



# OTIMIZAÇÃO DE UMA BANCADA PARA TESTES DE BOMBAS HIDROSTÁTICAS COM FOCO NO DESENVOLVIMENTO DAS HABILIDADES TECNOLÓGICAS DO ENSINO DE ENGENHARIA

Aron Lemos Ramos<sup>1</sup>

Richard de Medeiros Castro<sup>2</sup>

**Resumo:** A evolução humana gera desafios e quebra de paradigmas para a sociedade. A área de ensino superior acompanha as transformações e se adequa aos novos perfis e características a cada geração acadêmica. O desafio atual para os educadores é tornar atrativo uma disciplina com muito conteúdo teórico, sendo assim, entre as estratégias adotadas está o ensino prático em laboratórios com bancadas didáticas, atrelando o conteúdo teórico com a resolução de problemas, tornando-se uma boa alternativa para despertar o interesse do aluno. O presente trabalho aborda a otimização de uma bancada para testes de bombas hidrostáticas, usada para o desenvolvimento de habilidades tecnológicas de ensino de engenharia, havendo correlação de grandezas elétricas, mecânicas e automação, tornando-se possível o aluno visualizar o comportamento gerado por cada ação na bancada e suas consequências. Sendo que, nesta bancada já foram realizados outros dois trabalhos de conclusão de curso, este trabalho, focou-se em gerar a medição de eficiência mecânica de uma bomba de engrenagens, por meio de leituras de sinais elétricos e melhorias nas coletas de dados de medições já existentes. O software Labview®, possibilitou a geração de inúmeros testes, modelos de leituras com a interface altamente interativa, que contribuiu para o desenvolvimento da bancada desde a sua primeira versão. Gerando resultados satisfatórios comparados aos mesmos testes de outros autores, ressaltado a análise de rotação fixa a 840 rpm e com faixas de pressões variando de 0 a 60 bar. Isso trouxe uma melhor visão da influência das grandezas sobre os índices de eficiência.

**Palavras-chave:** Bomba de engrenagens, eficiência mecânica, software Labview®.

## 1 INTRODUÇÃO

O ensino da engenharia deve ter como objetivo propiciar uma aprendizagem significativa, contextualizada e orientada para o uso das tecnologias contemporâneas.

---

<sup>1</sup> Aron Lemos Ramos, Graduando em Engenharia Mecânica no semestre letivo de 2023-01. E-mail: aronlemos1994@gmail.com

<sup>2</sup> Richard de Medeiros Castro, Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: Richard.castro@satc.edu.br



Também deve favorecer o uso de recursos de inteligência, gerando habilidades em resolver problemas e conduzir projetos nos diversos segmentos do setor produtivo.

Um grande desafio do mundo moderno de ensino é ter capacidade de motivar e despertar o interesse do acadêmico, para que ocorra a aprendizagem. Para isso, existem múltiplas formas e ferramentas, e uma das mais assertivas é correlacionar as atividades teóricas com as práticas executáveis, visíveis e com retornos rápidos.

Conforme o levantamento da CNI (2012) feito pela Confederação Nacional da Indústria, com base nos dados do ministério da educação, entre 2001 a 2011, cerca de 57,4% dos alunos matriculados em engenharia em instituições públicas e particulares desistem do curso ao longo da formação. A principal causa identificada da evasão é a deficiência em matemática e ciências da tecnologia.

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, IPEA (2013), no período de 2012 a 2016, o engenheiro mecânico teve uma taxa de ocupação no mercado de trabalho brasileiro de 94,36%. Aliado a baixa formação de novos profissionais, gera-se uma vacância de profissionais qualificados, capacitados e habilitados.

A preparação de mão de obra da engenharia no método convencional ou tradicional, não desperta o interesse nos atuais acadêmicos. Com isso, é necessário tornar a metodologia de ensino compatível com os modelos atuais de aprendizagem. Esse método, está baseado na ação do aluno, que deixa sua posição de ouvinte e passa a desenvolver habilidades que envolvem alto grau de pensamento, como análise, síntese e avaliação, a partir das atividades. O foco está no aluno e não na transmissão em si (BONWELL; EISONJ 2011).

Com a constante inovação tecnológica dos equipamentos industriais, surge a necessidade que obriga as universidades tecnológicas investirem na qualificação dos seus professores, bem como, na equiparação tecnológica de seus laboratórios com as indústrias, mantendo-as competitivas. Neste aspecto, torna-se necessário oferecer cursos de qualidade, com infraestrutura de laboratório, para manter e atrair novos alunos e continuar formando profissionais atualizados.

Em virtude dos avanços tecnológicos e das múltiplas formas de interação homem – máquina, surge a necessidade acadêmica em ter uma melhor preparação tecnológica, para resolver problemas no campo da engenharia, a partir de uma formação sólida e específica na área de interesse da pesquisa.



A área de sistemas hidráulicos de potência, apresenta grande importância para a indústria e conseqüentemente para os cursos de engenharia mecânica e mecatrônica. Atualmente, o interesse dessa área está associado à eficiência energética e a indústria 4.0, que visa, o maior retorno de dados do equipamento, melhorando em disponibilidade, rastreabilidade e confiabilidade.

O objetivo é a otimização de uma bancada didática para testes de bombas hidrostáticas, existente no Laboratório de Automação e Simulação de Sistemas Pneumáticos e Hidráulicos - LASPHI, que atualmente consiste em um sistema eletro hidráulico desativado. O intuito é ativar essa bancada e adicionar um sistema supervisor de dados via Labview®, para que seja possível, para o acadêmico acompanhar e visualizar a interação entre a teoria dos modelos matemáticos e valores reais de um teste prático de cada ação realizada na bancada instantaneamente e assim apresentar as variáveis em tempo real, auxiliando aos futuros engenheiros nesse conhecimento específico.

## **2 BANCADAS PARA O ENSINO TECNOLÓGICO**

Para Bissinoto (2016) a evasão no ensino superior é um fenômeno complexo e não pode ser estudado fora de um contexto histórico amplo, pois caracteriza a expressão da realidade de níveis anteriores de ensino, baseados em uma cultura social de aprendizagem.

Ainda para o autor, há fatores que implicam na evasão no ensino superior nas áreas tecnológicas, como: difícil aprendizagem do aluno, local de inserção, fatores pessoais e psicológicos, ambiente acadêmico, individualidade do docente e o não compreensão da sua importância para sociedade.

O censo da educação superior de 2015, divulgado pelo Inep, revelou um aumento desordenado na taxa de desistência do curso de ingresso entre os anos de 2010 e 2014, no Brasil. Em 2010, a taxa de abandono foi de 11,4%, tendo saltado para 49% em 2014. Este resultado reforçou a tese dos agentes governamentais da necessidade de reforma no ensino no país (MEC, 2018).

A alternativa em que os centros de ensinos tecnológicos buscam para facilitar a aprendizagem é desenvolvendo metodologias ativas, que permitem relacionar a teoria com a prática. Nos estudos de hidráulica, a melhor maneira para tal, é por meio das bancadas específicas de ensino.



Segundo Toledo e Ferreira (2016), o uso de bancadas tem como objetivo, melhorar a compreensão dos conceitos físicos relacionados de bombas hidráulicas, servindo como ferramenta no currículo de alguns cursos de engenharia.

As bombas hidráulicas de engrenagens ocupam as diversas áreas e aplicações industriais e estão inseridas em um vasto campo de equipamentos, seja de fabricação, transformação, transporte e degradação de um produto. Seus componentes possuem uma grande variação de itens e tamanhos, para atender as características específicas de cada aplicação, porém o princípio é o global, surge então, a necessidade de domínio cada vez maior nessa área de aprendizagem.

## 2.1 SISTEMAS HIDRÁULICOS

Aplicações hidráulicas são hoje utilizadas em praticamente todos os ramos de atividades, face às inúmeras vantagens na racionalização dos métodos operacionais de trabalho e do volume excepcional, do trabalho alcançado pela automatização das máquinas e serviços.

Segundo Lana (2005), um sistema hidráulico é um conjunto de elementos físicos convenientemente associados que, utilizando um fluido como meio de transferência de energia, permite a transmissão e controle de forças e movimentos. Tendo como características relevantes, a confiabilidade dos componentes empregados no sistema, visto que, a baixa relação de peso/potência aplicada é fundamental para projetos que necessitam grandes forças e baixo peso e energia envolvida.

A hidráulica é uma tecnologia amplamente utilizada em aplicações que exigem controle de grandes cargas e alta densidade de potência. Entretanto, os sistemas hidráulicos também são conhecidos por apresentarem uma baixa eficiência energética, especialmente quando comparada aos sistemas elétricos.

Uma unidade hidráulica é a junção de componentes, que tem como objetivo proporcionar força e movimento a um determinado equipamento, podendo padronizar um processo produtivo, assim colaborando para uma manufatura enxuta, por exemplo. Tendo como o seu principal componente a bomba hidráulica, sendo ela a responsável por converter energia mecânica em energia hidráulica.

Os sistemas hidráulicos para sua melhor performance e durabilidade, devem ser adicionados itens de monitoramento, ou seja, sensores capazes de informar o que

está acontecendo com o circuito. Somente assim, obtém-se uma alta confiabilidade e eficiência no sistema.

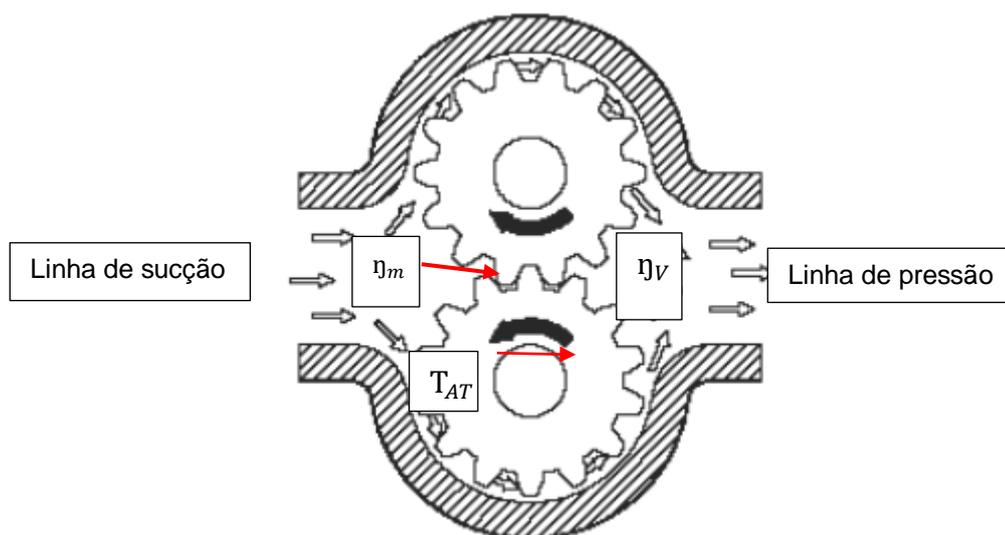
A medição das eficiências energéticas em bombas de engrenagens são fundamentais para um bom dimensionamento e melhoria de processos e projetos industriais, evitando custos operacionais desnecessários.

## 2.2 BOMBA HIDRÁULICA DE ENGRENAGEM

As bombas de engrenagens são elementos de deslocamento positivo que compõem sistemas hidráulicos e são responsáveis por converter energia mecânica em energia hidráulica. Formadas por um par de engrenagens, envoltas por uma carcaça, a primeira engrenagem é acionada pelo motor e a segunda é acionada pela primeira. Esse movimento gerado succiona o fluido, geralmente óleo-hidráulico, que é deslocado para a conexão de saída e para o sistema, conforme (LANA, 2005).

A Fig. 1 apresenta a representação das eficiências volumétrica e mecânica em uma bomba hidráulica de engrenagens.

Figura 1- Esquemático de uma bomba de engrenagens.



Fonte: Linsingen (2016) Fundamentos de sistemas hidráulicos.

O desempenho de uma bomba hidráulica de engrenagens está ligado diretamente a exatidão de sua fabricação e a fatores operacionais do sistema, segundo (LINSINGEN, 2016). Esse elemento está diretamente ligado ao consumo de energia



elétrica do sistema, desta forma, os seus rendimentos são fundamentais para tornar-se um projeto atrativo. Consequentemente, os estudos sobre os rendimentos de bombas, tornam-se fundamentais para os acadêmicos das áreas tecnológicas, conforme mostra a Fig. 1.

Vale a pena ressaltar o torque de atrito, que consiste na força de oposição ao movimento entre dois objetos, que faz com que um deles gire em torno de um eixo. Ele mostra resultados de quanta força um objeto que está girando, exerce sobre o outro depois de considerar a força perdida de fricção entre os objetos (LINSINGEN, 2016).

### 2.3 RENDIMENTOS PARA UMA BOMBA DE ENGRENAGEM

Segundo Lopes e Inácio (2016), o desempenho de uma bomba hidráulica de engrenagens está diretamente relacionado com a exatidão da fabricação e fatores operacionais do sistema, como: pressão de trabalho, temperatura do fluido e rotação do acionamento. Estes fatores estão relacionados de tal maneira, que para determinar as condições reais de funcionamento da bomba, é necessário preestabelecer os valores das variáveis operacionais do sistema.

#### 2.3.1 RENDIMENTO VOLUMÉTRICO - $\eta_V$

Devido à existência de folgas entre as peças móveis e a diferença de pressão e da rotação em uma bomba hidráulica de engrenagens, as perdas volumétricas ocorrem (LINSINGEN 2016). Conforme a Eq. 1, para o autor, perdas excessivas de vazão podem ser causadas pela cavitação e aeração encontrados em alguns sistemas, ocasionando, fugas internas que tem como consequência o aumento de diferencial de pressão imposta na bomba.

Assim, a vazão efetiva de uma bomba, pode ser determinada pela equação:

$$Q_E = Q_{VT} - Q_F \quad (1)$$

Onde,

$Q_E$  = vazão efetiva na saída da bomba [ $m^3/s$ ]

$Q_{VT}$  = vazão volumétrica teórica [ $m^3/s$ ]

$Q_F$  = vazão de fuga interna da bomba [ $m^3/s$ ]



A Eq. 2 trás a vazão volumétrica teórica que é dada por:

$$Q_{VT} = D_{TC} * w \quad (2)$$

Onde,

$Q_{VT}$  = vazão volumétrica teórica [m<sup>3</sup>/s]

$D_{VT}$  = deslocamento volumétrico considerado [m<sup>3</sup>]

$w$  = velocidade angular da bomba [rad/s]

A Eq. 3, mostra o rendimento volumétrico de uma bomba hidráulica é encontrado através da relação entre a vazão calculada e a vazão efetiva da bomba, ou seja:

$$\eta_V = \frac{Q_E}{Q_{VT}} \quad (3)$$

Onde,

$Q_{VT}$  = vazão volumétrica teórica [m<sup>3</sup>/s]

$Q_E$  = vazão efetiva na saída da bomba [m<sup>3</sup>/s]

$\eta_V$  = Rendimento volumétrico [admissional]

### 2.3.2 RENDIMENTO MECÂNICO - $\eta_m$

Em bombas hidráulicas de engrenagens, as perdas mecânicas são geradas pelo atrito interno das peças móveis e traduzem-se como perdas de torque. Essa perda de torque pode ser dividida em três tipos diferentes: torque devido ao atrito mecânico, torque devido ao atrito viscoso do fluido e torque devido ao atrito gerado pelas vedações da bomba. O somatório destes três diferentes tipos de torque, pode ser expresso como um torque de atrito, de tal modo que, o torque real de uma bomba de engrenagens é o somatório do torque teórico calculado, com o torque por atrito (BLACKBURN, J.F; REETHOF, G.; SHEARER 1960), logo:

$$T_E = T_{TC} - T_{AT} \quad (4)$$

Onde,



$T_E$  = Torque efetivo na saída de bomba [Nm]

$T_{TC}$  = Torque teórico calculado [Nm]

$T_{AT}$  = Torque de atrito [Nm]

Conforme a Eq. 5, o torque teórico calculado é dado pela multiplicação entre o deslocamento volumétrico teórico e a diferença de pressão imposta na bomba, ou seja:

$$T_{TC} = D_{VT} * \Delta_p \quad (5)$$

Onde,

$T_{TC}$  = Torque teórico calculado [N\*m]

$D_{VT}$  = Deslocamento volumétrico considerado [m<sup>3</sup>]

$\Delta_p$  = Diferença de pressão entre a entrada e saída da bomba [Pa]

Para a Eq. 6, utilizando-se das relações descritas acima, é possível calcular o rendimento mecânico de uma bomba de engrenagens, com a seguinte equação:

$$\eta_m = \frac{T_E}{T_{TC}} \quad (6)$$

Onde,

$T_{TC}$  = Torque teórico calculado [Nm]

$T_E$  = Torque efetivo na saída de bomba [Nm]

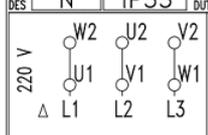
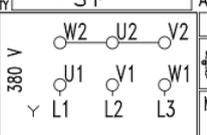
$\eta_m$  = Rendimento mecânico [admissional]

#### 2.4 DEFINIÇÃO DA POTÊNCIA PARA UM MOTOR ELÉTRICO TRIFÁSICO DE CORRENTE ALTERNADA

As máquinas elétricas rotativas fazem a função de conversão de energia elétrica em energia mecânica, também reconhecida como motores elétricos. A conversão de energia é feita, pela interação entre correntes elétricas e campos magnéticos. O princípio de funcionamento das máquinas elétricas está associado ao surgimento de forças de origem eletromagnética, que são produzidas pela interação dos campos magnéticos produzidos por dois tipos de enrolamentos, as bobinas.

Conforme mostra a Fig. 2, uma bobina permanece fixa, representando o estator da máquina, e a outra gira ao entorno do eixo da máquina, parte móvel ou rotor, conforme (GUSTINA 2017).

Figura 2: Placa de motor elétrico com os principais dados.

WEG		W22 Premium	
3 kW(HP-cv)	0.75(1.0)	CARC. FRAME 80	MOTOR INDUCAO - GAIOLA INDUCT. MOTOR-SQUIRREL CAGE
220/380		A	2.89/1.67
RPM (min <sup>-1</sup> )	1725	Hz	60
REND.(%) NOM.EFF.	83.0	AMB.	40°C
CAT	N	IP55	REG. DUTY S1
DES			Ait. 1000 m.a.n.m. m.a.s.l.
220 V		380 V	
			
Kg		Kg	
		+6204-ZZ	
		+6203-ZZ	
MOBIL POLYREX EM			
CE		RENDIMENTO E FATOR DE POTÊNCIA APROVADOS PELO INMETRO	
		PROCEL	
		NBR - 17094-1	
		INMETRO	

Fonte: Site WEG (2012)

Inventado por Nikola Tesla, o motor elétrico é o mais utilizado em razão de sua simplicidade, robustez, baixo custo e melhor eficiência (WEG, 2012). O motor apresenta sua maior eficiência quando trabalha com cargas entre 75 á 100 % de sua potência nominal (MELLO, 2013).

#### 2.4.2 POTÊNCIA ELÉTRICA

Potência elétrica é definida como a rapidez com que um trabalho é realizado, ou seja, é a medida do trabalho realizado por uma unidade de tempo. A unidade de medida da potência elétrica, de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI), é o Watt (W) (ELETROBRÁS, 2013).

Já para mensurar a potência elétrica de um motor elétrico trifásico pode-se utilizar a seguinte Eq. 7.

$$P_{MOT} = T_E * N_M * \left[ \frac{2\pi}{60} \right] \quad (7)$$

Onde,

$P_{MOT}$  = Potência do motor elétrico trifásico [W]

$N_M$  = Rotação do motor [RPM]

$T_E$  = Torque efetivo na saída de bomba [N\*m]

#### 2.4.2 CORRENTE ELÉTRICA



A corrente elétrica tem como definição, o movimento ordenado de cargas elétricas de um condutor e foi descoberta pelo matemático e físico, André Marie Ampère. Tendo, a sua unidade de medida no Sistema Internacional de Unidades (SI) ampère (símbolo A), conforme mostra a Eq. 8.

Já a corrente de um motor elétrico tem como definição, a quantidade de amperes necessários para que a máquina tenha um funcionamento satisfatório, ou seja, a capacidade máxima de corrente elétrica que um determinado aparelho, máquina ou dispositivo é capaz de suportar sem que eles sejam danificados (ELETROBRÁS, 2013).

$$I_M = \frac{P_{MOT}}{U_M * \sqrt{3}_m * \eta_{Mot} * \cos\varphi_M} \quad (8)$$

Onde,

$P_{MOT}$  = Potência do motor elétrico trifásico [W]

$I_M$  = Corrente elétrica [A]

$U_M$  = Tensão elétrica [V]

$\eta_{Mot}$  = Rendimento elétrico do motor [admissional]

$\cos\varphi_M$  = Fator de potência do motor elétrico utilizado [admissional]

$\sqrt{3}_m$  = Fator multiplicador de motores trifásicos [admissional]

### 3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Apresentam-se aqui os procedimentos e metodologias, para o desenvolvimento da otimização de uma bancada para testes de bombas hidrostáticas, usada para o desenvolvimento das habilidades tecnológicas de ensino de engenharia.

#### 3.1 BANCADA DE TESTES PARA EFICIÊNCIA DE BOMBAS HIDRÁULICAS

O estudo da eficiência volumétrica e mecânica da bomba, além da eficiência do motor elétrico, foi possível, mediante a utilização de uma bancada que tem listado abaixo os seus principais componentes.

Tabela 1 - Principais componentes que compõe a bancada didática

<b>Descrição</b>	<b>Características</b>
Motor elétrico de indução trifásico de 4 polos	Rotação: 1100 RPM Potência : ¼ cv, 220 V
Bomba hidráulica Parker	Tipo: Engrenagens Fabricação: 1992 Volume deslocado: 0,33 cm <sup>3</sup> /rot
Sensor indutivo M6 PNP	Proximidade: 3 a 5 mm Tensão: 5 Vcc
Sensor de fluxo 24Vcc PNP	Modelo: OF05ZAT Volume deslocado: 0,85 ml / rot
Transdutor de pressão 200 bar	Modelo: TR-N-1-E-B01C-V Alimentação : 24 Vcc Sinal : 0 a 10 Vcc
Módulo de tensão	Modelo: ZMF 7101B Tensão de leitura: 0 a 250 V Tensão de sinal : 0 a 5 Vcc
Módulo de corrente	Modelo: ACS 712 Corrente de leitura: 0 a 10 A Tensão de sinal : 0 a 10 Vcc
Sensor de temperatura	Modelo: PT-100 – 100 mm Condicionador de Sinal: 0 a 10 Vcc
Inversor de frequência	Modelo: MOVITRAC LT Potência: 0,37 kW Corrente : 2,3 A Tensão: 220 v
Placa de aquisição dados	Modelo: USB – N 6002 National Instruments

Fonte: Do autor (2023)

A utilização de bancadas de ensino com componentes elétricos é de grande importância no meio acadêmico, contudo, é necessário sempre evoluir para a utilização de instrumentos eletrônicos nestas bancadas, para que, seja possível desenvolver sistemas integrados de supervisão, monitoramento e controle, com grande flexibilidade (GUSTINA, 2017).



O instrumento é um dispositivo capaz de converter uma variável física, na qual tenha-se interesse de medir, em uma variável de sinal que é relacionada direta ou indiretamente com a grandeza real, conforme (WEBSTER 1999). Havendo duas maneiras de medição: indireta e direta.

Segundo Albertazzi (2008), o ajuste de um instrumento é o conjunto de procedimentos realizados sob condições específicas, onde se busca descobrir a relação matemática entre o valor do sinal de um instrumento, com valor de determinada grandeza física padrão. Exemplificando, a leitura de pressão digital obtida na interface do software.

Conforme a Tab. 1, o transdutor de pressão concede um sinal em tensão contínua, que através do sistema de blocos do software Labview®, de suas funções é possível gerar o manômetro digital na tela virtual, tendo uma leitura real compatível a medição direta no manômetro de Bourdon.

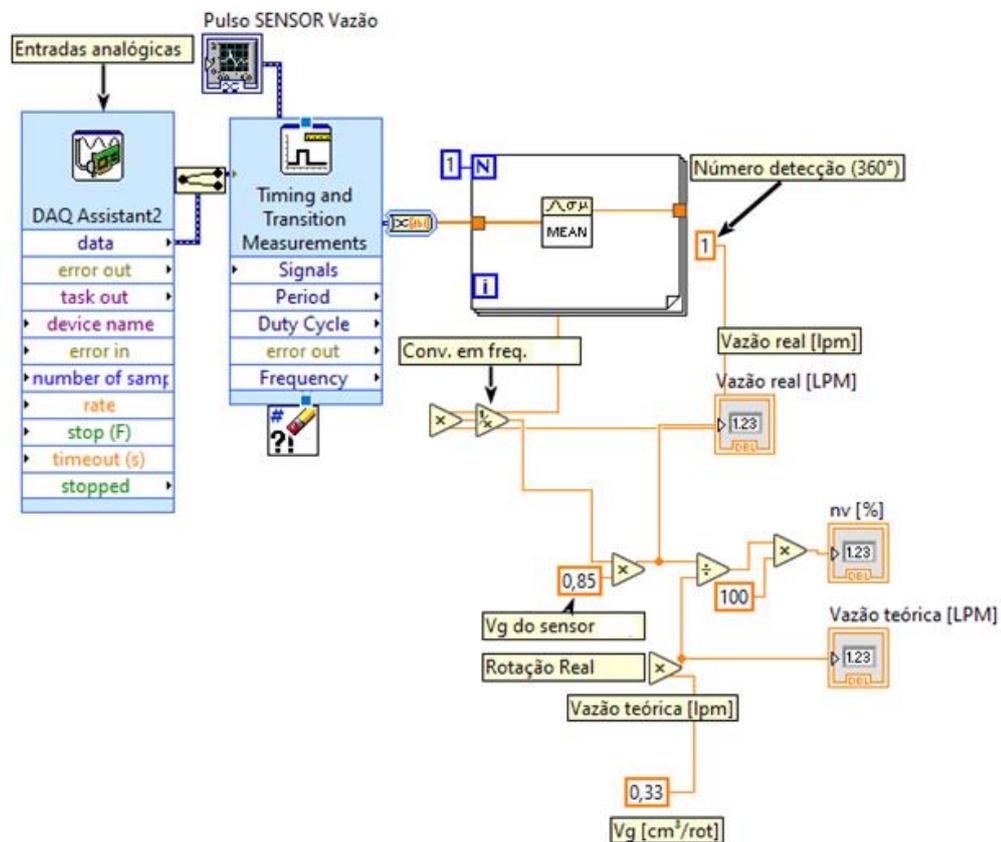
### 3.2 EFICIÊNCIA VOLUMÉTRICA

Um dos pontos mais importantes na análise do rendimento de uma bomba de engrenagens, é a avaliação das perdas volumétricas, decorrentes das folgas existentes entre as partes móveis do componente, em consequência da diferença de pressão que lhe é imposta (LINSINGEN 2016). Considera-se também, que a cavitação e a aeração encontradas em alguns sistemas podem também gerar perdas de vazão, mas como estes efeitos devem ser evitados, foi desconsiderado pelos cálculos da atual bancada.

Pesquisas apresentadas pelos autores Lopes e Inácio (2016) e Gustina (2017), já realizados em suas respectivas bancadas didáticas não forneciam resultados confiáveis, devido à falta de leituras instantâneas dos dados de rotação real do eixo da bomba, por isso foi necessário aperfeiçoar, introduzindo no programa algumas medições. Na Fig. 3, é apresentado parcialmente o programa desenvolvido para o cálculo da eficiência e obtenção dos dados.

A vazão efetiva na saída da bomba, Eq. 1, é mensurada por meio de uma medição do medidor de fluxo OF05ZAT, que tem característica já citada na Tab. 1. Esse sensor informa a placa de aquisição de dados dos pulsos de rotação por segundo e por meio dos dados fornecidos pelo datasheet, tem-se o volume deslocado por rotação. Dessa forma, obtém-se o denominador de volume deslocado por tempo e assim é conhecida a vazão real deslocada pela bomba.

Figura 3: Diagrama de blocos do software para cálculo de eficiência volumétrica.



Fonte: Do autor (2023)

A vazão volumétrica teórica foi obtida por meio de um sensor indutivo conforme a Tab. 1, instalado junto ao eixo da bomba e calculada pela Eq. 2. A frequência em rotações por segundo, no eixo de acionamento da bomba, foi obtida pela leitura do sensor de pulso. Por meio do catálogo do fabricante da bomba, o volume deslocado por rotação da bomba foi obtido.

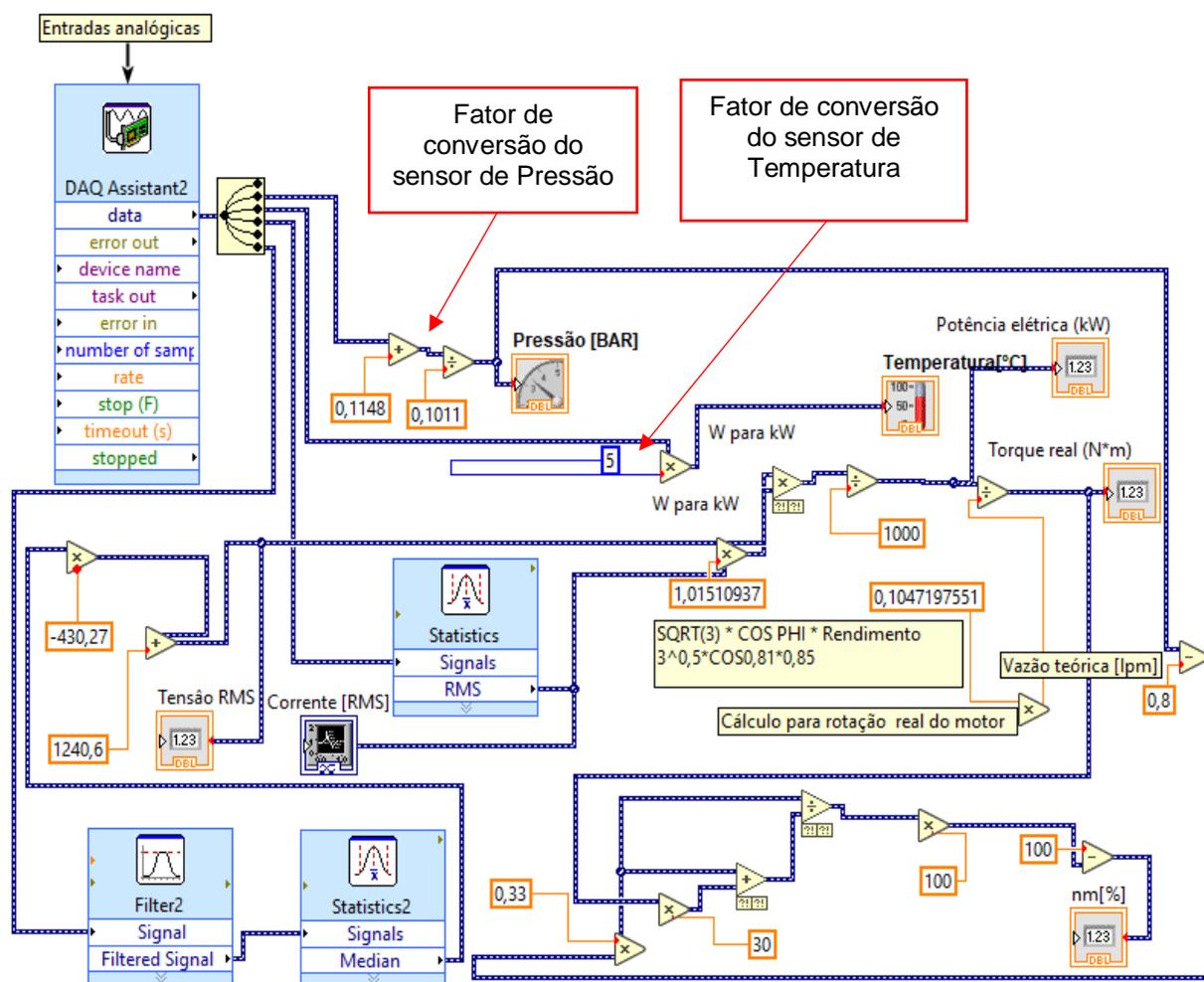
Usando a Eq. 3, que é definida pela razão do volume efetivo pelo volume teórico, consegue-se mensurar esse rendimento.

### 3.3 EFICIÊNCIA MECÂNICA

Em bombas hidráulicas de engrenagens, as perdas mecânicas mais significativas são geradas pelo atrito interno das peças móveis e traduzem-se como perdas de torque (LANA, 2005).

A eficiência mecânica da bomba hidráulica, obtida pela Eq. 6, é a razão entre o seu torque real pelo torque teórico do eixo de acionamento. Obter esse valor, também depende do tratamento das informações de entrada de pressão, corrente elétrica em RMS e pulsos de rotação do eixo da bomba.

Figura 4: Diagrama de blocos do software para cálculo de eficiência mecânica da bomba hidráulica.



Fonte: Do autor (2023)

Conforme mostra a Fig. 4, o torque teórico calculado pela Eq. 5, depende da diferença de pressão da entrada e saída da bomba, além do volume deslocado por rotação, sendo que este já foi calculado pela eficiência volumétrica. A aquisição dos dados de pressão foi feita por um transdutor de pressão, indicado na Tab. 1, e para o seu tratamento de dados, utilizou-se do princípio do método dos mínimos quadrados, com aquisição de dados feito por uma placa digital / analógica, modelo USB 6002.



No entanto para o torque efetivo da saída da bomba, empregou-se a leitura da corrente elétrica em RMS diretamente na saída do inversor de frequência, feita por um módulo de corrente, modelo ACS 712. Sua curva correspondente foi obtida por um alicate amperímetro, modelo RS232, fabricado pela Fluke.

Aplicando a equação da corrente elétrica, Eq. 8, encontra-se a potência elétrica de um motor trifásico, Eq. 7. Aplicando a Eq. 4, juntamente com o dado de rotação real na ponta do eixo da bomba, consegue-se o valor do torque efetivo da bomba.

Nos trabalhos de referência, Lopes e Inácio (2016) e Gustina (2017) considerou-se os dados de corrente e tensão fixos. Gerando medições errôneas, conforme mostra a Fig. 4, essas leituras influenciam diretamente na equação das eficiências, pois fazem parte dos dados de entradas da placa e qualquer variação influenciará nas equações subsequentes que dependem desses sinais. Do modo em que se considerarmos fixos, não mensuraremos a variação ocorrida.

### 3.4 EFICIÊNCIA DO MOTOR ELÉTRICO

O dimensionamento do motor deve ser definido estudando o que a carga exige. Existem motores de vários tipos que atendem a uma gama muito grande de cargas, além do acoplamento que expande ainda mais suas aplicações. Basicamente, devem ser definidas a potência, a velocidade, a tensão de alimentação e a classe de isolamento, conforme (LEWICKI, 2019).

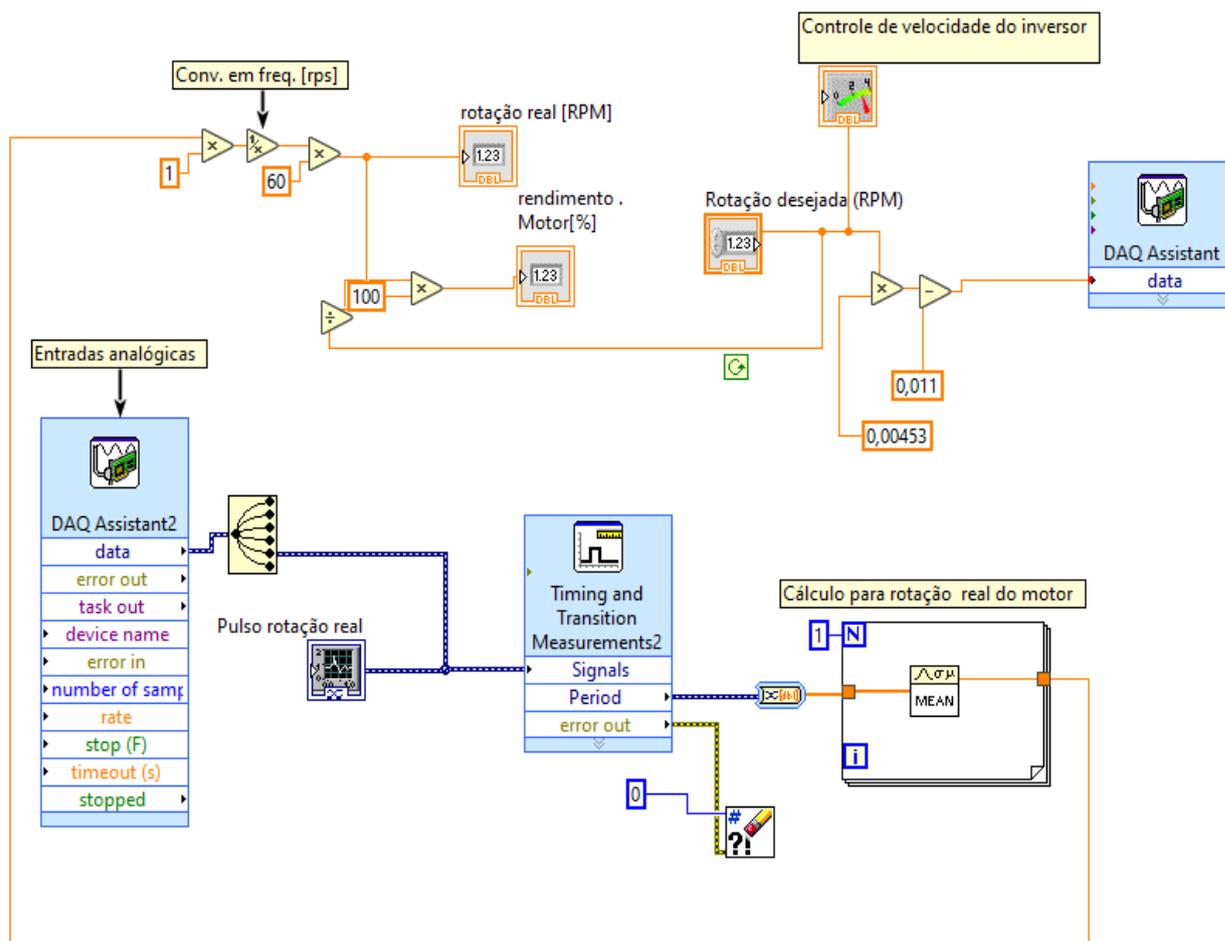
A eficiência de um motor elétrico é a proporção entre a potência de saída mecânica disponibilizada no seu eixo e a potência elétrica fornecida para o acionamento. Pereira (2009) cita que a potência de saída mecânica é calculada com base no torque e na velocidade necessária. Já a entrada de energia elétrica é calculada com base na tensão e corrente consumida pelo motor elétrico.

Na Fig. 5, apresenta-se a programação utilizada para leitura das grandezas elétricas e suas funções na bancada, sendo um grande programa de blocos, optamos em gerar imagens separadas. Para melhorar o entendimento do acadêmico que poderá acessar ao digrama ao longo de suas aulas didáticas.

A eficiência do motor elétrico também é determinada pela razão entre a rotação em carga e pela rotação a vazio. Para obter esse valor de rotação utilizou-se na

ponta do motor elétrico trifásico, um tacômetro fabricado pela Minipa, modelo MDT-2238B com taxa de leitura a cada 0,5 segundos.

Figura 5: Diagrama de blocos do software para cálculo de eficiência do motor elétrico.



Fonte: Do autor (2023)

Com leituras em carga e a vazio, notou-se que o sinal de rotação tem comportamento de maneira linear, ou seja, para cada tensão em corrente contínua é uma rotação aplicada.

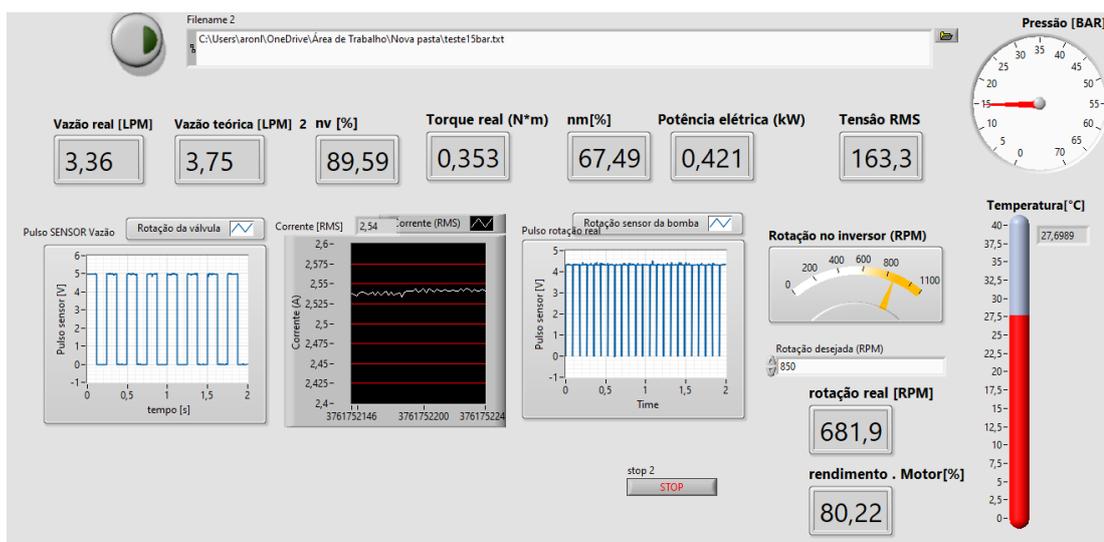
Nos trabalhos de referência, Lopes e Inácio (2016) e Gustina (2017) não foi estudado a eficiência do motor elétrico da bomba. O motivo em que se faz necessário está análise, é que a rotação real aplicada sofre alterações devido as variações de pressão do circuito hidráulico, temperatura do óleo hidráulico e os valores de tensão elétrica, conforme será apresentado na Fig. 6.

### 3.5 AUTOMAÇÃO EM TESTES

Para a aquisição de dados do circuito, foi utilizado o *Labview®*, que trata-se de um software de programação gráfica, que permite a análise de dados coletados em tempo real através dos equipamentos de medição.

Na Fig. 6 abaixo, apresenta-se o layout aplicado para a interface de operação e acompanhamento da funcionalidade da bancada didática. Com o *Labview®*, é possível fazer a introdução de ferramentas matemáticas, com intuito de resolver automaticamente as equações e assim obter os termos desejados, observando os resultados National Instruments (2022). Esta análise torna-se mais rápida e eficiente com o uso de placas de aquisição de dados, responsável por realizar a supervisão dos dados coletados e os valores demonstrados em um computador.

Figura 6: Interface de operação da bancada de ensaios desenvolvida via *Labview®*.



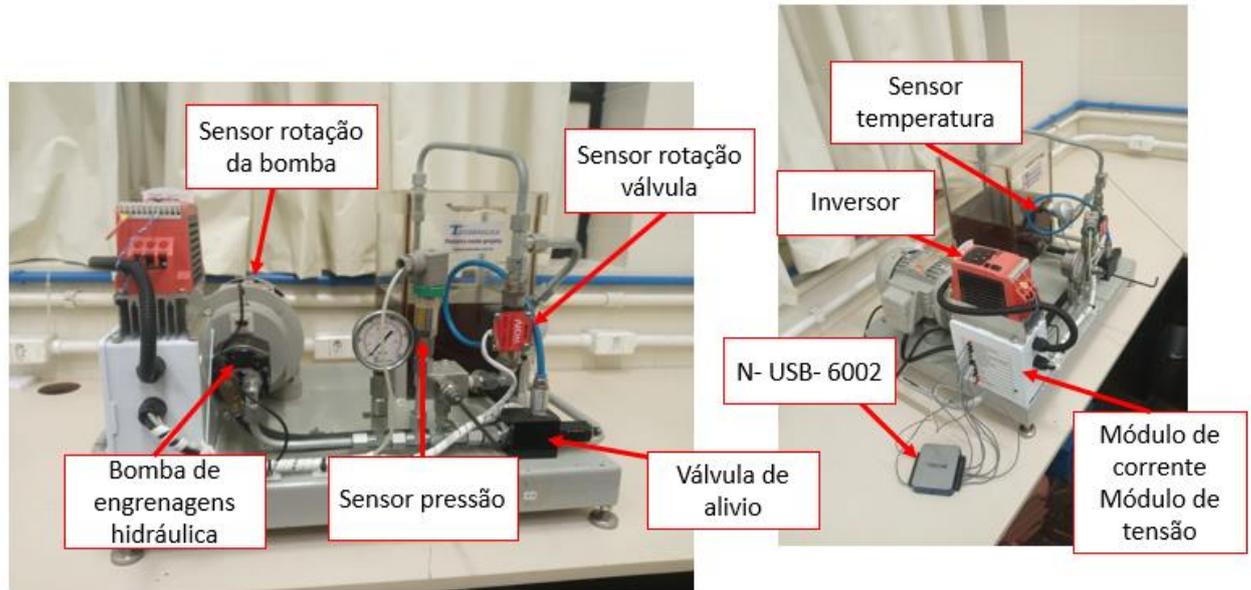
Fonte: Do autor (2023)

A interface é o modo de interação entre a bancada didática e o usuário. Neste trabalho apresenta-se várias informações sobre as leituras das grandezas. As leituras são mostradas de maneira instantânea e com frequência de coleta de dados de 100 leituras por segundo. Sua operação é dada pela seleção de rotação desejada e níveis de pressão que são estipulados para os testes.

A Fig. 7 irá mostrar a bancada de ensino, indicando seus principais componentes, já indicados na Tab. 1. Lembra se que o uso da bancada tem o fim

didático, ou seja, não foi realizado estudos minuciosos e ensaios de engenharia a fim de mensurar a validação de cada componente.

Figura 7: Bancada Didática de ensino de eficiências de uma bomba hidrostática.



Fonte: Do autor (2023)

A bancada de ensino foi criada em 2016 por Lopes e Inácio, com ênfase no circuito hidráulico em si. Funcionamento de uma bomba com acionando e medição de pressão, vazão e temperatura via Labview®.

Em 2017, Gustina acrescentou o sensor de rotação da bomba e a válvula de alívio no circuito. Gerando os primeiros cálculos via software de eficiência volumétrica.

No presente trabalho enfatizou se, as leituras de torque efetivo através de medições dos módulos de tensão e corrente elétrica contribuindo para os cálculos de eficiências volumétrica, mecânica e do motor elétrico do acionamento da bomba hidráulica.

### 3.6 - PARÂMETROS UTILIZADOS NOS TESTES

A padronização dos testes é fundamental para a validação e comprovação dos resultados. Será visto abaixo na Tab. 2, as condições e parâmetros condicionados para as três modelos de testes aplicados.

Tabela 2 – Parametrização de dados coletados da bancada didática

<b>Condições de testes</b>	<b>Parâmetros</b>
Pressões com faixas fixas Rotações com faixas variáveis	Faixas de pressões: 10,15,30,45 bar
	Faixas de rotações: 200,400, 600, 800, 850 e 1100 rpm
	Tempo : 10 minutos por teste
Pressões com faixas variáveis Rotações com faixas fixas	Tipo de óleo: Hidráulico H68
	Temperatura óleo hidráulico: 20 a 35°C
	Frequência de leitura: 100 leituras por segundo
Pressões com faixas variáveis Rotações com faixas fixas	Faixas de rotações: 400, 600, 800, 850 e 1100 rpm
	Faixas de pressões: 10,15,30,45 e 60 bar
	Tempo : 10 minutos por teste
Rotação fixa Pressões com faixas variáveis	Tipo de óleo: Hidráulico H68
	Temperatura óleo hidráulico: 20 a 35 °C
	Frequência de leitura: 100 leituras por segundo
Rotação fixa Pressões com faixas variáveis	Faixas de pressões: 5,10,15, 20,25,30,35,40,45,50,55,60 e 65 bar
	Faixa de rotação: 840 rpm
	Tempo : 10 minutos por teste
Rotação fixa Pressões com faixas variáveis	Tipo de óleo: Hidráulico H68
	Temperatura óleo hidráulico: 20 a 35°C
	Frequência de leitura: 100 leituras por segundo

Fonte: Do autor (2023)

Realizou-se os testes da bancada didática com os modelos já executados pelos trabalhos de Lopes e Inácio (2016) e Gustina (2017), aprimorou-se o parâmetro de frequência de leituras e tempo por teste.

#### **4 ANÁLISE DE RESULTADOS**

Neste capítulo, será discutido os testes realizados na bancada de teste hidrostático de uma bomba de engrenagens, contendo os resultados do procedimento empregado para tal.

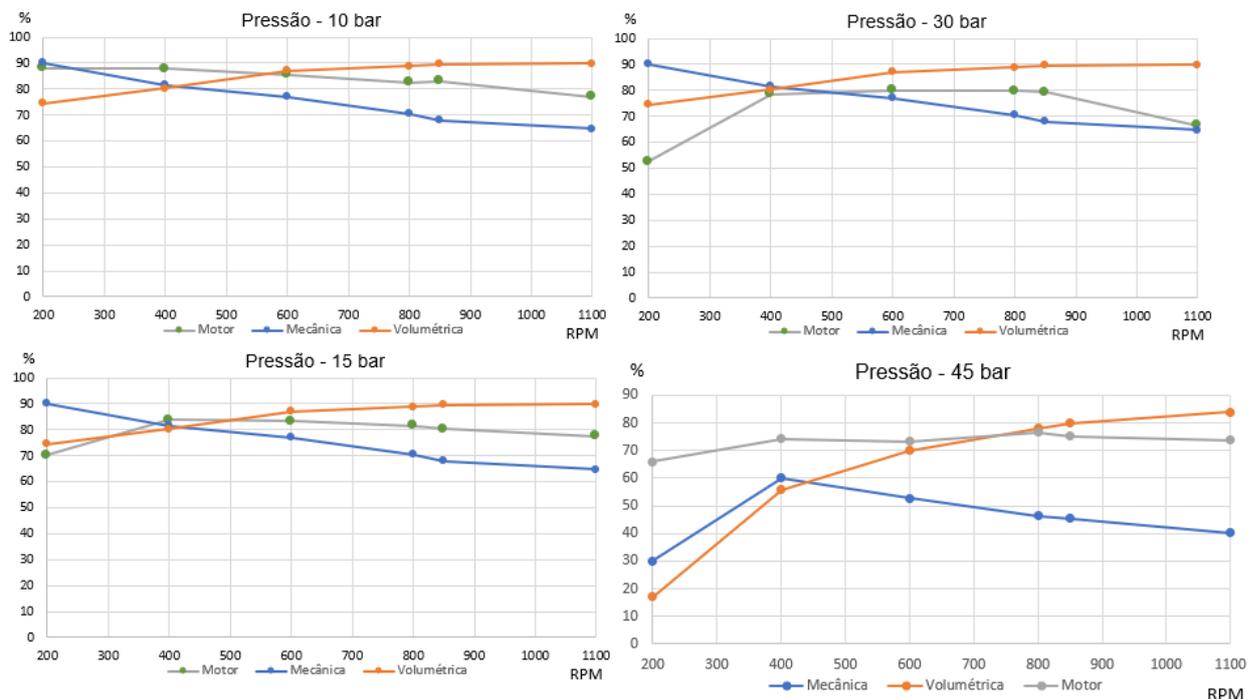
#### 4.1 ANÁLISE DE TESTES COM PRESSÃO FIXA E ROTAÇÃO EM ESCALA

A interpretação de gráficos é do cotidiano de acadêmicos e engenheiros. A sua compreensão é fundamental para a tomada de decisão assertiva sobre um problema proposto, principalmente quando se trata de fenômenos físicos.

Já o nível de eficiência de um equipamento é medido pela capacidade de conversão de energia, ou seja, transformar a energia de entrada em outro tipo de potência com o mínimo de perda possível.

Para mensurar a melhor condição de trabalho de uma bomba hidráulica de engrenagens é necessário uma série de testes e análises. A Tab. 2, com os parâmetros e condições para o teste com faixas de pressões fixas e rotações variáveis, traz os resultados que será mostrado na Fig. 8.

Figura 8: Comportamento das eficiências com a rotação variável e pressão fixa.



Fonte: Do autor ( 2023)

A teoria é uma forma de construir sentidos sobre a realidade. No caso específico da educação em engenharia, a teoria aliada à prática amplia substancialmente a capacidade de compreensão do funcionamento de artefatos, assim como, a capacidade de transformá-los e torná-los mais eficazes e adaptados a interesses utilitários específicos, conforme (CASTRO, 2017).



Por meio da análise dos gráficos gerados na Fig. 8, consegue-se visualizar e quantificar fenômenos físicos e suas consequências. Assim, despertando a curiosidade dos acadêmicos, que podem relacionar a teoria em prática.

Nota-se que independentemente da faixa de pressão, em aproximadamente 400 rpm as eficiências volumétricas e mecânicas mudam de direção, ou seja, é dessa rotação em diante, que o atrito das engrenagens e a vazão de fuga interna da bomba começam a influenciar seus rendimentos.

Complementando esse contexto, Lana (2005) cita, que é visível que o aumento do vazamento interno tem relação direta com a promoção de uma grande redução do atrito das partes móveis, devido as propriedades lubrificantes do fluido hidráulico, ou seja, maior for o vazamento interno, mais espessa será a película de lubrificação, diminuindo até um certo ponto, o contato metálico entre as superfícies.

A Eletrobrás (2013), indica que estes motores são construídos para possuir seu maior rendimento quando estão carregados entre 75% a 100% da sua potência nominal. A eficiência do motor elétrico é definida com base no seu rendimento como mostrado na Fig. 2. Quanto maior o rendimento, maior será sua eficiência e menor as perdas de energia devido ao aquecimento, atrito, entre outros fatores (LIANG, 2018).

O motor elétrico aplicado na bancada didática possui um rendimento de 79 %, conforme indica a Tab. 1. Caracterizou-se que, condicionando as pressões acima de 45 bar e rotações acima de 850 rpm o comportamento da sua eficiência é linear.

Em máquinas hidrostáticas rotativas a maior perda de energia se dá na conversão de torque, devido ao fenômeno causado pelo atrito mecânico viscoso e constante, produzidos respectivamente pelo nível de pressão de trabalho, influência da viscosidade do óleo na lubrificação dos mancais e o contato entre as vedações e partes móveis (GUSTINA , 2017).

Por meio do presente estudo, tem-se os recursos necessários para o desenvolvimento de atividades práticas na bancada didática, atendendo os parâmetros e critérios. Assim, colaborando para o desenvolvimento dos acadêmicos de engenharia.

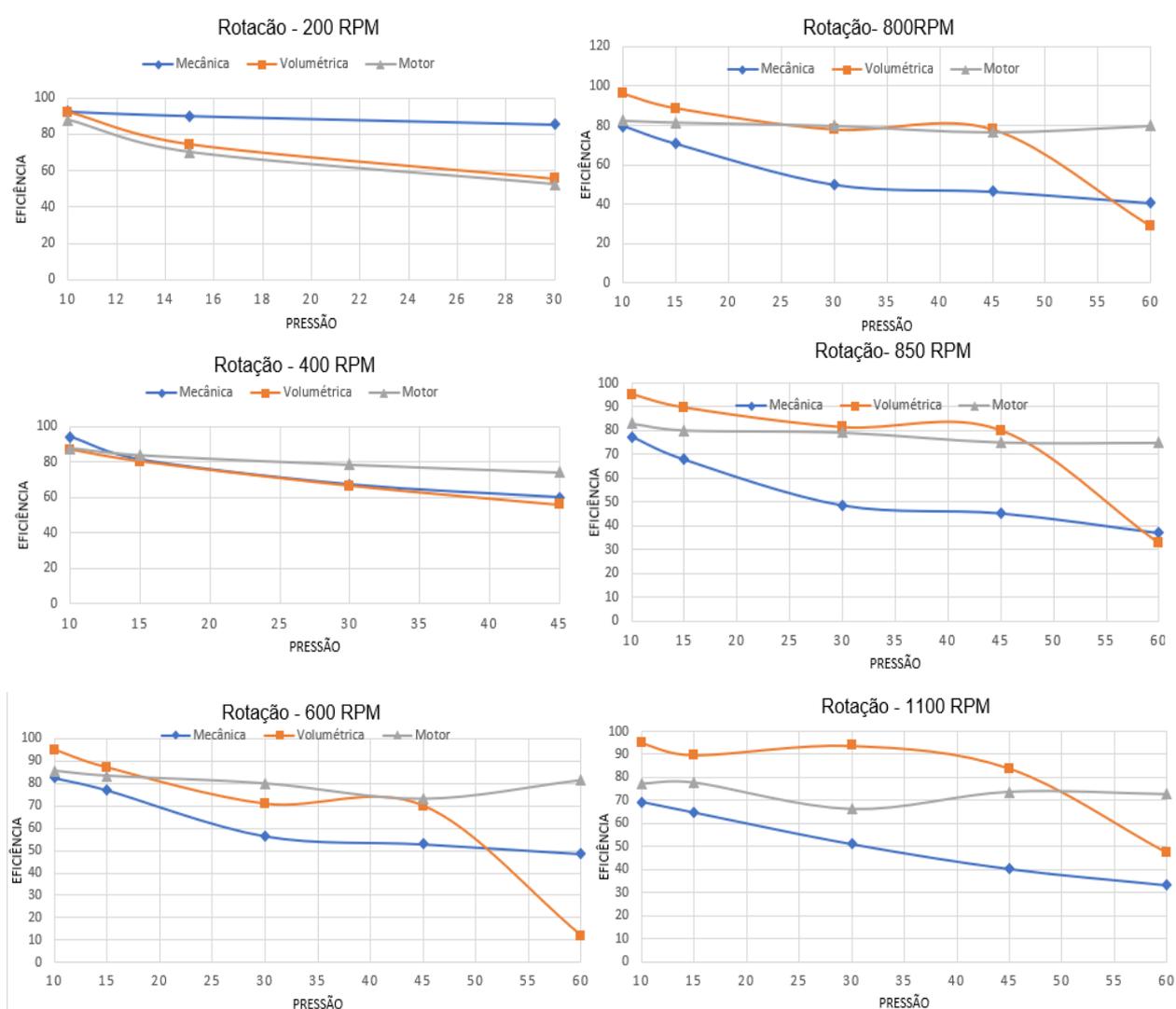
#### 4.2 ANÁLISE DE TESTES COM ROTAÇÃO FIXA E PRESSÃO EM ESCALA

Obter os resultados numéricos é de extrema importância para a interpretação e a compreensão do comportamento de projetos de engenharia. No caso da bancada,

esses dados do comportamento do motor hidráulico, facilitarão a compreensão dos acadêmicos (LOPES E INÁCIO, 2016).

Compreender a pressão e seus efeitos gerados em circuitos hidráulicos, é fundamental para que o acadêmico consiga elaborar projetos e resolver problemas reais atingindo a maior eficiência possível. Conforme a Fig. 9, o comportamento dos rendimentos com a variação de pressão são apresentados.

Figura 9: Comportamento das eficiências com a rotação fixa e pressão variável para cada faixa de rotação avaliada.



Fonte: Do autor (2023)

Na engenharia, obter um valor numérico experimental depende de sensores de medição, bem como, de um sistema de aquisição de dados, capaz de enviar os dados medidos a um computador. Com esse tipo de medição é possível integrar a supervisão,



o monitoramento e o controle dos dados. Normalmente essas medições são feitas por sensores e realizadas em bancadas de ensino, que têm por objetivo validar um resultado a partir de equações, além de contribuir com o aprendizado do acadêmico (COELHO 2016).

Na Fig. 9, fica nítido que em operações em pressão manométricas acima de 45 bar, há uma queda significativa da eficiência volumétrica, chegando a cair 67%, devido a vazão de fuga interna e a válvula de alívio, que faz o papel de segurança ao circuito hidráulico, para que não se exerça pressões acima de 60 bar.

Contextualizando, segundo Mannesmann Rexroth GmbH (1991), a folga de lubrificação e de funcionamento, entre a lateral das engrenagens e as placas de compensação, é de aproximadamente 5  $\mu\text{m}$ , e considerando que o desgaste entre essas peças, seja compensado pelas placas, a folga entre a cabeça do dente e a carcaça, pode ser considerada como a maior fonte de vazamento interno.

Observa-se o comportamento da vazão efetiva e da vazão teórica uma bomba, cujas folgas internas desconhecidas. Percebe-se que a vazão efetiva cai demasiadamente com o aumento da pressão, em consequência do aumento significativo da vazão de fuga interna (LANA, 2005).

Nota-se que a eficiência mecânica tem um comportamento linear em pressões acima de 30 bar, conhecido como o fenômeno de compressão hidráulica. Em baixas pressões e rotações temos a maior influência da força de atrito e a região de lubrificação, onde não há grande eficiência. Segundo Lana (2005) a principal causa da queda de rendimento mecânico em bombas hidráulicas de engrenagens é o desgaste de seus componentes internos. Sendo eles a carcaça que tem o maior nível de desgaste, as engrenagens e as placas de compensação.

O comportamento obtido pelos gráficos da Fig. 8, indicou-se que a eficiência do motor segue uma linha quase linear variando de 87% a 74%, indicando que não sofre influência da pressão exercida, e sim da rotação no motor elétrico, conforme indica a autora (LANA, 2005).

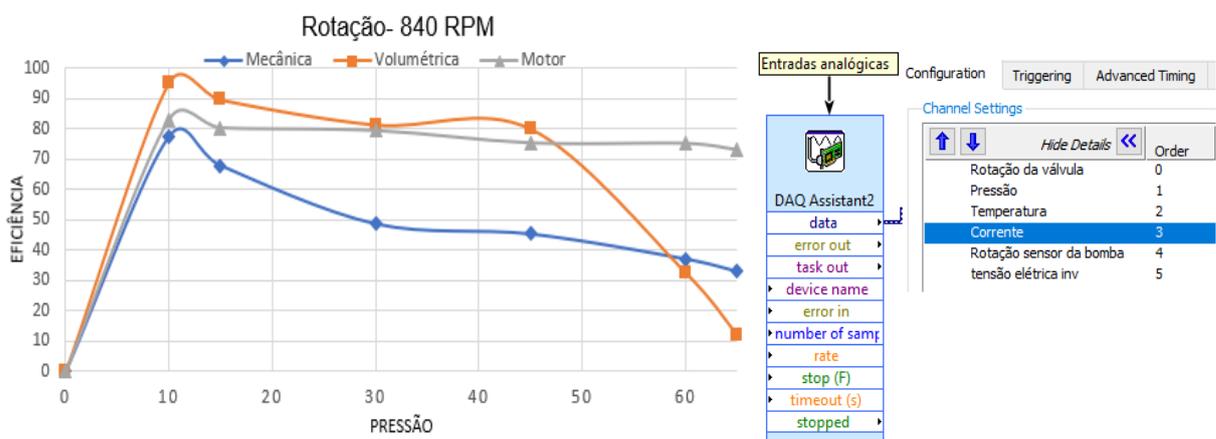
#### 4.3 VALIDAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE COLETA DE DADOS ELÉTRICOS.

Para Giordani, Jurach e Rodrigues (2003), bancadas didáticas são ferramentas de auxílio para a realização de experimentos, que possibilitam ao aluno

validar fenômenos físicos, variando seus parâmetros e modos de coletá-los, familiariza-se com os componentes e ao mesmo tempo verificar na prática a teoria vista em aula.

De extrema importância, que os dados fornecidos sejam confiáveis. Pois, acadêmicos deveram confrontar os resultados práticos com os já calculados manualmente.

Figura 10: Comportamento das eficiências com a rotação fixa 840 rpm e pressão variável para cada faixa de rotação avaliada.



Fonte: Do autor (2023)

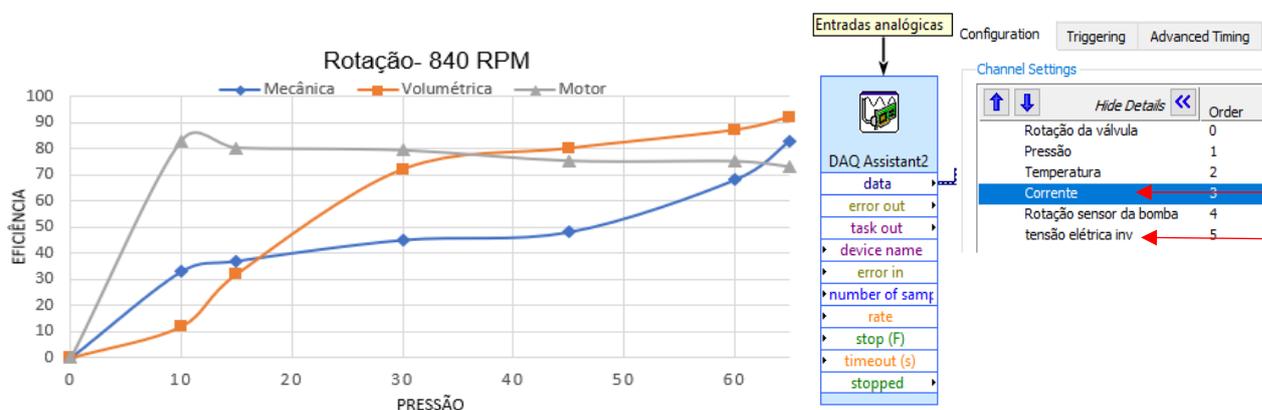
A Fig. 10, mostra as entradas digitais utilizadas, entre elas, a de corrente e tensão elétrica, com leituras instantâneas, conforme indica a Tab. 2. O gráfico segue a tendência dos gráficos apresentados na Fig. 9.

A rotação utilizada para esse teste foi de 840 rpm, pelo fato que, em todos os testes realizados essa foi a rotação em que o acréscimo e o declínio das eficiências ficam mais evidentes no gráfico.

Para Rosenberg (2002), o aprendizado é de fundamental importância para os negócios, onde as pessoas adquirem novas habilidades ou conhecimentos a fim de melhorar seu desempenho. O mesmo autor complementa que o aprendizado permite o trabalho em grupos, mais rápido e melhor e de maneira inteligente, de modo que os indivíduos colham benefícios para sua aprendizagem.

Seguindo essa linha de raciocínio, as novas habilidades citadas podem ser exemplificadas. Pela compreensão da influência de grandezas elétricas em resultados de eficiências de grandezas físicas mecânicas, conforme nos mostra a Fig. 10.

Figura 10: Comportamento das eficiências com a rotação fixa 840 rpm e pressão variável para cada faixa de rotação avaliada com grandezas elétricas fixas.



Fonte: Do autor (2023)

Segundo Eletrobrás (2013), a alteração na amplitude de tensão pode influenciar a corrente elétrica, eficiência e o fator de potência de motores elétricos, pois, este equipamento é influenciado, diretamente, pelo valor da tensão de alimentação e frequência de chaveamento.

As grandezas elétricas estão correlacionadas, como mostra as Eq. 7 e 8. Contextualizando, a variação de tensão elétrica irá influenciar na corrente e consequentemente nas eficiências aplicadas sobre o motor e bomba hidráulica.

Na Fig. 10, fica evidente que não devemos tratar as grandezas elétricas como valores fixos. Isto gera medições equivocadas que podem comprometer o estudo dos acadêmicos.

## 5 CONCLUSÃO

A interação dos acadêmicos de engenharia com os laboratórios é fundamental para o desenvolvimento de análise crítica e para resolução de problemas práticos, através de embasamento teórico e desenvoltura de senso analítico.

As alterações realizadas na bancada, mostraram resultados de grande valia para o desenvolvimento de metodologia ativa dos acadêmicos dos cursos de tecnologia da instituição, correlacionando teoria e prática de um assunto de relevância com tantas



variáveis. Possibilitando o acadêmico mensurar os efeitos físicos gerados por grandezas elétricas e mecânicas.

Durante o desenvolvimento do projeto, desviou-se a correlacionar grandezas elétrica com grandezas mecânicas, gerando muitos testes, alterações no programa e calibrações. O software Labview® é de muita funcionabilidade, faz desde operações básicas até equações complexas. O seu entendimento foi indispensável pelo sucesso do trabalho.

Os resultados encontrados demonstram que as curvas características de eficiência mecânica e volumétrica encontrados nas literaturas e em outros trabalhos de engenharia, condizem com os gráficos apresentados no trabalho.

Como sugestão aos trabalhos futuros seria, a realização de estudos da influência da temperatura do óleo hidráulico nos rendimentos volumétricos e mecânicos da bomba hidráulica de engrenagens. Logo que, os testes realizados não foram ultrapassados a temperatura de 35 °C, para que o óleo não gerasse alterações nas medições.

## REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI, Armando; SOUSA, André R. de. Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial. Barueri, SP: Editora Manole, 2008.

BLACKBURN, J.F; REETHOF, G.; SHEARER, J.L. **Fluid Power Control**. Massachusetts Institute Of Technology Press, 1960. 710 p.

Bonwell, C., Eison, J. A., "Active learning: creating excitement in the classroom", Eric Digests, Publication Identif. ED340272, 1991.

BISINOTO, Gustavo Domingos Sakr. Gestão da Permanência: um estudo sobre o perfil socioeconômico, permanência e evasão dos discentes do Curso de Bacharelado em Administração Pública da UAB/UNEMAT. 2016. 169f. Dissertação (Mestrado Profissional em Administração Pública - PROFIAP) - Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho-RO, 2016.



CASTRO, Richard M. et al. Elaboração de circuitos eletropneumáticos utilizando uma serra automática como ferramenta para o ensino de engenharia. COBENGE, Joinville/SC, 2017.

CNI - Confederação Nacional da Indústria (2012). Disponível em: [Microsoft Word - Lei 10172-2001 - 09-01-01 - PNE.doc \(mec.gov.br\)](#). Acesso em 14 de fevereiro de 2023.

COELHO, M. A. J.; NETO, J. M.; SPACEK, A. D.; ANDO JUNIOR O. H. Learning Improvement in Electronics Disciplinary using a Didactic Workbench. IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS, VOL. 14, NO. 1, JAN. 2016.

ELETROBRÁS / PROCEL. Programa de efficientização industrial: modulo motor elétrico. Rio de Janeiro. 130 p. MEHL, Edvaldo L. M. Qualidade da energia elétrica.(2013) Disponível em: . Acesso em: 18 abr. 2022, 11:45.

GUSTINA, L. D. R. DE M. CASTRO, D. M. DEOLINDO, C. L. IZIDORO, L. DE C. CORRÊA, E. I. M. CURI. Instrumentation of an Engineering Teaching Bench to Evaluate the Mechanical Efficiency of a Hydraulic Pump (2017). Disponível em: [Artigo - FINAL LUCAS.pdf](#). Acesso em 12 de junho de 2023.

INSTRUMENTS, N., 2003a. LabVIEW: User Manual. Disponível em: <http://www.ni.com/pdf/manuais/320999e.pdf>. Acesso em: 6 mai. 2023.

LINSINGEN, I. V. Fundamentos de Sistemas Hidráulicos. EdUFSC. 5ª edição revisada – 2016.

LOPES, L. M.; WATEKEMPER, L.; CASTRO, R. de M.; INÁCIO, L. F.; BARRIOS, I, M.; CURI, E. I. M. Bancada Didática para Avaliação da Eficiência Volumétrica de Bombas de Engrenagens com Auxílio do Software LabView. 5º SICT-SUL - Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense, 2016. Disponível em : [rendimentos.pdf](#). Acesso em 16 de junho de 2023.



LIANG, D.; ZHOU, V. Recent market and technical trends in copper rotors for high-efficiency induction motors. In: 2018 International Power Electronics Conference (IPEC-Niigata 2018-ECCE Asia). IEEE, 2018.

LANA, Eduardo Dalla. Avaliação **do Rendimento de Bombas Hidráulicas** de Engrenagens Externas Através de Medição de Temperatura. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Ed. UFSC, 2005.

IPEA- Mercado de Trabalho: conjuntura e análise “**BRASIL EM DESENVOLVIMENTO, 2013: Estado, Planejamento e Políticas Públicas**” (2013). Disponível em: [bmt\\_66.pdf \(ipea.gov.br\)](#). Acesso em 02 de novembro de 2022.

MANNESMANN REXROTH GMBH. “Hidráulica”, princípios básicos e componentes da tecnologia dos fluidos, volume 1. São Paulo: 1991. 344p.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (MEC) 2018. Altos índices de desistência na graduação revelam fragilidade do ensino médio, avalia ministro. Disponível em: [censo da educação superior - Ministério da Educação \(mec.gov.br\)](#). Acesso em: 23 jul. 2023.

NATIONAL INSTRUMENTS. User Guide and Specifications Ni USB 6008/6009. Bus-Powered Multifunction DAQ USB Device Disponível em: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303m.pdf>. Acesso em 02 de novembro de 2022.

PEREIRA, J. M.; POSTOLACHE, O.; GIRÃO, P. M. B. PDF-Based Progressive Polynomial Calibration Method for Smart Sensors Linearization. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 58, No. 9, September 2009.

RODRIGUES, M. J; JURACH, P. J; GIORDANI, R. E. Bancada Didática de Pneumática. CEFET. Rio Grande do Sul, 2003.

ROSENBERG, M. J. e-Learning. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2002.



TOLEDO, E. J. L. FERREIRA, L. H. A atividade investigativa na elaboração e análise de experimentos didáticos. Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia. São Carlos, v. 9, n. 2, p. 108-130, 2016.

WEBSTER, J.G. Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook. 1. ed. EUA: CRC, 1999.

WEG, S. A. Motores elétricos: guia de especificação. WEG, Jaraguá do Sul-SC, 2012. Disponível em : [2351-5293-1-SM \(2\).pdf](#). Acesso em 16 de maio de 2023.