

OTIMIZAÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA ENSINO DE SISTEMAS HIDRÁULICOS NOS CURSOS DE ENGENHARIA

OPTIMIZATION OF A DIDACTIC WORKBENCH FOR TEACHING HYDRAULIC SYSTEMS IN ENGINEERING COURSES

Lucas Dela Gustina¹, Richard de Medeiros Castro²,
Douglas Medeiros Deolindo³, Ladislei Marques Felipe Castro⁴

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v39p312-322.2020

RESUMO

Com a exponencial modernização tecnológica nas indústrias, é necessário atualizar a formação dos futuros profissionais de engenharia. Da mesma forma, existe o desafio para as instituições de ensino de se manterem atrativas. Atualmente, as metodologias ativas se destacam positivamente no processo de ensino-aprendizagem, utilizando objetos educacionais, para desenvolver a autonomia e o senso crítico dos acadêmicos. Este artigo tem como objetivo propor um conceito de uma bancada didática para a área de sistemas hidráulicos como ferramenta ativa de aprendizagem. Com uso de sensores, os acadêmicos obtêm os dados de torque de um motor elétrico por um sistema de supervisão e, posteriormente, calculam os valores da eficiência mecânica da bomba hidráulica. Para a otimização da bancada, foram utilizados um sensor de corrente e uma válvula limitadora de pressão. Também foi necessário o uso de uma placa eletrônica para o acionamento do motor da bomba e a interligação dos componentes eletroeletrônicos, além de um programa desenvolvido em *Labview*. Ao final do estudo, observou-se a praticidade que a bancada trará às futuras análises experimentais, dando continuidade ao aprendizado ativo dos acadêmicos de engenharia na área específica.

Palavras-chave: bancada didática; metodologias ativas; sensores; eficiência mecânica; bomba hidráulica.

ABSTRACT

Increasingly, it is a necessary technological update of future engineering professionals, due to technological modernization in the industries. Likewise, there is a challenge for educational institutions to remain attractive. Currently, active methodologies stand out positively from the teaching-learning process, using educational objects, to develop the autonomy and critical sense of academics. This article aims to propose a concept of a didactic workbench for the area of hydraulic systems, as an active learning tool. Using sensors, academics obtain torque data from an electric motor through a supervision system and then calculate the mechanical efficiency values of the hydraulic pump. For the optimization of the bench, a current sensor and a pressure relief valve were used. It was also necessary to use an electronic plate to drive the pump motor and interconnect the electronic components, in addition to a program developed in *Labview*. At the end of the study, it was observed the practicality that the workbench will bring to future experimental analyzes, giving continuity to the active learning of engineering students in the specific area.

Keywords: didactic bench; active methodologies; sensors; mechanical efficiency; hydraulic pump.

¹ Graduado em Tecnologia em Automação Industrial, Faculdade SATC – Criciúma/SC; eletroldg@hotmail.com

² Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade SATC – Criciúma/SC; richard.castro@satc.edu.br

³ Professor do Departamento de Engenharia Mecânica, Faculdade SATC – Criciúma/SC; douglas.deolindo@satc.edu.br

⁴ Mestranda, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Campus Araranguá/SC; ladislei.castro@gmail.com

INTRODUÇÃO

Devido à constante inovação tecnológica dos equipamentos industriais, é necessário que as universidades invistam na qualificação dos seus professores, bem como na equiparação tecnológica de laboratórios, mantendo-as competitivas na formação acadêmica (PETRY et al., 2017). Nesse aspecto, torna-se necessário oferecer cursos de qualidade e com infraestrutura de laboratório, capazes de manter seus cursos atrativos e de continuar formando profissionais atualizados (SILVEIRA; DE SOUZA, 2018).

A área de sistemas hidráulicos de potência apresenta grande importância para a indústria e para os cursos de Engenharia Mecânica e Mecatrônica. Atualmente, o interesse dessa área está associado à eficiência energética e à indústria 4.0 (RUKABER, 2015). Essa área está presente nos segmentos de automobilística, agricultura, mineração, aeronáutica entre outros. Portanto, é necessário que as universidades tenham uma boa infraestrutura e profissionais qualificados para atender a essa demanda atual.

Nas universidades é de fundamental importância ter atenção especial em todos os ciclos de formação do engenheiro. Na disciplina Sistemas hidráulicos não é diferente e nesta devem ser conciliadas a teoria e a prática, de forma a se transmitir ao acadêmico o mais elevado nível de conhecimento (SANTOS et al., 2016; ZORZAN; DARONCH; MOLIN, 2013). Para isso, as metodologias tradicionais devem estar acompanhadas de outros métodos ativos de aprendizagem (TOLEDO; FERREIRA, 2016).

As metodologias ativas de aprendizagem são uma forma de dar significância aos conteúdos. Trata-se de estratégias de ensino muito eficazes, principalmente quando comparada aos métodos tradicionais. Elas permitem que o acadêmico seja estimulado a ser confiante na aplicação do conhecimento (ZORZAN; DARONCH; MOLIN, 2013). A interação ativa do acadêmico com as particularidades de um problema é algo indispensável, pois o contato propicia o uso de suas funções mentais de observar, relacionar,

entender entre outras que, em conjunto, formam a inteligência (BARBOSA; DE MOURA, 2013).

Buscando oportunizar aos acadêmicos novos métodos de ensino-aprendizagem, as universidades têm desenvolvido com coordenadores de ensino e professores um conjunto de ferramentas de ensino, destacando-se entre estas as bancadas didáticas (PERUZZI; FONFONKA, 2014). O objetivo deste esforço é promover o desenvolvimento tecnológico e científico, tornando o aprendizado significativo, de forma colaborativa, e consequentemente mais eficiente no ensino dos conteúdos (LEITE, 2012).

Dessa forma, esta pesquisa tem por objetivo apresentar a otimização de uma bancada didática para avaliar o rendimento mecânico de bombas hidráulicas, conceito utilizado na disciplina Sistemas hidráulicos. Para a implementação da metodologia, utilizou-se sensores de baixo custo na medição indireta de torque, que posteriormente fornecerão os dados de rendimento, a partir de equações da literatura. Esse experimento visou a ampliar a funcionalidade e efetuar melhorias na bancada já existente no Laboratório de Automação de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos - LASPHI, da faculdade SATC.

REVISÃO DA LITERATURA

Bancadas para o Ensino Tecnológico – Estado da Arte

Diversas pesquisas têm sido apresentadas com o uso de bancadas de ensino como forma ativa de aprendizagem. Silva e Schneider (2013) citam que o estudo de máquinas de fluxo nas engenharias deve ser feito com auxílio de práticas que aproximem o acadêmico ao ambiente profissional. Nesse contexto, o autor cita uma bancada de ensaios para rotores centrífugos, uma excelente ferramenta didática de aprendizagem para o ensino da disciplina.

Nogarede et al. (2008) descrevem resultados de ensino com grande sucesso no aprendizado dos acadêmicos quando utilizada uma bancada didática para motores síncronos. Os autores citam que o método desmistifica a

aparência de caixa preta das máquinas, o que permite aos estudantes um ponto de vista interno, dando meios para a compreensão do seu funcionamento.

Utilizando técnicas de Realidade Virtual (RV) no estudo da eficiência de sistemas motrizes de água, Leal e Filho (2011) observaram que o método se mostrou uma importante ferramenta de simulação para os estudantes, pois o laboratório pode ser acessado até mesmo de um computador pessoal. No final, os autores descrevem que, por meio do ambiente virtual desenvolvido, é possível alterar diferentes variáveis do sistema e avaliar a eficiência energética do conjunto como um todo.

Coelho et al. (2016) utilizaram uma bancada com um grupo de estudantes de Engenharia Elétrica, para a realização de atividades práticas de eletrônica. Após realizarem experimentos predefinidos, pesquisas indicaram que mais de 80% da turma avaliou a facilidade de interação como “muito boa” ou “excelente” em relação ao método tradicional com uso de *proto-board*. Carvalho, Barone e Zaro (2009) também expõem suas inquietudes sobre as aulas teóricas para sistemas de controle e apresentam uma bancada didática para o ensino de engenharia, que impactou diretamente no processo de aprendizagem.

Conforme exposto nos estudos correlatos, as metodologias ativas com uso de objetos educacionais – como bancadas didáticas, laboratórios virtuais entre outras ferramentas – destacam-se positivamente na formação acadêmica, pois, além da fixação de conceitos, estimulam a criatividade e propiciam o contato físico com o objeto de estudo.

Instrumentação eletrônica para bancadas de ensino

Na engenharia, obter um valor numérico experimental depende de sensores de medição, bem como de um sistema de aquisição 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.

Webster (1999) descreve que o sensor é um dispositivo capaz de converter uma variável física a qual se tenha interesse de medir, e essa variável de sinal é relacionada direta ou indiretamente com a grandeza real. No entanto, para garantir a qualidade das informações desses dispositivos de medição, Dunn (2005) descreve que é necessário que esses componentes recebam ajustes, de forma a corrigir os desvios de leitura.

Albertazzi e Sousa (2008) descrevem que o ajuste de um sensor é o conjunto de procedimentos, realizados sob condições específicas, com os quais se busca descobrir a relação matemática entre o valor da medição com uma determinada grandeza física padrão ou transdutor ajustado, em uma sequência de ensaios. Porém, os sensores ou transdutores podem apresentar erros e falta de linearidade no sinal de saída, por isso, geralmente, devem ser executados procedimentos de ajuste para corrigir esses erros.

Conectados com os sensores, existem vários dispositivos e sistemas que permitem adquirir dados de processos, podendo ser classificados em diversos quesitos como local ou remoto, taxa de varredura e resolução de leitura para sinais analógicos. Entre eles se destacam o Controlador Lógico Programável (CLP), Controladores Numérico Computadorizado (CNC), placas de aquisição – como Arduino, Raspberry – e placas multifuncionais – como as produzidas pela NI (National Instruments).

No ambiente acadêmico e/ou na indústria, utiliza-se com frequência o *software LabView* e placas multifuncionais, dedicados à aquisição de dados, tratamento e supervisão. Esse *software* utiliza uma linguagem de programação em blocos e tem como vantagem a simultaneidade do tratamento e manipulação de dados, sem necessidade de apontamento de *Tags*, como é o caso dos sistemas tradicionais *Scada*. Outra facilidade é o fato de o programa rodar direto no computador que tenha o *LabView* instalado, sem necessidade de fazer *upload* para o *hardware* (LOPES et al., 2016).

MATERIAIS E MÉTODOS

Bancada didática padrão e otimização de medição

Para a realização deste estudo teve-se como base uma bancada didática existente do Laboratório de Automação e Simulação de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos – LASPHI (Figura 1a). Anteriormente, com essa bancada, era possível realizar apenas medições da eficiência volumétrica de uma bomba hidráulica. Ela é composta por uma bomba hidráulica de engrenagens externas com um volume geométrico (V_g) de $2,1\text{cm}^3$. Esta é acionada por um motor elétrico trifásico de indução de $\frac{1}{4}$ de CV, que, por sua vez, é comandado por um inversor de frequência modelo CFW 10, fabricado pela WEG.

Para a realização dos ensaios, a bancada dispõe de alguns instrumentos, como: um sensor de vazão, um transdutor de temperatura e um transdutor de alta pressão, que fornecem dados das variáveis do sistema. Além disso, uma placa de aquisição que, por sua vez, envia os dados a um *software* de supervisão desenvolvido no *LabView*.

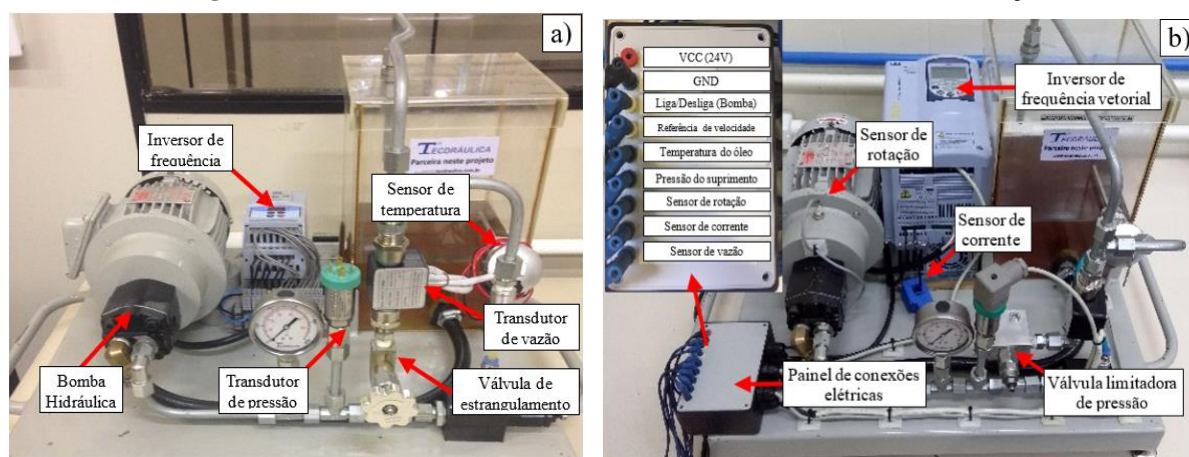
Os ensaios são realizados da seguinte forma: por meio de um supervisor é dado o comando de acionamento da bomba, bem como a escolha da velocidade de rotação. Com base

na rotação do motor elétrico e no V_g é determinada a vazão teórica da bomba. Manipulando uma válvula de estrangulamento, o acadêmico consegue simular uma elevação da pressão do sistema, promovendo o vazamento interno da bomba. Em consequência desse aumento de pressão, diminui-se a vazão volumétrica de óleo que circula pelo sensor de vazão. Ao comparar o valor da vazão média instantânea com a teórica, o usuário (acadêmico) consegue visualizar a eficiência volumétrica da bomba.

Devido ao fato de que a bancada (Figura 1a) não possui um circuito organizado de ligação dos instrumentos e a não atender às novas necessidades e expectativas, foram realizadas algumas implementações e melhorias, além da instalação do sensor de corrente prevista inicialmente. O novo arranjo pode ser visto na Figura 1b, em que se vê a legenda do painel de conexões elétricas.

No sistema hidráulico da Figura 1a, a alteração do nível de pressão do circuito se dava através de uma válvula de estrangulamento, porém essa válvula apresentava dificuldade de manter estável a pressão do circuito. Devido a essa instabilidade, a válvula foi substituída por uma limitadora de pressão, promovendo a diminuição da turbulência gerada e o melhoramento da estabilidade da pressão.

Figura 1 – Bancada didática: a) sem melhoria; e b) bancada com otimização



Fonte: elaborada pelos autores.

Para se alcançar o objetivo do trabalho, ou seja, determinar o valor instantâneo da eficiência mecânica também da bomba

hidráulica do circuito, foi necessário adquirir também os dados do torque de acionamento. Para tal levantamento, foi utilizado um método

indireto de aquisição, tornando-se obrigatório o uso de algum dispositivo que forneça o nível dessa variável para compará-la com a leitura indireta proposta.

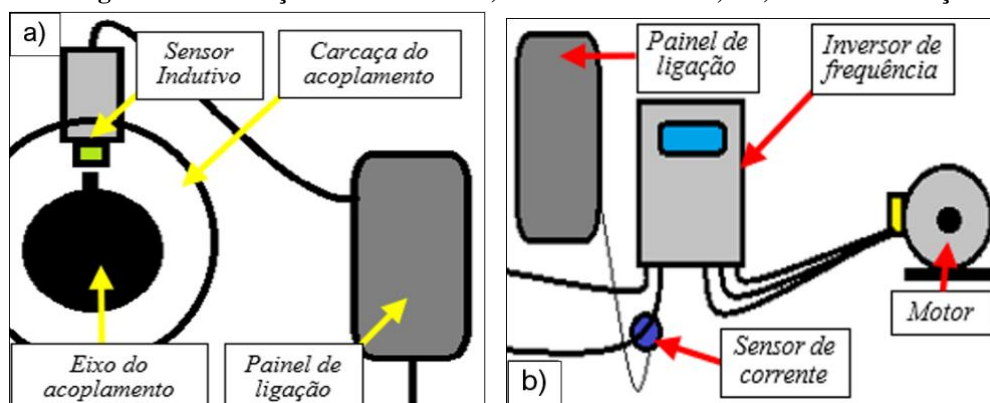
Devido ao alto custo dos transdutores de torque para o projeto, buscou-se outra forma de mensurar esse dado. Com a utilização de um inversor de frequência modelo CFW701, operando em modo vetorial, foram levantados dados elétricos do motor. Com tais dados, foi calculado o torque de acionamento oferecido pelo motor, indicando esse valor pelo parâmetro de leitura no *display* do inversor de frequência.

Para a substituição do transdutor de torque, foi utilizado um sensor de corrente não invasivo modelo STC-013-005, com *range* de 0 a 5 A em corrente alternada (CA) e sinal de 0 a 1 V (CA),

respectivamente. O sensor foi instalado na fase de alimentação do inversor de frequência. A característica não invasiva e de não ser sensível à alta frequência de chaveamento foram os requisitos para a seleção desse sensor. Na Figura 2a são apresentados o esquemático e o modelo do sensor utilizado.

Considerando a variação do escorregamento do motor, pelo aumento da carga durante os ensaios, foi instalado um sensor indutivo que capta um pulso por rotação (Figura 2b). Com o sensor e o programa desenvolvido, foi possível detectar a rotação exata do conjunto, pois se trata de um dado importante na avaliação da eficiência global de uma bomba hidráulica.

Figura 2 – Instalação dos sensores: a) sensor de corrente; e b) sensor de rotação



Fonte: elaborada pelos autores.

Visando a organizar a instalação eletroeletrônica da bancada e torná-la mais funcional, foi desenvolvido um painel de conexão (Figura 1b) que reúne os cabos dos sensores. Dentro do painel fica alojada uma placa eletrônica para atender às necessidades de alimentação e conexão dos instrumentos. Esta é dotada de dois reguladores de tensão: LM-7805 e LM-7810, de 5 e 10 V respectivamente. A alimentação é realizada por uma fonte externa de 24 VCC/5 A.

Para realizar a aquisição de sinais reunidos no painel, utilizou-se uma placa multifuncional DAQ-6009 da NI, e com o *LabView Student Edition* foi desenvolvido um programa para o tratamento e supervisão dos dados. Isso permitiu o monitoramento e a análise instantânea das variáveis. No sistema de

tratamento de dados, todos os instrumentos instalados na bancada foram tratados individualmente levando-se em conta o tipo de cada sinal e a escala utilizada respectivamente.

Sabendo-se que o sensor fornece um sinal senoidal de tensão de 0 a 1 V (CA), equivalente respectivamente à corrente de 0 a 5 A (CA), foi utilizado o bloco *Amplitude and Level Measurements* para extrair a tensão RMS, em seguida é multiplicado por 5 para atingir o teto do range do instrumento. Posteriormente foi calculada a média dos últimos 5 segundos de leitura, através do bloco de função *Mean*.

Ajuste do sensor de corrente e os dados de torque

Com o funcionamento do sistema de aquisição, foram realizados os ensaios para a determinação da função de transferência do sensor de corrente, utilizando-se como referência o analisador de energia modelo 43 BASIC/001 da marca FLUKE, que fornece dados de corrente real (*True RMS*) em *display* gráfico.

No procedimento de ajuste foram realizadas quatro séries de ensaios conforme a regra estatística n^2 orientada. Utilizou-se como ponto de início para a coleta de dados a corrente do motor, operando na pressão mínima do circuito hidráulico que é de 12 bar.

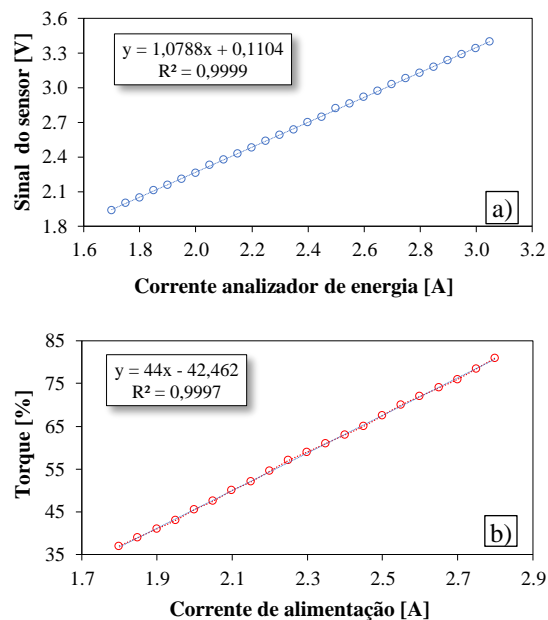
Foram adquiridas amostras dos valores de corrente pelo *software* e pelo analisador de energia, servindo este último como referência para as leituras, que se iniciaram a partir de 1,7 A. O acréscimo foi realizado a cada 50 mA, através da variação da pressão, atingindo ao final o limite de segurança da pressão da bancada 60 (bar), quando a corrente alcançou 3,05 A (Figura 3a).

Com o auxílio do *software MS Excel* foi extraída a média das séries e feita a plotagem dos resultados; seguindo conceitos de regressão linear foi verificado que o sensor apresentou 99,99 % de correlação linear e fator de conversão de 4,43 A/V. Por meio dos testes, foi obtida a equação utilizada no ajuste do sensor e, em seguida, essa equação automaticamente gerada no *MS Excel* foi inserida em uma escala linear criada no bloco de aquisição do *LabView* e vinculada ao sinal do sensor de corrente.

Na sequência foi feito o procedimento para se obter os valores de torque e posteriormente avaliação do rendimento mecânico da bomba. Nesse procedimento, foi utilizado 2,5 N.m para o conjugado nominal de carga do motor (dado do fabricante). O ajuste do sistema deu-se através da aquisição dos valores de corrente e as leituras de torque percentual lidas diretamente no *display* do inversor. Com esses dados, foi utilizado novamente o *Excel* para

relacionar as escalas de corrente de alimentação e torque de acionamento da bomba (Figura 3b).

Figura 3 – Curvas de ajuste: a) sensor de corrente; e b) dados percentuais de torque

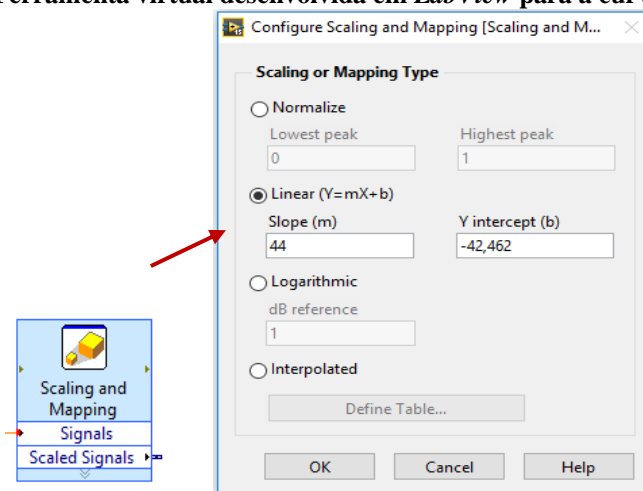


Fonte: elaborada pelos autores.

Com os dados da curva de ajuste plotados, observou-se através de conceitos de regressão linear que a relação entre corrente e torque atingiu 99,97 % de linearidade, sendo encontrada também a função matemática que representa a relação utilizada na ferramenta de ajuste *Scaling and Mapping*, apresentada na Figura 4.

Com auxílio dessa ferramenta foi efetuado o ajuste do torque percentual, sendo utilizada a escala do tipo linear, em que foram inseridos os valores da função, obtidos pelas curvas. Tendo o torque percentual obtido, o valor foi multiplicado pelo torque de conjugado nominal do motor, alcançando-se o torque real entregue pelo motor ao eixo de acionamento da bomba. Obtidos esses valores foi possível realizar os cálculos para a determinação da eficiência mecânica da bomba hidráulica.

Figura 4 – Ferramenta virtual desenvolvida em *LabView* para a curva de ajuste



Fonte: acervo dos autores.

Aferição dos dados de rotação

O sinal de leitura da detecção de rotação da bomba feita pelo sensor indutivo (Figura 2b) foi aferido por um tacômetro digital, mod. TDR-100. Acoplado à ponta do eixo do motor, o instrumento indicou a rotação real do acionamento, que, em comparação direta com a velocidade lida no supervisor, constatou igualdade entre os valores, não necessitando de qualquer tipo de ajuste.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinação da eficiência mecânica

A eficiência de um equipamento é medida pela capacidade de conversão de energia com o mínimo de perda possível. 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, respectivamente produzidos pelo nível de pressão de trabalho, influência da viscosidade do óleo na lubrificação dos mancais e o contato entre as vedações e partes móveis (LINSINGEN, 2016),

O torque de acionamento de uma bomba hidráulica (T_b) é produto da soma do torque teórico da bomba (T_{Tb}) com os atritos ocorridos nos componentes, como apresenta a equação (1):

$$T_b = T_{Tb} + T_a \quad (1)$$

em que T_b = Torque de acionamento da bomba [Nm], T_{Tb} = Torque teórico da bomba [Nm] e T_a = Torque de atrito [Nm].

Por convenção, os três tipos de atritos presentes nas bombas hidráulicas, como o torque de atrito mecânico (T_{am}), torque de atrito viscoso (T_v) e torque de atrito nas vedações (T_c), podem ser resumidos a um único termo (T_a).

Através do instrumento de baixo custo, do tratamento do seu sinal e dos ajustes efetuados no sistema, é possível coletar o torque de acionamento, porém, o torque teórico é descoberto através da equação (2):

$$T_{Tb} = \frac{V_g \cdot \Delta p}{2\pi} \quad (2)$$

em que T_{Tb} = Torque teórico da bomba [Nm], V_g = Volume geométrico [$\text{m}^3/\text{rot.}$] e Δp = Diferencial de pressão [bar].

Como a variável em questão é a eficiência mecânica, e os torques de acionamento e teórico são conhecidos, foi utilizada a equação (3) para determinar a eficiência mecânica:

$$\eta_m = \frac{T_{Tb}}{T_A} \quad (3)$$

em que η_m = eficiência mecânica [---] e T_A = Torque de acionamento [Nm].

As equações 2 e 3 foram inseridas no programa de tratamento de dados e são alimentadas pelos dados coletados através da

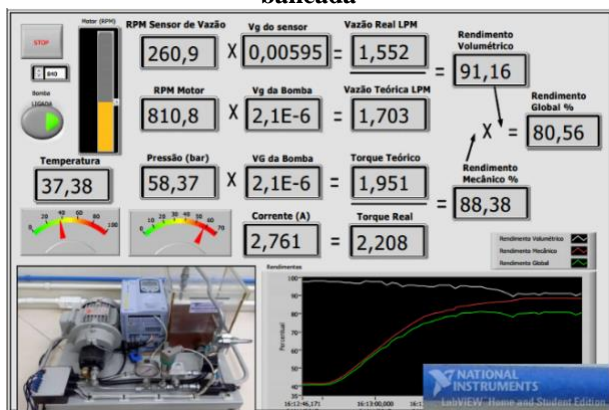
instrumentação instalada na bancada. Por meio dessas equações foi possível fornecer ao sistema de supervisão o valor instantâneo da eficiência mecânica da bomba, que era um dos objetivos do artigo.

Sistema de supervisão desenvolvido para a realização dos testes

Após o fim de todos os processos de testes e análises, adaptações mecânicas, hidráulicas e elétricas, instalação de novos sensores e seus tratamentos e ajustes dos sinais, a bancada ficou adequada para a realização dos testes e determinação das eficiências mecânica, volumétrica e global.

Para a realização dos testes, foi necessário realizar um sistema de supervisão dos dados, de forma que a atividade ficasse mais atrativa e funcional, e que os resultados tanto técnicos quanto de ensino pudessem ser efetivamente concretizados. O sistema final de supervisão expõe todas as variáveis de interesse adquiridas pelos sensores, que foram organizadas visualmente de forma sequencial e intuitiva (Figura 5).

Figura 5 – Supervisório desenvolvido para a bancada



Fonte: acervo dos autores.

Para a utilização do supervisório, o professor ou acadêmico precisa estar primeiramente com a bancada conectada à rede elétrica, o painel de instrumentação conectado à placa de aquisição, e esta a um computador com o *software* LabView instalado. Além disso, deve também ajustar a válvula reguladora

de pressão em alívio para evitar uma partida abrupta do sistema.

Em um segundo momento, com o sistema de supervisão aberto, o usuário deve ajustar uma rotação diferente de zero por meio do comando deslizante ou numérico, em seguida clicar no botão de acionamento do motor.

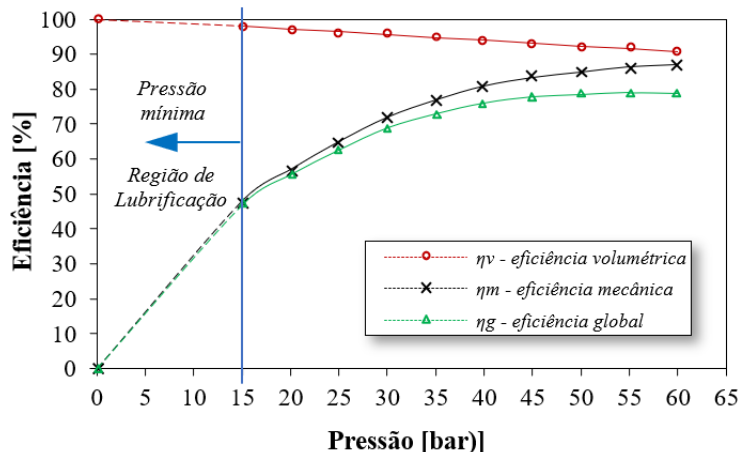
Para se obter dados de eficiência mecânica da bomba, a rotação do motor deve estar ajustada em 840 rpm, pois todo o sistema foi ajustado nessa rotação. Seguindo tais passos o acadêmico terá condições de realizar os ensaios fluidodinâmicos na bancada de testes.

O monitoramento se dará através da interface numérica e gráfica apresentada na Figura 5. Nesta, o usuário pode monitorar a eficiência da bomba, assim como todos os dados adquiridos pelos sensores.

Ensaio de validação da pesquisa

Para comprovar a funcionalidade da bancada didática foram realizados quatro ensaios para se obter uma média dos valores e minimizar o efeito do erro sistemático. Os ensaios foram realizados com o óleo do sistema operando a uma temperatura de 35 °C. Através do supervisório desenvolvido, foram coletados os valores dos rendimentos volumétrico, mecânico e global da bomba hidráulica. Os sinais foram adquiridos a cada variação de 5 bar, dentro de uma escala de 15 a 60 bar.

Para a representação das curvas de operação da bomba hidráulica, foram adquiridos os dados durante os ensaios. Em seguida foi feita a média dos valores a cada ponto de leitura. Com o auxílio do *software* Microsoft Excel foram apresentadas graficamente as eficiências da bomba hidráulica de engrenagens externas, para determinada faixa de pressão. A Figura 6 apresenta os resultados do projeto.

Figura 6 – Curvas de eficiência de uma bomba hidráulica de deslocamento fixo

Fonte: elaborada pelos autores.

Por meio dos resultados é possível observar o comportamento da eficiência de uma bomba de engrenagens externas de pequeno volume geométrico, visto que a eficiência global é resultante dos vazamentos entre a carcaça e as partes móveis e do atrito dos componentes, ou seja, o produto da eficiência volumétrica e a eficiência mecânica.

Também é visível que o aumento do vazamento interno da bomba tem relação direta com a redução do atrito das partes móveis desta, devido às propriedades lubrificantes do fluido hidráulico, ou seja, esse vazamento interno auxilia na formação de uma película de lubrificação, o que diminui o contato direto entre as superfícies dos componentes da bomba. Dessa forma, melhora-se as condições de lubrificação e minimiza-se consideravelmente o fenômeno do atrito – o qual representa a parcela física da eficiência mecânica.

Ao se observar o comportamento da curva de eficiência mecânica na Figura 6, a compreensão dessa relação fica visível. Em níveis mais altos de pressão, mais precisamente por volta de 60 bar, essa relação começa a promover o fenômeno de compensação que tende a estabilizar a eficiência mecânica da bomba a um nível em torno 88%.

CONCLUSÕES

A instrumentação de baixo custo, com o sensor de corrente não invasivo, adquirido ao custo de U\$6,22, mostrou-se eficiente ao seu propósito. Os dados fornecidos por ele foram

cruciais para referenciar o torque que o motor elétrico fornece para realizar o acionamento da bomba hidráulica.

As alterações realizadas na bancada mostraram-se eficientes, principalmente por permitir desenvolver futuras atividades de forma ativa com o acadêmico, além de ampliar os recursos da bancada existente. Também, a instrumentação desenvolvida nessa bancada vem suprir a deficiência que as bancadas didáticas comerciais possuem, que é a conexão aplicada com modelos matemáticos da literatura, desenvolvidos na área de sistemas hidráulicos de potência.

Devido aos ótimos resultados adquiridos durante os testes, a bancada otimizada poderá ser utilizada como metodologia ativa de aprendizagem dos cursos de engenharia da instituição, demonstrando de forma prática os conceitos adquiridos durante as aulas teóricas tradicionais.

Como sugestão para futuras melhorias ao processo de ensino, sugere-se desenvolver um maior número de bancadas, a fim de atender uma quantidade ainda maior de acadêmicos na disciplina. Além disso, promover a continuidade de pesquisas e o desenvolvendo científico desta área tão importante para a indústria nacional.

REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI, A.; SOUSA, A. R. **Fundamentos de metrologia científica e industrial**. Barueri, SP: Editora Manole, 2008.

- BARBOSA, E. F.; DE MOURA, D. G. Metodologias ativas de aprendizagem na educação profissional e tecnológica. **Tec. Senac**, Rio de Janeiro, v. 39, n. 2, p. 48-67, 2013.
- CARVALHO, A. S.; BARONE, D. A. C.; ZARO, M. A. Uma plataforma tecnológica para o ensino de engenharia de controle. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre: UFRGS, v. 7, n. 3, 2009.
- COELHO, M. A. J. et al. Learning Improvement in Electronics Disciplinary using a Didactic Workbench. **IEEE latin America Transactions**, v. 14, n. 1, 2016.
- DUNN, W. C. **Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control**. McGraw-Hill Companies: United States, 2005.
- LEAL, F. A.; FILHO, M. R. **Bancada virtual: sistema motriz de bombeamento de água para ensino de eficiência energética**. Laboratório de Realidade Virtual, Universidade Federal do Pará (UFPA), 2011.
- LEITE, J. A. **Bancada multifuncional para simulação de mecanismos de falhas em máquinas**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, 2012.
- LINSINGEN, I. V. **Fundamentos de sistemas hidráulicos**. Florianópolis: Editora da UFSC, 2016.
- LOPES, L. M. et al. Bancada didática para avaliação da eficiência volumétrica de bombas de engrenagens com auxílio do *software* LabView. **Anais... 5º SICT-SUL - Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense**, 2016.
- NOGAREDE, B. et al. Educational Bench: Self-Controlled Synchronous Machine. **Proceedings of the International Conference on Electrical Machines**, 2008.
- PERUZZI, S. L., FONFONKA, L. A importância da aula prática para construção significativa do conhecimento: a visão dos professores das ciências da natureza. **Revista de Educação Ambiental em Ação**, v. 47, p. 1, 2014.
- PETRY, D. R. et al. Estratégias competitivas em instituições de ensino superior: um estudo de caso à luz da visão baseada em recursos. **Revista Gestão Universitária na América Latina-GUAL**, v. 10, n. 2, p. 1-19, 2017.
- RUKABER, M. **Hydraulics Fit for Industry 4.0: Combination of hydraulics, electrical engineering, and open communication for networked solutions**. **Hydraulic & Pneumatic**, 2015.
- SANTOS, T. C. et al. Desenvolvimento de Equipamentos Didáticos para Ensino de Mecânica dos Fluidos: Estudo da Perda de Carga. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 35, n. 2, p. 14-25, 2016.
- SILVA, F. E. de C.; SCHNEIDER, F. A. projeto e construção de uma bancada didática para ensaio de bombas centrífugas. **Anais... XLI COBENGE Congresso Brasileiro de Educação em Tecnologia**. Gramado, RS, 2013.
- SILVEIRA, A. S.; DE SOUZA, J. A. Construction and validation of a didactic bench for characterization of compressors. **Brazilian Applied Science Review**, v. 3, n. 1, p. 121-132, 2018.
- 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**. EUA: CRC, 1999.
- ZORZAN, F.; DARONCH, J.; MOLIN, A. Desenvolvimento de uma Bancada Didática de Hidráulica. **Fórum Latino Americano De Engenharia**. Foz do Iguaçu: UNILA, 2013.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



Lucas Dela Gustina é graduado em Automação Industrial pela Faculdade SATC (2017), Criciúma, SC. Desenvolveu essa pesquisa aplicada durante seu trabalho de conclusão de curso de graduação, juntamente com outros acadêmicos no Laboratório de Automação e Simulação de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos - LASPHI, do departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade SATC, durante um período de oito meses do ano de 2017.



Richard de Medeiros Castro é graduado em Automação Industrial pela Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC (2003), tem Especialização em Psicopedagogia pela Universidade Castelo Branco, UCB/RJ (2006). Mestre em Engenharia Metalúrgica e Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (2012). Mestre em Mecatrônica Industrial pelo Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC. Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e Materiais – PPGE3M, UFRGS. Professor de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos e coordenador do Laboratório de Automação e Simulação de Sistemas Pneumáticos e Hidráulicos (LASPHI) do departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade SATC, Criciúma – SC.



Douglas de Medeiros Deolindo é graduado em Automação Industrial pela Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC (2003), possui especialização em Automação Industrial e Informática, pelo CTAI/SENAI, Brasil (2007). Possui especialização em Mecatrônica Industrial pelo Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC. Tem experiência nas áreas de Automação Industrial e Comercial, Sistemas Embarcados e Acionamentos Eletromecânicos. Atualmente é professor do departamento de Engenharia Mecatrônica da Faculdade SATC, lecionando as disciplinas de Instrumentação e Acionamentos Eletromecânicos.



Umberto Ladislei Marques Felipe Castro é graduada em Licenciatura em Letras e Pedagogia pelo Centro Universitário Leonardo Da Vinci – UNIASSELVI (2015, 2019). Possui Especialização em Metodologia de Ensino de Língua Portuguesa e Literatura pela UNIASSELVI (2017). Atualmente é mestranda em Tecnologias da Informação e Comunicação PPGTIC, pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) - *Campus* Araranguá, com bolsa da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Professora de Produção e Interpretação Textual no Colégio Rogacionista Criciúma desde 2015. Integrante de Grupo de Pesquisa (CNPq) RExLab – Laboratório de Experimentação Remota.