) multifuncional para caracterizar materiais de fricção (pastilha e disco) utilizados em freios veiculares, o qual possui capacidade de aquecimento do disco através de sistema de indução eletromagnética. Esse equipamento possui módulo de atuação caracterizado por possuir indicador eletrônico do raio de deslizamento, mecanismo de fuso e manivela para movimentação do carro atuador sobre guias lineares. O módulo de rotação diferencia-se por possuir sistema de mancais composto por 5 rolamentos angulares bem como aletas dissipadoras montadas sobre o eixo da máquina. Em termos de funcionalidades, o modelo de utilidade aqui descrito é provido de tecnologia que possibilita o controle da carga ou do torque de arrasto da amostra sobre o disco no período de resfriamento entre duas frenagens consecutivas bem como modo de operação sob nível controlado de desaceleração ou sob velocidade constante do disco. Essas e outras características tornam a presente invenção uma ferramenta com características inovadoras.

[009] Ainda o pedido de patente, arquivado pelo INPI, de código PI 1001516-7, intitulado “EQUIPAMENTO TRIBÔMETRO COM CONTROLE DE TEMPERATURA E PROCESSO DE PRODUÇÃO”, descreve um tribômetro (equipamento para medir atrito e desgaste entre duas superfícies) específico para o teste com materiais de fricção (pastilha e disco) utilizados em freios veiculares, que possui controle e medição de temperatura para se obter dados que independem deste fator e que são, portanto, mais detalhados. O presente pedido apresentou como inovação uma solução parecida com a solução proposta pela patente BR202012005346-8 cuja inovação era ensaiar um par tribológico específico de pastilha e disco, os quais são utilizados em freios

veiculares, logo esta patente também não resolveu o problema de alto custo para a fabricação de tribômetros capazes de ensaiar diferentes pares tribológicos.

[010] O presente pedido de patente alvitra como solução ao problema de alto custo dos equipamentos tribômetros, disponíveis no estado da técnica, um equipamento do tipo tribômetro de baixo custo, capaz de ensaiar diferentes pares tribológicos, conforme será descrito na sequência deste relatório descritivo.

OBJETIVOS DA INVENÇÃO

[011] O presente pedido de patente de invenção propõe um aperfeiçoamento nos sistemas de análise tribológica conhecidos no estado da técnica por tribômetro com o objetivo de oferecer um novo recurso técnico que permite a análise do coeficiente de atrito e a quantificação do desgaste de pares tribológicos com um equipamento que apresenta baixo custo, quando comparado aos tribômetros disponíveis no estado da técnica. Para isto foi desenvolvido um sistema de controle com instrumentação e processamento de dados para o modelo de tribômetro pino sobre disco, seguindo aos requisitos da norma ASTM G99 (2017) com a implementação de rotinas computacionais e montagem do circuito para controle e aquisição de dados do equipamento com hardware de baixo custo, e assim permitir a realização de testes experimentais com o equipamento desenvolvido para determinar o coeficiente de atrito e quantificar o desgaste dos pares tribológicos preferencialmente com a equação de "Archard" para o mecanismo de desgaste adesivo com deformações plásticas. No entanto, outras equações podem ser utilizadas para esta determinação, tais como a equação de *Bhushan* para deformação elástica, ou a equação de *Rabinowicz* para o desgaste abrasivo, presente no estado da técnica tais como o livro do publicado por Bhushan, "Modern Tribology Handbook". Existem também outras equações para reações triboquímicas. .

DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[012] De modo a facilitar a interpretação da presente descrição da invenção, o

presente pedido de patente de invenção traz as figuras descritas em sequência:

A Figura 1 ilustra uma vista em perspectiva simplificada dos principais componentes de um tribômetro, compreendido por um pino (1), que realiza o movimento sobre o disco (2), o qual está em rotação através do eixo de rotação (3);

A Figura 2 ilustra uma vista em perspectiva da construção preferencial da estrutura básica tribômetro (4) com a montagem do pino (1) sobre o disco (2);

A Figura 3 ilustra uma vista lateral esquerda com os componentes explodidos na montagem de modo a permitir a visualização de cada um dos componentes que compõe o equipamento proposto neste pedido de patente de invenção.;

A Figura 4 ilustra uma vista em perspectiva com os componentes explodidos na montagem de modo a permitir a visualização de cada um dos componentes que compõe o equipamento proposto nesta invenção;

A Figura 5 ilustra o diagrama esquemático de ligação de hardware utilizados para instrumentação do tribômetro modelo pino sobre o disco;

A Figura 6 ilustra o diagrama esquemático preferencial de ligações do sistema de controle para instrumentação do tribômetro modelo pino sobre o disco, mas não restringindo a solução a esta ligação, uma vez que outras ligações podem ser utilizadas para esta solução;

A Figura 7 ilustra uma foto da montagem do equipamento proposto nesta invenção;

A Figura 8 ilustra uma foto da montagem do pino (1) no mandril (5) com o disco (2) e o sensor infravermelho modelo “MLX 90614” (28), o qual pode ser substituído por outros modelos de sensores de temperatura, analógico ou digital;

A Figura 9 ilustra o gráfico com a equação da célula de carga (17) para medir a força de atrito;

A Figura 10 ilustra o gráfico com a equação da célula de carga (17) para medir a força normal, sendo que a célula de carga pode ser substituída por qualquer

modelo de transdutor de força;

A Figura 11 ilustra o diagrama esquemático de ligações do sistema de controle para a aquisição de dados;

A Figura 12 ilustra o diagrama esquemático da conexão entre o acelerômetro giroscópio triaxial “MPU6050” (26) com o microcontrolador Arduino Mega (21), feita por dois terminais de dados (SCL) e (SDA) conexão de protocolo (I2C) para comunicação com Arduino, dois terminais de alimentação, e um terminal de interrupção. O acelerômetro giroscópio triaxial “MPU6050” (26) pode ser substituído por outros modelos de acelerômetro, com diferentes ranges de frequência e o microcontrolador Arduino Mega (21) pode ser substituído por outros microcontroladores a depender da taxa de amostragem desejada pelo usuário.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[013] O presente pedido de patente de invenção proposto permite desenvolver um equipamento utilizado para o procedimento laboratorial de tribologia que determina o desgaste de materiais durante o deslizamento usando um aparelho tribômetro modelo pino sobre disco. Os materiais são testados em pares sobre condições nominalmente não abrasivas. A Figura 1 mostra um desenho esquemático deste tribômetro, onde o dito equipamento consiste em um motor acoplado a um eixo de rotação (3) que aciona o movimento do disco (2), um dispositivo de braço de alavanca com sistema de carregamento e fixação do pino (1) para permitir que a amostra do pino (1) seja forçada contra a amostra do disco (2) em rotação. A faixa de desgaste no disco (2) é em círculo, envolvendo várias passagens de desgaste na mesma trilha. É aplicada uma força (F) normal no pino (1) de diâmetro (d), sendo que a amostra a ser acoplada ao pino (1) para contato com o disco (2) pode apresentar a mesma geometria que o pino (1) de diâmetro (d) ou apresentar a geometria de uma da esfera também de diâmetro (d), o disco (2) em rotação apresenta diâmetro (D), sendo o raio da faixa de desgaste representado por (R) e a velocidade de rotação do disco (2) representada por (W).

[014] Os parâmetros de ensaio que devem ser controlados são a força de carga normal (em N), a velocidade de deslizamento (em m/s), a distância (em m), as temperaturas (em °C) do pino (1) e ou do disco (2) e da atmosfera (temperatura ambiente do laboratório), a umidade relativa do ambiente e do lubrificante.

[015] De acordo com a norma G99 (2017) o motor deve ter velocidade de rotação variável, que está tipicamente na faixa de 60 a 600 (rpm). O equipamento deve ser equipado com um contador de giros ou equivalente que irá gravar o número de rotações do disco (2), e preferencialmente ter a capacidade de desligar a máquina, após certo número pré-selecionado de revoluções.

[016] O sistema também deve ser capaz de medir a força de atrito, por exemplo, através de uma célula de carga (17), para determinar o coeficiente de atrito. Assim, através deste método de teste, é possível determinar e estudar o comportamento do atrito e desgaste nos materiais, com a variação do tempo ou da distância, carga normal, velocidade, temperatura, umidade e lubrificação.

[017] A estrutura básica do tribômetro (4) é fabricada em aço com união por processo de soldagem para a parte estática da estrutura, mas não limita o escopo desta patente a esta construção preferencial ilustrada na figura 2, uma vez que a estrutura básica do tribômetro (4) tem a função apenas de apoio aos elementos funcionais do tribômetro, sendo assim pode apresentar diferentes geometrias conforme a disponibilidade de espaço e matéria-prima para produção da estrutura básica do tribômetro (4).

[018] Na parte estrutural foi adicionado um mandril (5) para fixação do pino (1), para a compensação de altura do sistema de carregamento após a fixação do mandril (5) foram projetados os suportes de aço (6) com dimensões de 14x100 x 300 mm. Após a perfuração do suporte (6) para fixação na estrutura e no cantilever (7), o mesmo foi usinado em uma plaina na parte interna para melhor ajuste com o cantilever (7), conforme ilustrado nas figuras 3 e 4.

[019] Foram montados os pés (8) na estrutura básica do tribômetro (4) a fim de

eliminar a necessidade de uma bancada. Foram adicionados os absorvedores de vibração (9) na extremidade de cada pé, de modo a diminuir os efeitos da vibração durante os experimentos, atuando como um amortecedor de vibração e reduzindo a excitação na base, conforme ilustrado nas figuras 3 e 4.

[020] A instrumentação utilizada nesta invenção é de baixo custo, controlada através de uma plataforma com código aberto (Arduino). A experiência em seu desenvolvimento abrange concepção de sistemas mecânicos, elétricos e eletrônicos, programação e comunicação por microcontroladores.

[021] A Figura 5 apresenta os componentes de *hardware* utilizados para instrumentação do tribômetro modelo pino sobre o disco.

[022] Para o desenvolvimento do sistema de controle foi utilizado um microcontrolador arduino uno (19), um módulo relé (23), um sensor infravermelho reflexivo modelo “E18-d80nk” (27), um inversor de frequência (10) modelo “CFW 08” e um disjuntor tripolar (15).

[023] O inversor de frequência (10) tem a função de acionar o motor elétrico (11), o qual é montado na estrutura básica do tribômetro (4) com o suporte de motor (16), através das variações de frequência da tensão fornecida ao motor (11) para controlar sua rotação. Foi definida a variação de rotação dentro dos parâmetros da norma ASTM G99 (2017). Neste caso, são usadas sete frequências diferentes, correspondentes a cada rotação no inversor (10) CFW 08, variando de 60 a 600 rpm (rotações por minuto) com um intervalo progressivo de 90 rpm, entre as rotações.

[024] O microcontrolador aciona o módulo relé (23), que através de rotinas computacionais define uma combinação binária correspondente a cada rotação configurada no inversor de frequência (10).

[025] O disjuntor tripolar (15) é um dispositivo eletromecânico que funciona como um interruptor automático, destinado a proteger a instalação elétrica contra possíveis danos causados por curtos-circuitos e sobrecargas elétricas.

[026] Para contagem dos ciclos que é referente a cada rotação do motor (11), foi utilizado um sensor reflexivo infravermelho (27), que contém um receptor

(IR) que é o responsável pela detecção de um objeto com uma variação de distância de leitura entre 3 a 80 cm, que deve ser ajustada no potenciômetro do mesmo. Neste caso, foi utilizada a distância mínima. O sensor reflexivo infravermelho (27) pode ser substituído por um sensor de proximidade, o qual pode ser do tipo indutivo, capacitivo, óptico ou ultrassônico.

[027] Foram implementadas rotinas computacionais no microcontrolador Arduino Uno 1 (19), onde o sensor reflexivo infravermelho modelo “E18-d80nk” (27) é usado para leitura do objeto fixado no acoplamento de transmissão de torque (13) do motor (11) o qual está montado abaixo do acoplamento de transmissão de torque (12) ao disco (2). O conjunto Arduino mais sensor reflexivo (27) realiza a leitura do objeto em cada rotação do motor (11) em milissegundos, que é correspondente a cada volta do disco (2).

[028] No início do experimento o usuário deve fornecer o valor de (R) que é o raio da faixa de desgaste e a distância total de deslizamento desejada. A rotina computacional implementada faz a relação da circunferência da trilha de desgaste do disco (2) pela distância de deslizamento, e determina o número de ciclos para o ensaio, o equipamento encerra o teste quando o número de ciclos pré-estabelecido é concluído.

[029] Os fios de cores vermelhas, ilustrados na figura 6, são alimentados com a fonte de energia de 5 Volts (22), os fios de cor preta são o aterramento elétrico. O sensor reflexivo (27) é controlado através da porta analógica, e o módulo relé (23) que aciona o inversor de frequência (10) nas portas de saída digital. A Figura 6 ilustra o esquema de ligação para o controle do equipamento pino (1) sobre o disco (2).

[030] O sistema de aquisição é composto por um microcontrolador Arduino Uno 2 (20), um microcontrolador Arduino Mega (21), um sensor de temperatura e umidade modelo “DHT11” (24), e dois módulos amplificador e conversor modelo “HX711” (25), conforme ilustrado na Figura 5, duas células de carga (17), ilustradas na Figura 2, e um acelerômetro modelo “MPU 6050” (26), conforme ilustrado na Figura 8, e um sensor infravermelho de temperatura

modelo “MLX90614” (28).

[031] O microcontrolador Arduino Uno 2 (20) é usado para aquisição de dados dos sensores de temperatura e umidade ambiente “DHT11” (24), da temperatura na superfície de contato entre o pino (1) e disco (2) com o sensor infravermelho “MLX90614” (28), da força de atrito com a célula de carga “HBM” de 20 kgf (17), e da força normal com uma célula de carga de 20 kgf (17). Para aquisição de dados de temperatura e umidade ambiente foi utilizado um sensor DHT11 (24) calibrado de fábrica. Foi utilizado um sensor infravermelho modelo “MLX90614” (28), que permite medir a temperatura à 15 mm de distância, para medir a temperatura do contato entre o pino (1) e o disco (2).

[032] A célula de carga (17) é um transdutor de força, que transforma uma grandeza física (força) em um sinal elétrico. Este tipo de sensor baseia-se na variação da resistência ôhmica de um extensômetro. As células de carga (17) comumente possuem quatro extensômetros ligados entre si. Quando uma pressão é aplicada na célula de carga (17), a resistência elétrica do extensômetro muda em resposta a essa pressão aplicada. O sinal da célula de carga (17) muda em um intervalo baixo de milivolts de sinal por volt de excitação (mV/V), e essas alterações provocadas precisam ser amplificadas com um circuito de alto ganho para que possam ser lidas por um microcontrolador Arduino Uno 2 (20). O módulo amplificador e conversor “HX711” (25) de 24 bits, é utilizado para amplificar o sinal das células de carga (17). Ele lê as informações da célula de carga (17), amplifica os sinais e envia microcontrolador Arduino Uno 2 (20) para processamento. As células de carga (17) utilizadas possuem quatro fios para conectar ao módulo amplificador e conversor “HX711” (25) e são usados cinco fios para ligar o módulo amplificador e conversor “HX711” (25) ao microcontrolador Arduino Uno 2 (20), Vermelho (VCC), Preto (GND), Dados (DAT), Relógio (CLK), Positivo (VDD). Foi utilizada uma biblioteca do microcontrolador Arduino Uno 2 (20) para comunicar com o módulo amplificador e conversor “HX711” (25), que fornece um recurso de calibração e tara (redefinição) para determinar o valor da carga

aplicada.

[033] Em outra modalidade, ou opcionalmente ao recurso de calibração fornecido pelo sistema é possível calibrar as células de carga (17) com o uso de uma balança analítica com resolução de 0.01 grama (Marca: Marte, Modelo: UX4200H), para a pesagem das massas utilizadas no processo de carregamento e descarregamento, mas a presente invenção não se limita a este modelo de balança para medir as massas utilizadas no processo de carregamento e descarregamento. Primeiro é lido o valor de cada célula de carga (17) individualmente sem nenhuma carga aplicada com o microcontrolador Arduino Uno 2 (20) e o módulo amplificador e conversor “HX711” (25), e esses valores são armazenados em uma planilha, depois é realizado o procedimento de carregamento em cada célula de carga (17), colocando massas com pesos conhecidos que foram pesados anteriormente na balança de precisão.

[034] Como propriamente dito, quando se aplica um peso ou força em uma célula de carga (17) o valor lido se altera. Este novo valor é salvo na planilha de Excel referente ao valor da nova carga aplicada. Esse procedimento se repete no carregamento e descarregamento. Na calibração de ambas as células de carga (17), foram realizados cinco carregamentos e descarregamentos para cada célula (17), individualmente, com aquisição de mil pontos em cada carregamento e descarregamento. Após inserir os dados na planilha Excel dos valores lidos de cada célula de carga (17) através do módulo amplificador e conversor “HX711” (25) e microcontrolador Arduino Uno 2 (20). Foi realizada uma relação entre o valor lido e o peso correspondente deste valor para cada peso que foi adicionado no carregamento, e cada peso que foi retirado no descarregamento. Com isso, uma linha de tendência foi obtida, conforme ilustrado no gráfico da Figura 9 para célula de carga (17) utilizada para medir a força de atrito e na Figura 10 para célula de carga (17) utilizada para medir a força normal. O Eixo (x) é referente aos valores lidos no microcontrolador Arduino Uno 2 (20) e o eixo (y) é o valor correspondente a

massa (g). Após se obter a linha de tendência, a equação desta reta é determinada e utilizada na implementação das rotinas para aquisição dos dados para as respectivas células de carga (17).

[035] Note que na Figura 9, a célula de carga (17) apresentou uma linha de tendência com linearidade, enquanto a figura 10 para valores de carga maiores a mesma teve divergência entre os valores lidos para o carregamento e descarregamento referentes a mesma carga. Esse efeito é devido à qualidade inferior na liga da matéria-prima da célula de carga (17) que provoca um efeito denominado histerese decorrente de trocas térmicas com o ambiente da energia elástica gerada pela deformação, o que acarreta que as medições de cargas sucessivas não coincidam com as descargas respectivas. Porém, após uma série de carregamento e descarregamentos, foi observado que este efeito só acontece em cargas superiores a 4(Kgf).

[036] A taxa de amostragem para aquisição dos dados é variável de acordo com a velocidade do ensaio, ou seja, o tempo entre cada sinal (dt) é o mesmo valor lido no sensor infravermelho reflexivo (27) utilizado na contagem de ciclos, desta forma, cada sinal representa uma volta do disco (2). Essa variação tem um sentido lógico para os dados obtidos na célula de carga (17) usada para medir a força de atrito, pois, se cada valor lido representa um ciclo, e esse tem um valor R que é o raio da faixa de desgaste, com um valor de circunferência que representa uma distância de comprimento (l), o comportamento do coeficiente de atrito ao longo da distância de deslizamento pode ser determinado.

[037] A Figura 11 mostra o diagrama esquemático de ligação entre a placa eletrônica modelo "PROTOBOARD" (18) montada com os resistores (29) e capacitor (30), e o microcontrolador Arduino Uno 2 (20), os módulos amplificador e conversor modelo "HX711" (25), as células de carga (17), sensor de temperatura e umidade modelo "DHT11" (24) e sensor de temperatura modelo "MLX 90614" (28).

[038] O dispositivo desenvolvido para a aquisição e retorno de informações ao

usuário consiste em microcontrolador Arduino Mega (21) e um acelerômetro de 3 eixos e giroscópio de 3 eixos integrados em um único chip “MPU 6050” (26).

[039] A conexão entre o acelerômetro giroscópio triaxial “MPU6050” (26) com o microcontrolador Arduino Mega (21) é feita por dois terminais de dados (SCL) e (SDA) conexão de protocolo (I2C) para comunicação com Arduino, dois terminais de alimentação, e um terminal de interrupção. O esquema mostrando as conexões feitas é ilustrado na Figura 12. A biblioteca utilizada para este dispositivo de aquisição com interface I2Cdev foi desenvolvida por *Rowberg* (2013). Foi desenvolvida uma rotina computacional para leitura da porta serial dos dados através do *software Octave*, onde já é realizada a aquisição e processamento dos dados de desgaste dos pares tribológicos ensaiados neste tribômetro de baixo custo, desenvolvido como inovação na presente patente para resolver o problema de dificuldade em realizar ensaios tribológicos devido ao alto custo destes ensaios, diretamente relacionado ao alto custo dos equipamentos disponíveis no estado da técnica.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de análise tribológica **caracterizado por** conter estrutura básica do tribômetro (4), pino (1), disco (2), eixo de rotação (3), mandril de fixação (5), suporte (6), cantilever (7), pés (8), absorvedores de vibração (9), motor elétrico (11), inversor de frequência (10), acoplamento da transmissão de torque do disco (12), acoplamento da transmissão de torque do motor (13), disjuntor (15), suporte do motor (16), célula de carga (17).
2. Sistema de análise tribológica de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo** sistema de aquisição conter uma placa eletrônica (18), um microcontrolador Arduino Uno 1 (19), um microcontrolador Arduino Uno 2 (20), um microcontrolador Arduino Mega (21), uma fonte de energia (22), um módulo relé (23), um sensor de temperatura e de umidade (24), módulos amplificador e conversor (25), células de carga (17), acelerômetro (26), sensor infravermelho reflexivo (27), sensor infravermelho de temperatura (28), resistores (29), capacitor (30).
3. Sistema de análise tribológica de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pela** montagem do equipamento com o motor elétrico (11) poder ser substituída alternativamente por equipamentos equivalentes.
4. Sistema de análise tribológica de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pelo** microcontrolador Arduino Uno 1 (19), microcontrolador Arduino Uno 2 (20) e microcontrolador Arduino Mega (21) poderem ser substituídos alternativamente por outros modelos de microcontroladores.
5. Sistema de análise tribológica de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pelo** sensor infravermelho modelo "MLX 90614" (28) poder ser substituído alternativamente por um sensor de temperatura.
6. Sistema de análise tribológica de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pelo** sensor infravermelho reflexivo (27) poder ser substituído alternativamente por um sensor de proximidade, do tipo indutivo, capacitivo, óptico, ultrassônico.
7. Sistema de análise tribológica de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado pela** célula de carga (17) ser substituída alternativamente por um transdutor de força.

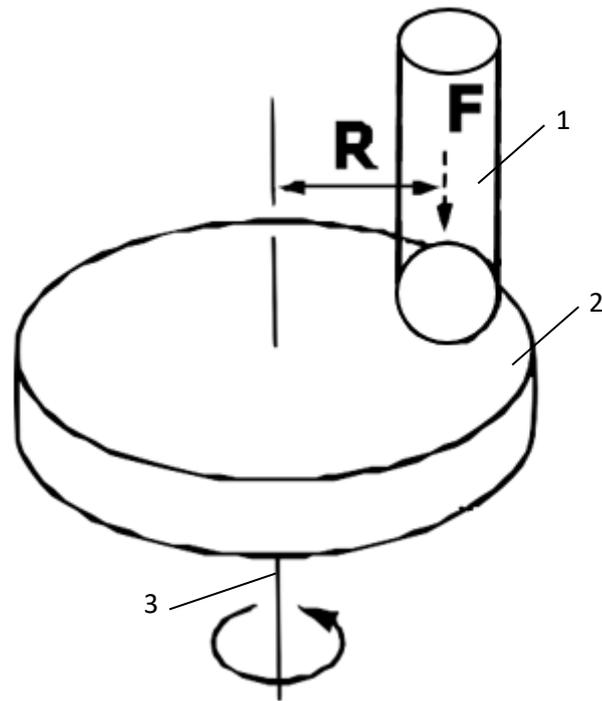


FIGURA 1

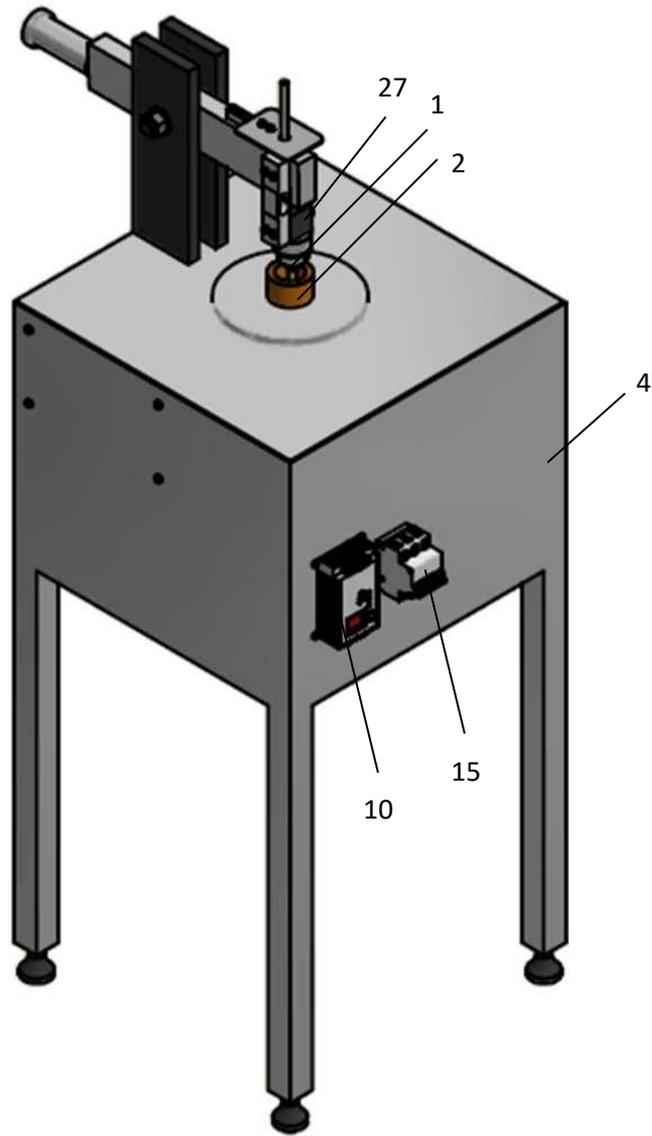


FIGURA 2

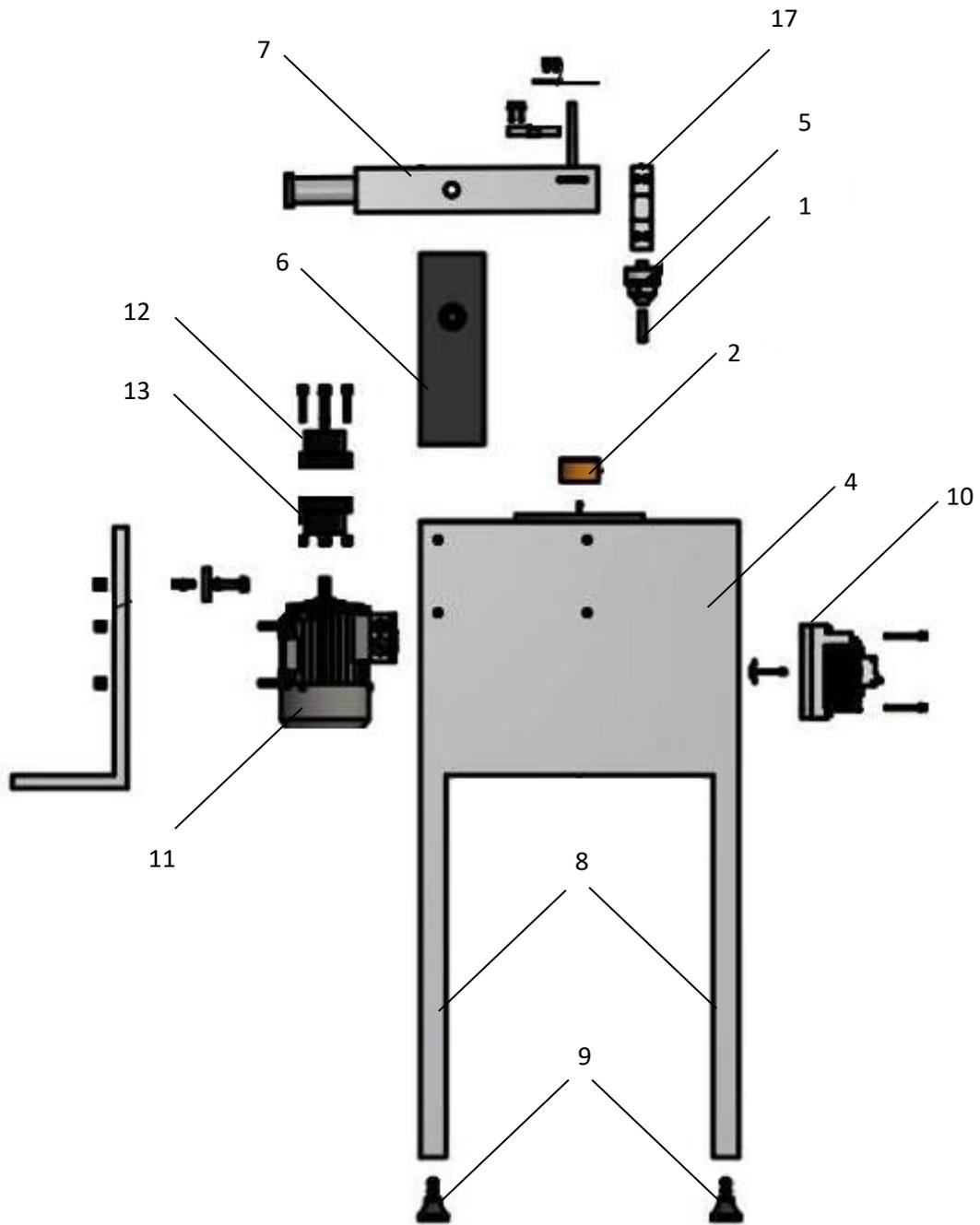


FIGURA 3

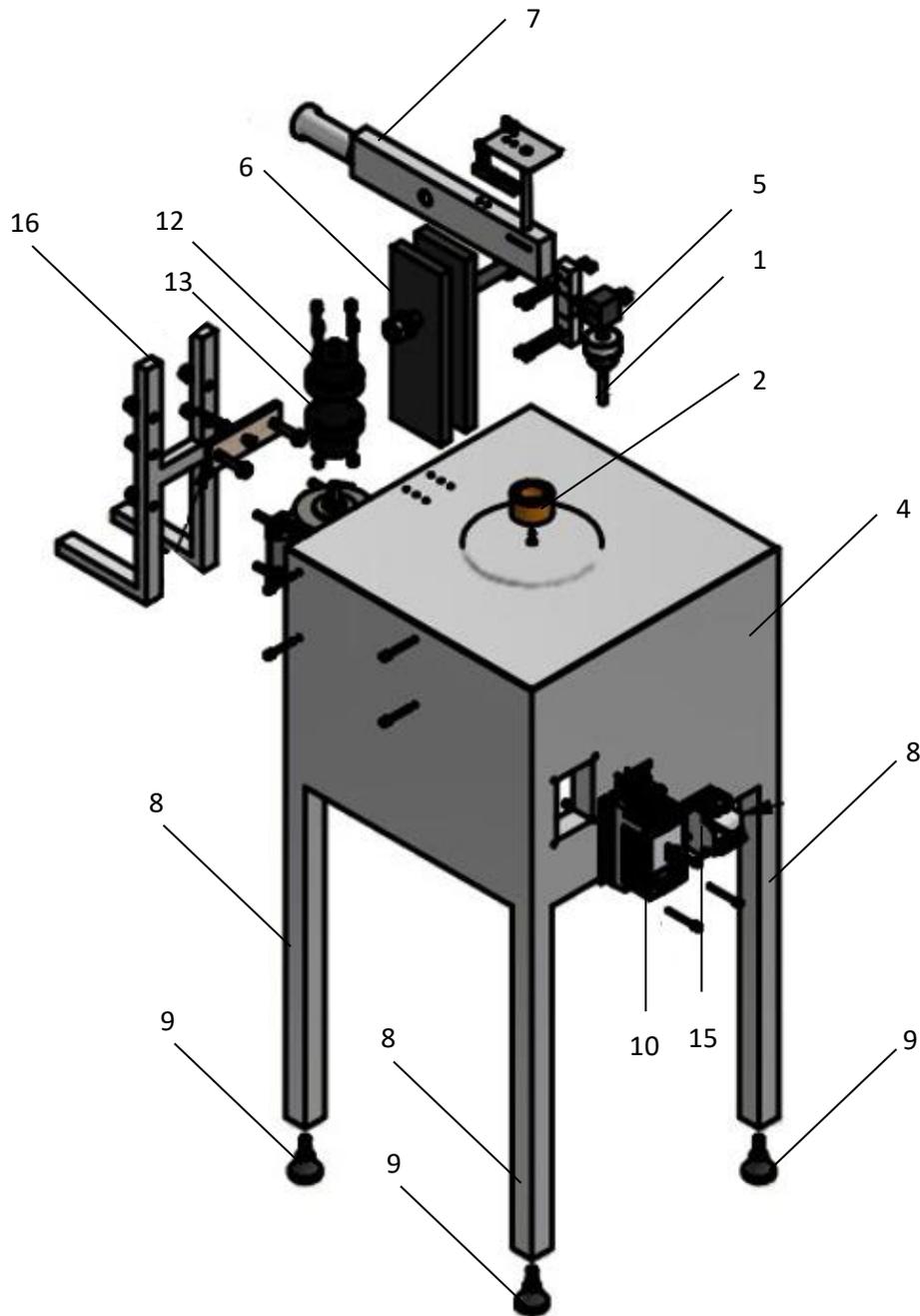


FIGURA 4

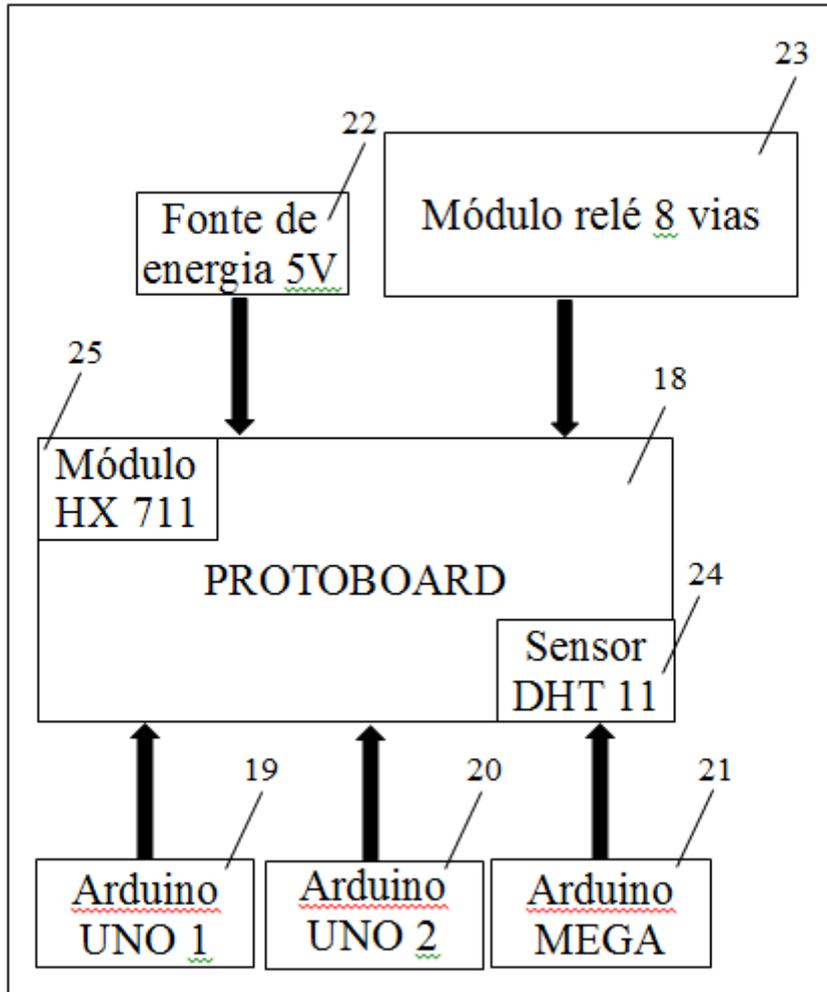


FIGURA 5

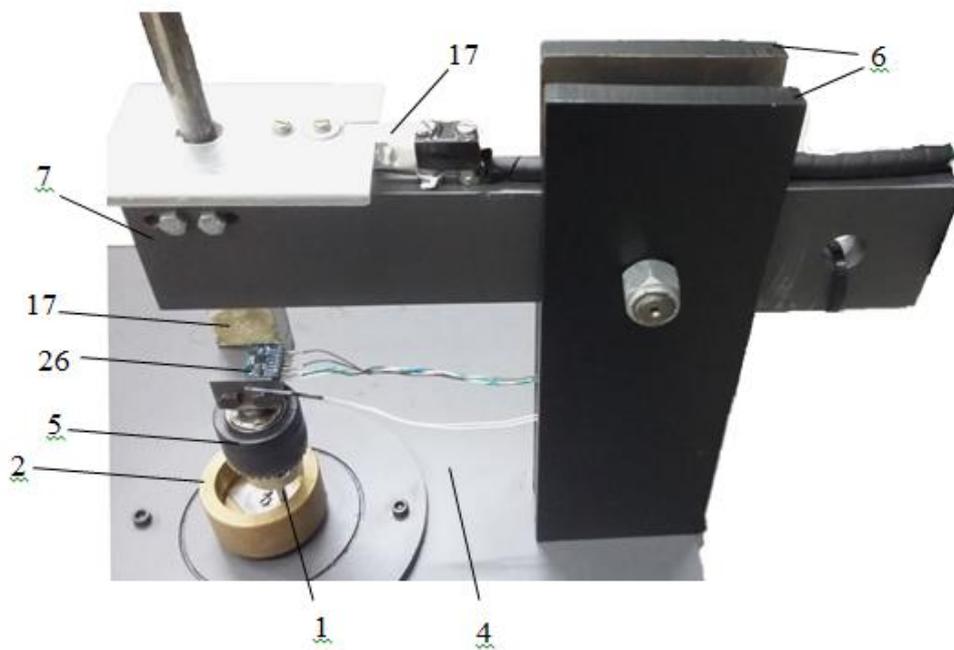


FIGURA 7

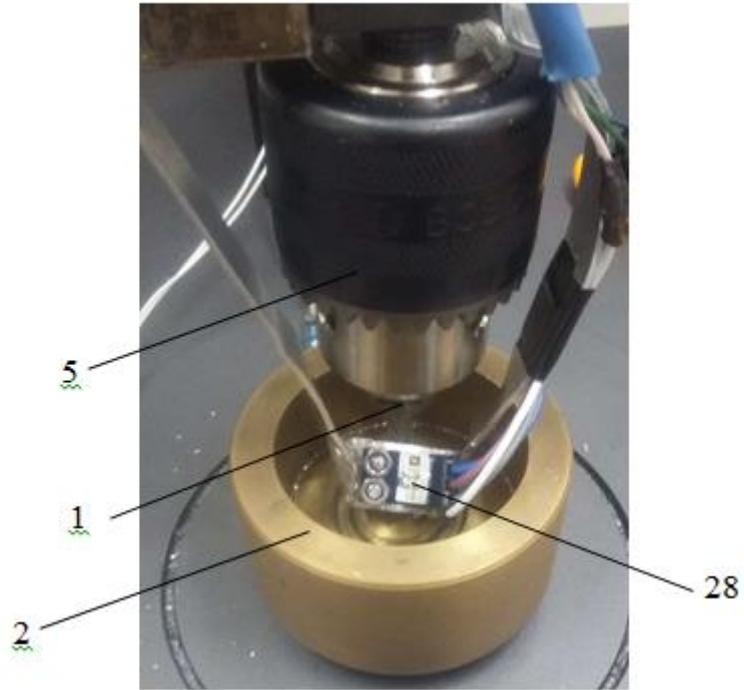


FIGURA 8

**FIGURA 9**



FIGURA 10

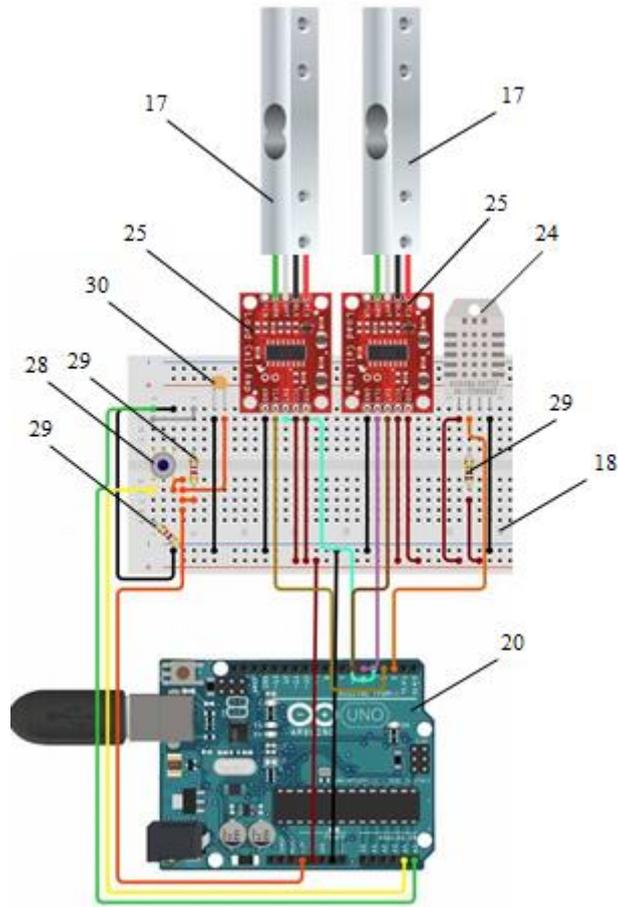


FIGURA 11

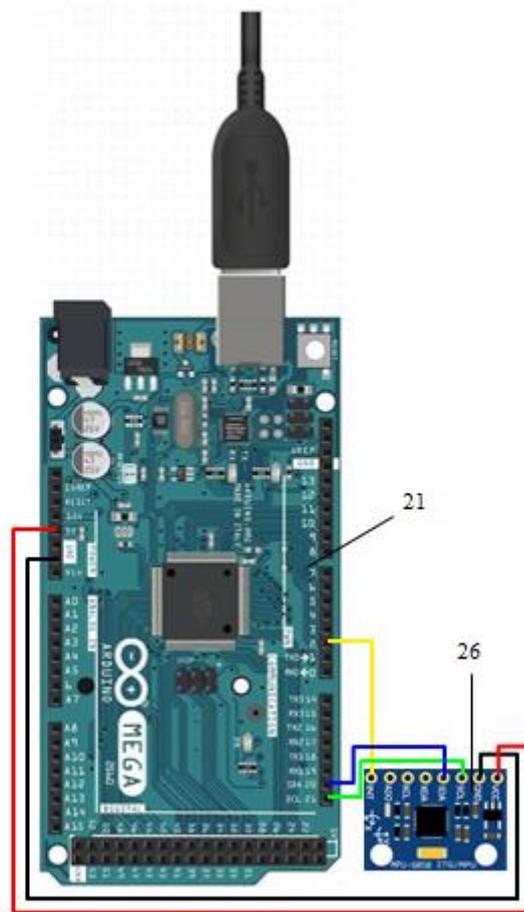


FIGURA 12

RESUMO
SISTEMA DE ANÁLISE TRIBOLÓGICA.

O presente pedido de patente de invenção descreve sobre os métodos de análise tribológica, ensaiados em laboratório, que são realizados em um equipamento denominado tribômetro, utilizado para avaliar com precisão o comportamento do desgaste por deslizamento de pares de materiais. Os tribômetros comercializados atualmente apresentam um alto valor, pois precisam de um sistema de automação com controle e aquisição de dados, além disso, é necessário que estes equipamentos tenham um controle preciso sobre os parâmetros de teste (carga, velocidade de deslizamento, distância ou tempo do ensaio), além de realizar a aquisição de dados de forma automática. O presente pedido de patente de invenção propõe o desenvolvimento da instrumentação para controle e aquisição de dados de um tribômetro pino sobre o disco, seguindo as recomendações da norma ASTM G99, utilizando *hardware* de baixo custo e plataforma com código aberto (Arduino) com integração de *hardware* que são controlados por esta plataforma através da interface I2C. Foram utilizados sensores de medição de temperatura na superfície de contato entre o pino e o disco, célula de carga para determinar a carga normal aplicada, célula de carga para se obter o coeficiente de atrito, acelerômetro para aquisição de dados de vibração, sensor reflexivo para contagem de ciclos do motor e um módulo relé para controle da rotação do motor através do inversor de frequência. Foram realizados experimentos com pares tribológicos para testar o sistema implementado, e realizada a quantificação de desgaste para deformação plástica com a “equação de *Archard*”. Os resultados comprovam a determinação dos diferentes coeficientes de atrito, e o cálculo da taxa de desgaste para condições não lubrificadas.