

FACUDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ - FAACZ

CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

João Victor Gomes

João Vitor Alves

Márcio Alves

Marco Aurélio

Wanderson Bobbio

REVITALIZAÇÃO EM BANCADAS HIDRÁULICAS UNIVERSITÁRIAS:
BENEFÍCIOS E DESAFIOS NA REFORMA

Aracruz – ES

2025

João Victor Gomes

João Vitor Alves

Márcio Alves

Marco Aurélio

Wanderson Bobbio

REVITALIZAÇÃO EM BANCADAS HIDRÁULICAS UNIVERSITÁRIAS:
BENEFÍCIOS E DESAFIOS NA REFORMA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdades Integradas de Aracruz (FAACZ), como
parte das exigências para a obtenção do título de
bacharel em Engenharia Mecânica.

**Orientador(a): Profº Drº Harerton Oliveira
Dourado**

Aracruz – ES

2025

João Victor Gomes

João Vitor Alves

Márcio Alves

Marco Aurélio

Wanderson Bobbio

REVITALIZAÇÃO EM BANCADAS HIDRÁULICAS UNIVERSITÁRIAS:
BENEFÍCIOS E DESAFIOS NA REFORMA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdades Integradas de Aracruz (FAACZ), como
parte das exigências para a obtenção do título de
bacharel em Engenharia Mecânica.

**Orientador(a): Profº Drº Harerton Oliveira
Dourado**

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Profº Drº Harerton Oliveira Dourado

Dedicamos este projeto primeiramente a Deus e a toda nossa família, amigos e todos os professores que nos influenciaram em nossa trajetória. Em especial ao professor Harenton, nosso orientador, com quem compartilhamos dúvidas e angústias a respeito do tema.

RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso analisa a automação de bancadas hidráulicas universitárias, discutindo seus benefícios didáticos e os desafios técnicos e estruturais envolvidos em processos de reforma em ambientes acadêmicos de engenharia mecânica. A pesquisa tem como objetivo principal avaliar de que forma a automação pode ampliar a segurança, a confiabilidade dos ensaios e a eficiência no processo de ensino-aprendizagem em laboratórios de hidráulica, sem comprometer a flexibilidade de uso das bancadas. Metodologicamente, foi realizado um estudo de caso em uma bancada hidráulica existente, envolvendo levantamento de requisitos, diagnóstico das condições atuais, revisão de soluções tecnológicas aplicáveis, elaboração de proposta de automação e análise de viabilidade sob os pontos de vista técnico, operacional e econômico. Os resultados indicam que a integração de sensores, controladores programáveis e interfaces de supervisão permite maior repetibilidade dos experimentos, melhor monitoramento de variáveis de processo e redução de falhas decorrentes de operação manual, favorecendo o desenvolvimento de competências práticas pelos estudantes. Verificou-se também que os principais desafios concentram-se na compatibilização da infraestrutura já instalada com novos dispositivos de automação, na necessidade de adequação elétrica e na elaboração de procedimentos de operação e manutenção que considerem as condições reais de uso em ambiente acadêmico. Conclui-se que a automação de bancadas hidráulicas universitárias é tecnicamente viável e pedagogicamente vantajosa, desde que seja precedida de um planejamento cuidadoso, contemplando análise de riscos, capacitação de usuários e escolha criteriosa de tecnologias, de modo a garantir segurança, confiabilidade e sustentabilidade econômica do investimento.

Palavras-chave: Automação. Hidráulica. Bancada. Didática. Laboratório. Engenharia. Controle. Instrumentação. Ensino.

ABSTRACT

This undergraduate thesis analyzes the automation of hydraulic teaching benches in university laboratories, discussing its educational benefits as well as the technical and structural challenges involved in refurbishment processes within mechanical engineering academic environments. The main objective is to evaluate how automation can enhance safety, test reliability and the efficiency of the teaching-learning process in hydraulic laboratories without compromising the flexibility of bench usage. The methodological approach consists of a case study on an existing hydraulic bench, including requirements survey, diagnosis of current conditions, review of applicable technological solutions, development of an automation proposal and feasibility analysis from technical, operational and economic perspectives. The results show that the integration of sensors, programmable controllers and supervision interfaces provides higher repeatability of experiments, improved monitoring of process variables and reduction of failures caused by manual operation, thus supporting the development of practical skills by students. It was also verified that the main challenges are related to the compatibility between existing infrastructure and new automation devices, the need for electrical adequacy and the preparation of operating and maintenance procedures that consider real conditions of use in the academic environment. It is concluded that the automation of university hydraulic benches is technically feasible and pedagogically advantageous, provided it is preceded by careful planning that includes risk analysis, user training and careful selection of technologies, in order to ensure safety, reliability and economic sustainability of the investment.

Keywords: Automation. Hydraulic. Bench. Didactic. Laboratory. Engineering. Control. Instrumentation. Education.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxo de fluido por meio de uma tubulação com bomba de sucção.	17
Figura 2 - Equação da energia.	17
Figura 3 - escoamento unidimensional.	20
Figura 4 - escoamento bidimensional.	21
Figura 5 - escoamento tridimensional.	21
Figura 6 - Fluxograma classificação dos escoamentos.	23
Figura 7 - escoamento laminar.	23
Figura 8 - escoamento turbulento.	24
Figura 9 - escoamento indeterminado.	24
Figura 10 - Modelo simplificado de um instrumento.	25
Figura 11 - Exemplo de controle de processo (nível).	27
Figura 12 - Controle de nível executado por um ser humano.	27
Figura 13 - Controle de nível automático.	28
Figura 14 - Bancada hidráulica revitalizada.	36
Figura 15 - Teste do sistema elétrico.	37
Figura 16 - Instalação de atuador elétrico.	37
Figura 17 - Teste de rotâmetro fluxômetro.	38
Figura 18 - Ajuste de parâmetros.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limites de escoamento para Reynolds.	24
Tabela 2 - Sinais típicos de variáveis de processo e de saída.	26
Tabela 3 - Componentes bancada hidráulica existente.	31
Tabela 4 - Instrumentos utilizados na montagem da bancada didática.	33
Tabela 5 - Dados curva das bombas em paralelo	42
Tabela 6 - Dados curva das bombas em série	44
Tabela 7 - Dados curva das bombas gráfico	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO	14
2.1	Objetivo geral.....	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	15
3.1	Conceito básicos.....	15
3.1.1	Fluido	15
3.1.2	Hidráulica.....	15
3.1.3	Hidrostática	15
3.1.4	Hidrodinâmica	16
3.1.5	Pressão	16
3.1.6	Pressão manométrica	16
3.1.7	Bombas hidráulicas.....	16
3.1.8	Potência de uma bomba hidráulica	17
3.2	Dimensionamento das tubulações e perdas de carga	19
3.2.1	Tipos de escoamento.....	20
3.2.2	Número de Reynolds	21
3.3	Descrição e classificação de movimentos de fluidos	22
3.3.1	Escoamento laminar	23
3.3.2	Escoamento turbulento	23
3.3.3	Escoamento indeterminado	24
3.4	Instrumentação.....	25
3.5	Controle de processos	26
3.6	Bancadas hidráulicas didáticas	29
4	METODOLOGIA	31
5	PROJETO X MANUTENÇÃO DA BANCADA HIDRÁULICA.....	34
6	MANUTENÇÃO.....	38
7	SEGURANÇA OPERACIONAL	40

8	PERDA DE CARGA	41
9	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	46
10	CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	47
11	REFERÊNCIAS.....	48

1 INTRODUÇÃO

A crescente evolução tecnológica tem influenciado de maneira significativa no campo do ensino de engenharia, particularmente nas instituições privadas de ensino superior, onde a integração de novas tecnologias é primordial para a formação de engenheiros capacitados para o mercado atual. Neste contexto, a automação em bancadas hidráulicas universitárias emerge como uma inovação crucial, não apenas como ferramenta para o aprendizado prático dos estudantes de Engenharia Mecânica, mas também promovendo uma reforma que maximiza a qualidade do ensino.

A implementação de sistemas autônomos de medição em bancadas hidráulicas tem ganhado destaque por oferecer benefícios substanciais à educação, conforme destacado por Pereira (2022), que analisa a otimização em sistemas automatizados e suas aplicações no ambiente acadêmico.

Por outro lado, a importância da automação em ambientes acadêmicos é destacada por Barros (2023), ao estudar a aplicação de sistemas de ensino a distância baseados em Arduino, que revolucionam a forma como experimentos práticos são conduzidos remotamente, melhorando a interação e compreensão dos conceitos pelos alunos.

Ao introduzir ferramentas automatizadas em bancadas hidráulicas, os aspectos de precisão nas medições e a capacidade de repetir experimentos com menor variação humana são amplificados, como observa Grossi (2022) em seu desenvolvimento de softwares para modelagem de escoamento.

O tema gera grande interesse no meio acadêmico e industrial, essa iniciativa exige um planejamento cuidadoso e a consideração de diversos desafios, tais como a necessidade de investimentos e a adaptação dos laboratórios.

Estimando o custo total da implementação de um sistema de automação em uma bancada hidráulica, considerando os benefícios em termos de eficiência, qualidade do ensino e redução de custos operacionais e comparando os custos de manutenção dos sistemas automatizados com os sistemas convencionais. Identificando os desafios, mapeando as principais oportunidades técnicas encontradas na implementação dos

sistemas de automação, analisando a necessidade de treinamento dos professores e técnicos para operar e manter os novos equipamentos.

A relevância deste trabalho reside em fornecer um referencial prático e quantitativo que auxilie as instituições privadas de ensino superior na tomada de decisão estratégica sobre a modernização de seus laboratórios. Ao detalhar o balanço entre investimento inicial e o retorno em capital humano qualificado e eficiência operacional, esta pesquisa contribui diretamente para a consolidação de um ensino de engenharia mais prático, preciso e alinhado com as exigências da engenharia contemporânea.

Esta análise se justifica pela necessidade de preencher uma lacuna de estudos que integrem as perspectivas pedagógica, técnica e econômica da automação de equipamentos didáticos de hidráulica, oferecendo um *road-map* para que outras instituições possam replicar a iniciativa, maximizando a qualidade da formação dos futuros engenheiros mecânicos e de áreas afins.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Revitalizar e implementar um sistema de medições com instrumentos inteligentes em uma bancada hidráulica.

2.2 Objetivos específicos

- a) Diagnosticar identificar situação atual da bancada hidráulica;
- b) Estimar o custo total da implementação, considerando os benefícios em termos de eficiência na pratica vinculada a teoria;
- c) Revitalizar bancada do laboratório de mecânica que está fora de operação, ofertando aos alunos conhecimentos específicos adquiridos em sala de aula;
- d) Aumentar a eficiência da coleta de dados, implementado automatização de instrumentos;
- e) Mapear os desafios técnicos, analisar a necessidade de treinamento e identificar as oportunidades de melhoria;
- f) Realizar ensaio de perda de carga do sistema.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Conceito básicos

3.1.1 Fluido

Substância contínua e amorfa cujas moléculas se movem livremente umas para as outras, sendo, portanto, capaz de escoar e apresentando a tendência de assumir a forma do recipiente que a contém.

Fluido é uma substância que não tem uma forma própria, assume o formato do recipiente. (BRUNETTI, 2009).

Trata-se de uma substância com capacidade de se deformar continuamente de acordo com seu espaço adquirido e a tensão de cisalhamento fornecida, podendo ser líquidos ou gases. Alguns fluidos como o mel, levam um tempo até obter a forma definida esperada, mas sempre assumira o mesmo formato do recipiente em que se encontra (VILANOVA, 2011e Fox, McDonald e Pritchard, 2006).

3.1.2 Hidráulica

“Hidráulica” é uma palavra que vem do grego, sendo derivada da união de hydra (água) + aulos (condução/aula/tubo), identificando, portanto, um ramo da física que se dedica a estudar o comportamento dos líquidos em movimento e em repouso. É responsável pelo conhecimento das leis que regem o transporte, a conversão de energia, a regulação e o controle do fluido de acordo com suas variáveis (pressão, vazão, temperatura, viscosidade etc.).

3.1.3 Hidrostática

Ciência que trata dos líquidos sob pressão (mecânica dos fluidos estáticos, seguida de condições de equilíbrio dos fluidos).

3.1.4 Hidrodinâmica

Ciência que trata dos líquidos em movimento (teoria da vazão) e, mais precisamente, de sua energia cinética.

3.1.5 Pressão

Em termos de hidrostática, define-se pressão como a força exercida pelo fluido por unidade de área do recipiente que o contém. Sua unidade no SI é dada em N/m² ou Pa, embora seja comum, ainda, a utilização de unidades como atm, bar, kgf/mm², lib/in² etc.

3.1.6 Pressão manométrica

Chama-se pressão manométrica a diferença entre a pressão absoluta ou real e a pressão atmosférica. Aplica-se tão somente àqueles casos em que a pressão é superior à pressão atmosférica. Muitos dos aparelhos empregados para a medida de pressões utilizam a pressão atmosférica como nível de referência e medem a diferença entre a pressão real ou absoluta e a pressão atmosférica, e o valor obtido é chamado de pressão manométrica.

Os aparelhos utilizados para medir a pressão manométrica recebem o nome de manômetros e funcionam segundo os mesmos princípios em que se fundamentam os barômetros de mercúrio e os aneroides. Deste modo, e de acordo com a definição de pressão, sabendo-se a pressão sob a qual um fluido encontra-se confinado em um reservatório fechado, é possível conhecer a força que ele exerce contra as paredes desse reservatório.

3.1.7 Bombas hidráulicas

As bombas hidráulicas são muito importantes nos circuitos hidráulicos. São elas que bombeiam o fluido (vazão) para o funcionamento dos atuadores, como cilindros e motores hidráulicos, e para o controle de cargas com grande potência e precisão de

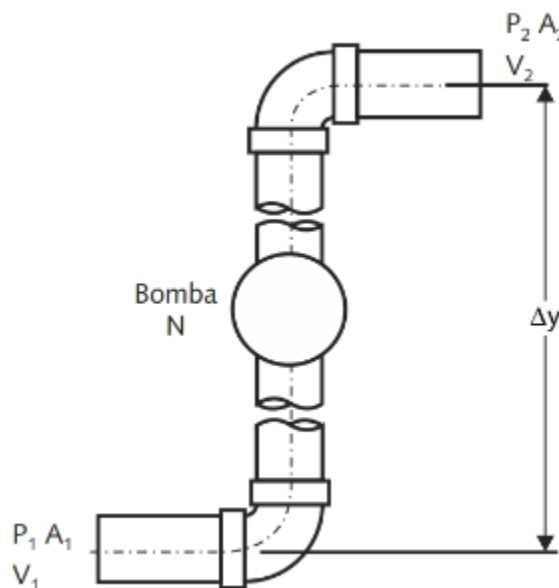
acionamento. Os motores hidráulicos usam a vazão do fluido para a execução de trabalho.

A bomba é responsável pela geração de vazão dentro do sistema hidráulico, sendo, portanto, responsável pelo acionamento dos atuadores. Esse equipamento é utilizado para converter energia mecânica em hidráulica.

3.1.8 Potência de uma bomba hidráulica

Já em termos de hidrodinâmica, a pressão em uma tubulação pode ser conhecida a partir da equação da energia, que leva em consideração a energia cinética e potencial do fluido, a taxa de massa, a perda de carga das tubulações e conexões e o trabalho realizado pela bomba de sucção (Figura 1).

Figura 1 - Fluxo de fluido por meio de uma tubulação com bomba de sucção.



Fonte: (FIALHO 2019).

Figura 2 - Equação da energia.

$$\dot{m} \cdot \left[\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{[v_2^2 - v_1^2]}{2} + g \cdot (\Delta y + h_{f_{eq}}) \right] = N$$

Fonte: (FIALHO 2019).

Em que:

- $\dot{m}$ = Vazão mássica [kg/s]
- ΔP = Variação de pressão [kPa]
- ρ = Massa específica do fluido [kg/m³]
- Q = Vazão mínima necessária à bomba [m³/s]
- v_1 = Velocidade do fluido na seção 1 do duto [m/s]
- v_2 = Velocidade do fluido na seção 2 do duto [m/s]
- g = Aceleração da gravidade [m/s²]
- A_1 = Seção transversal interna inicial do duto [cm²]
- A_2 = Seção transversal interna final do duto [cm²]
- Δy = Diferença de nível [m]
- h_{feq} = Comprimento virtual equivalente devido às singularidades no intervalo de duto estudado [m]
- N = Potência necessária para que a bomba de sucção eleve o fluido à diferença de nível Δy [watts].

E a vazão mássica ou taxa de massa $\dot{m}$ é dada por: $\dot{m} = \rho \cdot Q$.

3.2 Dimensionamento das tubulações e perdas de carga

O dimensionamento adequado das tubulações é um fator fundamental para o desempenho, a eficiência e a segurança de sistemas hidráulicos. Assim como o correto dimensionamento das bombas, a escolha apropriada dos diâmetros das tubulações influencia diretamente o regime de escoamento do fluido, as perdas energéticas do sistema e a vida útil dos componentes envolvidos.

O fluido deve escoar nas tubulações com velocidades compatíveis com as condições de operação, de modo a evitar problemas como cavitação na sucção da bomba, ruídos excessivos, vibrações, erosão das paredes internas e aumento desnecessário das perdas de carga. Na linha de sucção, por exemplo, recomenda-se trabalhar com velocidades mais baixas, garantindo condições favoráveis de pressão e reduzindo o risco de cavitação. Já nas linhas de recalque e descarga, velocidades um pouco mais elevadas podem ser admitidas, desde que dentro dos limites técnicos recomendados pela literatura especializada.

As perdas de carga no sistema hidráulico podem ser classificadas em perdas distribuídas e perdas localizadas. As perdas distribuídas ocorrem ao longo do comprimento da tubulação devido ao atrito entre o fluido e as paredes internas do tubo, sendo influenciadas pelo comprimento, diâmetro, rugosidade do material e regime de escoamento. Essas perdas são comumente calculadas por meio da equação de Darcy-Weisbach, utilizando o fator de atrito adequado ao tipo de escoamento.

Por outro lado, as perdas de carga localizadas estão associadas à presença de singularidades no sistema, como válvulas, registros, curvas, joelhos, tês, reduções e ampliações de diâmetro. Tais elementos provocam alterações bruscas na direção ou na velocidade do escoamento, gerando perdas adicionais de energia. Essas perdas são geralmente determinadas pelo método dos coeficientes de perda de carga (K), cujos valores podem ser obtidos a partir de tabelas técnicas ou fornecidos pelos fabricantes dos componentes.

O somatório das perdas distribuídas e localizadas resulta na perda de carga total do sistema, parâmetro essencial para a determinação da altura manométrica exigida da bomba. Um dimensionamento inadequado das tubulações pode levar à seleção incorreta da bomba, aumento do consumo energético, redução da eficiência global do sistema e elevação dos custos operacionais e de manutenção.

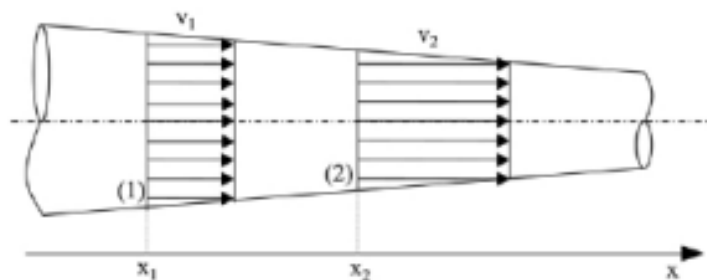
Dessa forma, o correto dimensionamento das tubulações, aliado à análise criteriosa das perdas de carga, constitui uma etapa indispensável no projeto de circuitos hidráulicos, assegurando o funcionamento eficiente, confiável e econômico do sistema ao longo de sua vida útil.

3.2.1 Tipos de escoamento

Um escoamento de fluido pode ser classificado em Uni, Bi ou Tridimensional de acordo com o número de coordenadas espaciais necessárias para especificar o seu campo de velocidade.

O escoamento unidimensional ocorre quando sua velocidade e direção é a mesma para todos os pontos. Desta forma as propriedades devem ser constantes em cada seção, conforme figura 3.

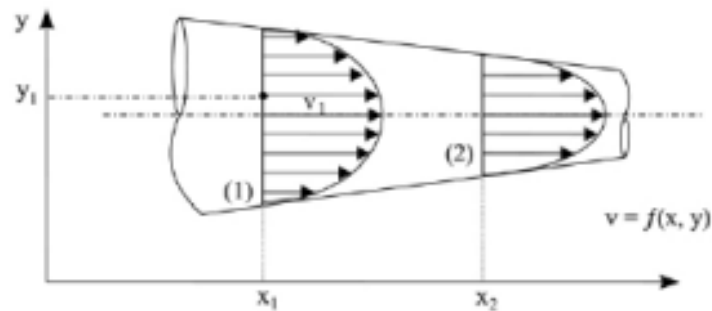
Figura 3 - Escoamento unidimensional.



Fonte: BRUNETTI (2009).

No escoamento bidimensional as grandezas variam em duas dimensões onde ocorrem paralelamente e com trajetórias iguais.

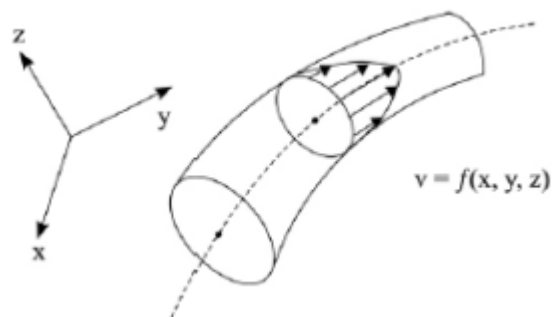
Figura 4 - Escoamento bidimensional.



Fonte: BRUNETTI (2009).

Os escoamentos Tridimensionais indicam que o campo de velocidade pode ser uma função de três coordenadas espaciais e do tempo, conforme a figura 5.

Figura 5 - Escoamento tridimensional.



Fonte: BRUNETTI (2009).

3.2.2 Número de Reynolds

Em 1883, um cientista de nome Osborne Reynolds publicou um trabalho, no qual ele analisava relações de proporcionalidade entre forças de inércia e viscosidade de uma série de fluidos escoando por dutos lineares de seção geométrica constante, bem como o perfil de velocidade que eles desenvolviam.

Para condutos de seções circulares, demonstrou que essa relação é dada pela seguinte expressão:

$$Re = \frac{V \cdot dt}{\mu}$$

Em que:

- V = Velocidade do fluido para a tubulação em questão.
- d_t = Diâmetro interno da tubulação [cm].
- μ = Viscosidade cinemática do fluido em stokes [St].
- Re = Número de Reynolds (adimensional)

A denominação número de Reynolds só passou a ser utilizada a partir de 1908, quando o cientista Arnold Sommerfeld propôs que, àquela relação apresentada na publicação de Reynolds, em 1883, fosse atribuído o nome de seu pesquisador como forma de homenagem. O trabalho de Osborne Reynolds, ao analisar os perfis de velocidade desenvolvidos pelos fluidos quando em escoamento pelas tubulações, identificou claramente parâmetros numéricos que reconheciam limites de comportamento do fluido, os quais ele denominou escoamento laminar, escoamento indeterminado e escoamento turbulento.

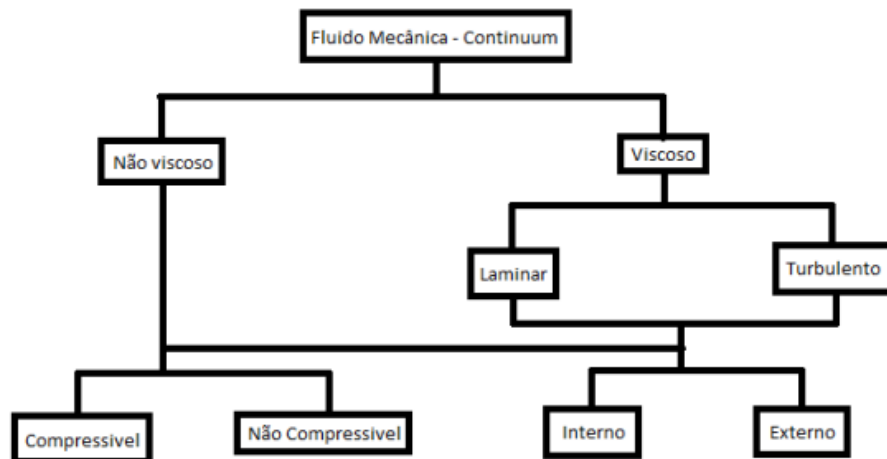
3.3 Descrição e classificação de movimentos de fluidos

A mecânica dos fluidos é uma disciplina enorme e abrange tudo, desde a aerodinâmica de um supersônico avião para a lubrificação das articulações humanas pelo líquido sinovial. É preciso quebrar a mecânica dos fluidos em proporções gerenciáveis. Os dois aspectos mais difíceis de uma análise de mecânica dos fluidos para lidar são: (1) a natureza viscosa do fluido e (2) sua compressibilidade.

A teoria da mecânica dos fluidos tornou-se altamente desenvolvido há cerca de 250 anos e lidava com um fluido incompressível e sem atrito. Essa teoria levou ao famoso resultado chamado paradoxo de d'Alembert. Todos os corpos não experimentam arrasto à medida que se movem através de tal fluido, o que não é consistente com o comportamento real. O primeiro significativo esforço para lidar com a natureza viscosa dos fluidos ocorreram no início de 1900 e levaram à classificação de fluidos com base

na presença de efeitos viscosos e efeitos de compressibilidade. Também existem classificações em termos de se um fluxo é laminar ou turbulento e interno ou externo.

Figura 6 - Fluxograma classificação dos escoamentos.

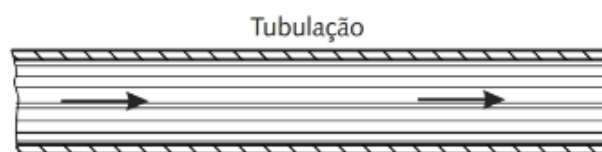


Fonte: Autoria própria (2025).

3.3.1 Escoamento laminar

Escoamento cujas linhas de fluxo são paralelas, representadas por números Re menores, correspondendo a uma influência maior da viscosidade do fluido.

Figura 7 - Escoamento laminar.



Fonte: (FIALHO 2019).

3.3.2 Escoamento turbulento

Escoamento cujas linhas de fluxo se apresentam desordenadas, correspondendo a números Re elevados e, portanto, indicando a preponderância das forças de inércia, sendo também indicativo de maior perda de carga.

Figura 8 - Escoamento turbulento.

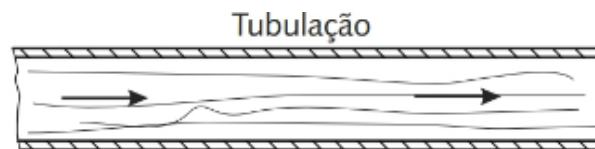


Fonte: (FIALHO 2019)

3.3.3 Escoamento indeterminado

Conhecido também como limite crítico do escoamento, representa um intervalo numérico em que é impossível determinar o comportamento do fluido, pois ele se comporta ora como laminar ora como turbulento.

Figura 9 - Escoamento indeterminado.



Fonte: (FIALHO 2019).

Em sistemas hidráulicos, é extremamente importante que o fluido, quando em movimento, desenvolva sempre um comportamento laminar, pois, como já citado, um comportamento turbulento representa maior perda de carga no sistema, gerando maior aquecimento nas tubulações, em razão dos elevados atritos internos.

Tabela 1 - Limites de escoamento para Reynolds.

Limites de escoamento	
Escoamento laminar	$Re \leq 2000$
Escoamento indeterminado	$2000 < Re < 2300$
Escoamento turbulento	$Re \geq 2300$

Fonte: (FIALHO 2019).

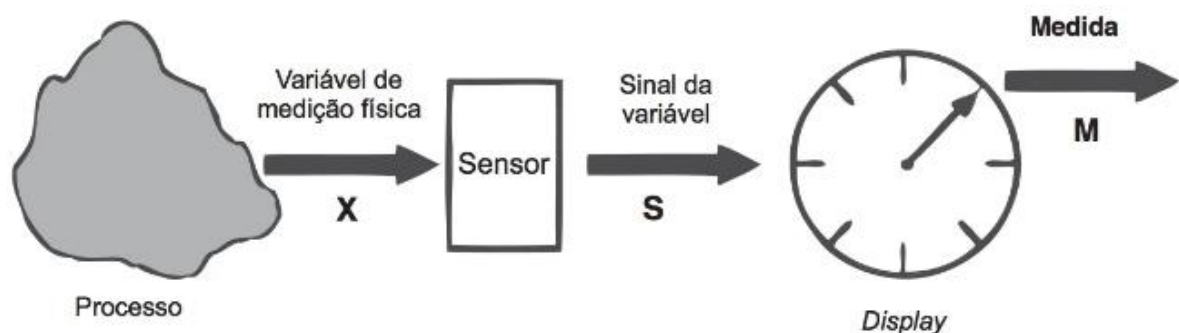
3.4 Instrumentação

A instrumentação pode ser definida como a ciência que estuda, desenvolve e aplica instrumentos de medição e controle de processos. É empregada desde em processos simples como o controle de temperatura em uma residência até no controle de processos críticos como reatores nucleares. Diversos tipos de variáveis podem ser medidas, sendo objeto de estudo nesta obra temperatura, pressão, vazado e nível, bem como elementos finais de controle.

A obtenção de medidas precisas confiáveis e com o menor custo possível depende do instrumento empregado, da qualificação do usuário e do tratamento matemático que as medições sofrem. Dessa forma, para o emprego de instrumentos e a interpretação correta dos seus resultados é fundamental que a pessoa encarregada dessa tarefa entenda os princípios de medição dos instrumentos para que possam ser feitas medições confiáveis dentro das faixas possíveis e características do instrumento.

De uma forma simplificada, um instrumento é um dispositivo que transforma uma variável física de interesse (pressão, temperatura etc.) em um formato passível de medição por um instrumento. A Figura 1.1 descreve o modelo simplificado de um instrumento típico.

Figura 10 - Modelo simplificado de um instrumento.



Fonte: (FRANCHI 2015).

Uma variável física do processo é empregada para a medição representada pela letra X.

O elemento chave desse processo de medição é o sensor, que tem a função de converter o sinal da variável física em um sinal da variável de saída apropriado. Na Tabela 2 são apresentados sinais típicos de variáveis de processo e de saída.

Tabela 2 - Sinais típicos de variáveis de processo e de saída.

Variáveis físicas típicas	Variáveis de saídas típicas
Temperatura	Tensão
Pressão	Corrente
Vazão	Frequência
Nível	Resistência
Velocidade	

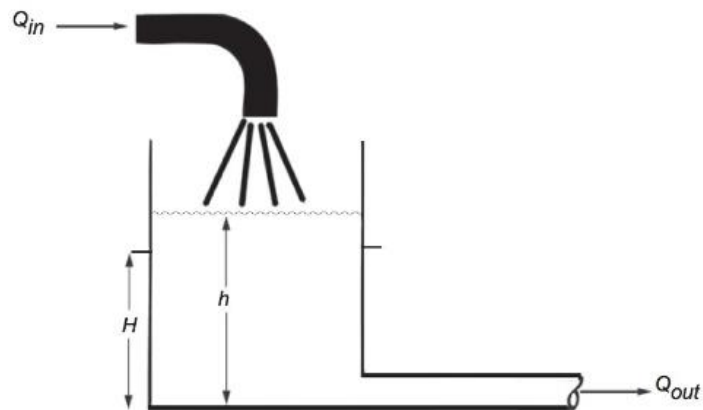
Fonte: FRANCHI (2015).

Os sinais das variáveis devem ser escolhidos de modo que possam ser manipulados e transmitidos em circuitos elétricos, preferencialmente, para uma leitura direta ou para serem armazenados em computadores de uma forma histórica. Antes de iniciarmos nosso estudo sobre esses instrumentos de medida, é essencial a apresentação de conceitos básicos de controle de processo, em que a medição das variáveis de processo é fundamental.

3.5 Controle de processos

Em controle de processos o objetivo básico é manter uma determinada variável em um valor desejado mesmo quando ela for submetida a perturbações externas. A seguir será apresentado um exemplo simples de controle de processo para familiarizar o leitor com a terminologia e os conceitos aplicados em instrumentação industrial. O processo apresentado é um controle de nível de um líquido como mostra a Figura 11.

Figura 11 - Exemplo de controle de processo (nível).

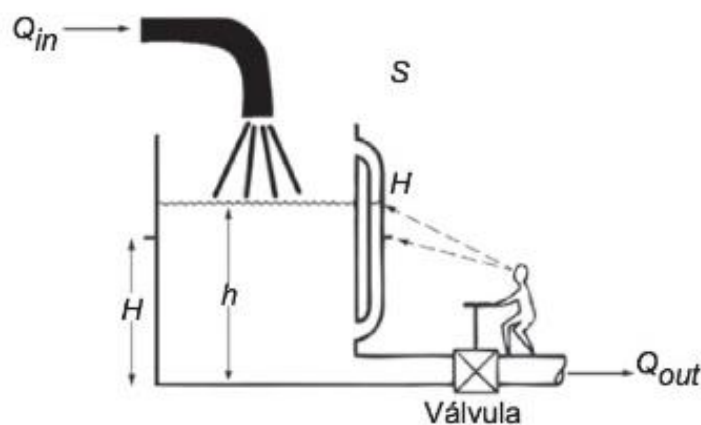


Fonte: (FRANCHI 2015).

O líquido ingressa no tanque com uma vazão, Q_{in} , e sai do tanque com uma vazão Q_{out} . O líquido no tanque apresenta um nível h . Nesse processo é sabido que a vazão de saída varia de acordo com o nível do tanque de forma quadrática. Assim, quanto maior for o nível do tanque maior será a vazão de saída do tanque. Dessa forma, se $Q_{out} > Q_{in}$ o tanque irá esvaziar, e se $Q_{out} < Q_{in}$ o tanque irá transbordar. Suponha que se deseja manter o nível em um valor desejado H independentemente da vazão de entrada Q_{in} . Para atingir esse objetivo é necessária a aplicação de algum tipo de controle nesse processo.

Controle manual: na Figura 12 é apresentada uma modificação no sistema do tanque, permitindo o controle por um ser humano.

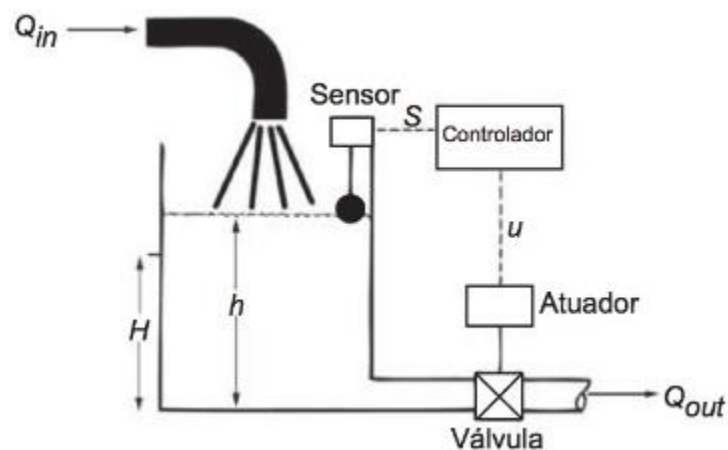
Figura 12 - Controle de nível executado por um ser humano.



Fonte: (FRANCHI 2015).

Para controlar o nível e mantê-lo em um valor igual a H é necessário que a pessoa tenha um instrumento que meça o nível (variável de processo) atual do reservatório; no caso, é empregado um visor de nível. Também deve ser empregada uma válvula para controlar o nível através da alteração da vazão de saída (variável manipulada). O controle manual é feito com a pessoa olhando o valor atual do nível, h , e comparando com o valor desejado H . Se o valor medido é maior, abre a válvula um pouco, aumentando a vazão de saída. Se for menor que o valor desejado, fecha um pouco a válvula, reduzindo a vazão de saída, fazendo com que nível atual se eleve. Essas operações são feitas repetidamente pela pessoa para que o nível fique o mais próximo possível do valor desejado. Controle automático: para possibilitar um controle automático o sistema é modificado como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Controle de nível automático.



Fonte: (FRANCHI 2015).

Pode-se notar claramente que a pessoa foi substituída por sensores, atuadores e um controlador. O visor de nível foi substituído por um sensor capaz de medir o valor do nível e converter em um sinal proporcional (S). Esse sinal é enviado a um controlador que executa a tarefa do ser humano na medição do nível e fornece um sinal u para o atuador alterar a abertura da válvula. A partir desse exemplo ilustrativo, nota-se claramente que o controle de processos somente é possível com o empregado da instrumentação responsável pela medição do nível (sensor de nível) e atuação na válvula de controle.

3.6 Bancadas hidráulicas didáticas

A hidráulica, ciência que estuda os fluidos em movimento, tem sido fundamental para o desenvolvimento tecnológico da humanidade. No âmbito acadêmico, a disciplina de hidráulica é essencial para a formação de engenheiros, especialmente aqueles das áreas mecânica, civil e mecatrônica. Conforme afirmam diversos autores (SILVA, 2018; COSTA, 2017), a experimentação em laboratórios de hidráulica é crucial para a compreensão dos conceitos teóricos e para o desenvolvimento de habilidades práticas.

"Souza (2015) destaca que os sistemas hidráulicos podem ser classificados em abertos e fechados, cada um com suas particularidades e aplicações. Nos sistemas abertos, o fluido retorna ao reservatório por gravidade, enquanto nos sistemas fechados o fluido circula em um circuito fechado.

Segundo Souza (2018), os sistemas hidráulicos abertos são mais simples e geralmente mais baratos, mas são mais suscetíveis à contaminação. Por outro lado, os sistemas fechados oferecem maior precisão e controle, porém são mais complexos e possuem um custo mais elevado.

O autor enfatiza que a escolha entre um sistema aberto ou fechado depende das necessidades específicas de cada aplicação, como a pressão requerida, a precisão do controle e o nível de contaminação permitido. Souza (2018) apresenta diversos exemplos de aplicações para cada tipo de sistema, demonstrando a versatilidade da tecnologia hidráulica.

Tradicionalmente, os laboratórios de hidráulica utilizavam bancadas manuais, nas quais os estudantes realizavam os experimentos de forma manual, ajustando válvulas, medindo vazões e pressões.

Essa metodologia, embora eficaz por muitos anos, apresentava limitações como a possibilidade de erros humanos e a demora na coleta de dados, o que dificultava a realização de experimentos complexos. A automação surge como uma alternativa promissora para superar essas limitações" (SILVA, 2018, p. 25).

O crescimento dessa área fez aumentar também a demanda por engenheiros e profissionais para o desenvolvimento de sistemas com automação. Essa demanda fez com que atividades fossem desenvolvidas para melhorar cada vez mais o ensino de processos de automação em instituições de nível técnico e superior, permitindo que o educando tenha acesso à equipamentos e situações recorrentes no cotidiano de profissionais da área.

Uma das principais ferramentas que contempla esse tipo de ensino é a bancada didática, e por isso vem se difundindo gradativamente no ambiente acadêmico (Marques et al., 2018). Bancadas didáticas são ferramentas de aprendizado importantes, pois possibilitam a análise e a consolidação da teoria ensinada em sala de aula. O uso dessas bancadas auxilia no desenvolvimento de discentes de diversas áreas, principalmente nos cursos de bacharelado em engenharia, pois através delas há a possibilidade do contato com a prática, simulando processos industriais e sistemas reais (Fabián, 2017).

As bancadas abordam uma quantidade elevada de dificuldades técnicas, que são enfrentadas em situações reais no cotidiano. Com o avanço da tecnologia e do mercado, é imprescindível formar profissionais preparados e qualificados para atender as demandas do mercado de trabalho e especificadamente de indústrias (Texeira et al., 2018), com isso, as bancadas didáticas se tornam grandes aliadas dos discentes de cursos de engenharia, que pode aplicar conhecimento de algumas disciplinas específicas voltadas para instrumentação industrial.

Antes de existir a automação industrial, pessoas em vez de máquinas executavam muitas tarefas de controle de processo. Por exemplo, um operador deve observar um medidor de nível e fechar uma válvula quando o nível alcançar o setpoint. Dessa forma, operações de controle que envolvem ações humanas de ajuste são chamadas de sistemas de controle manual (FRANCHI, 2015, p. 21).

Através da integração de componentes eletrônicos, sensores e softwares, é possível automatizar a coleta de dados, o controle de válvulas e a realização de cálculos, tornando os experimentos mais precisos, rápidos e seguros. A automação de bancadas hidráulicas é uma tendência em constante evolução.

No futuro, espera-se que os sistemas automatizados sejam ainda mais sofisticados, com a integração de tecnologias como inteligência artificial e realidade virtual. Além disso, a utilização de plataformas de ensino online permitirá que os estudantes acessem os sistemas automatizados remotamente, ampliando as possibilidades de aprendizado. A automação de bancadas hidráulicas representa um avanço significativo no ensino de hidráulica. Ao oferecer maior precisão, rapidez e segurança, a automação contribui para a melhoria da qualidade do ensino e para a formação de engenheiros mais qualificados. No entanto, a implementação da automação exige um planejamento cuidadoso e a consideração de diversos desafios.

4 METODOLOGIA

O processo de revitalização deve seguir etapas para alcançar o objetivo esperado, desta forma cada detalhe deve ser levado em consideração durante o processo de construção, visando obter sucesso na implementação de novos equipamentos de acionamentos, controle e medição.

A bancada existente, pertencente ao laboratório de mecânica da Faacz, e conta com os componentes listados na tabela 3.

Tabela 3 - Componentes bancada hidráulica existente.

Item	Descrição	Quantidade
1	Válvula Esfera Vs Soldável Com União 32mm - Tigre - Material: PVC, Pressão máxima:16 kgf/cm².	7
2	Válvula esfera Vs Compacto 32 mm Tigre - Material: PVC, Pressão máxima:10 kgf/cm².	1
3	Válvula Esfera Vs Soldável Com União 32mm - Akros - Material: PVC, Pressão máxima:10 kgf/cm².	11
4	Válvula Gaveta roscada interna com união de 32mm - Ducol - material: metal, Pressão máxima:130 kgf/cm².	1
5	Bomba centrifuga Zimermam de 1 cv 220/110v	2
6	Manômetro analógico 4 bar	4

7	Manômetro analógico 11 bar	1
8	Medidor de nível analógico artesanal	1
9	Rotâmetro Fluxômetro Medidor Vazão Fluxo Água 10m ³ /h	1
10	Seringa	1
11	Disjuntor Din Bipolar 10 Amperes GE Tensões de Operação (Ue) Monopolar: 127/220 Vca; Bipolar/Tripolar: 220/380 Vca	1
12	Placa de orifício de 1"	1
13	Reservatório de 2500L	2
14	Válvula de Sucção 1"	2
15	Tubo PVC de 1" x 1m	30
16	Tubo acrílico de 1" x 1m	1

Fonte: Autoria própria (2025).

Para garantir a eficiência do sistema, realizaremos dois ensaios o de perda de carga e estanqueidade. A realização regular destes ensaios é essencial para garantir o bom funcionamento dos sistemas hidráulicos abertos. Ao identificar e corrigir problemas como vazamentos e obstruções, é possível otimizar o desempenho do sistema, reduzir os custos de operação e manutenção, e prolongar a vida útil dos equipamentos. Além disso, esses ensaios são importantes para atender às normas e regulamentações técnicas aplicáveis, garantindo a segurança e a qualidade do serviço prestado.

Para realizar os ensaios de perda de carga, utilizaremos diversos instrumentos, como manômetros e medidores de vazão. Os dados coletados durante os ensaios serão analisados para determinar os coeficientes de perda de carga de cada componente do sistema. Já os ensaios de estanqueidade serão realizados de forma visual, utilizando detectores de vazamento ou substâncias indicadoras, e de forma quantitativa, medindo a vazão de água perdida em um determinado período.

Os ensaios de perda de carga em sistemas hidráulicos abertos são cruciais para avaliar a eficiência do sistema e identificar possíveis obstruções ou irregularidades nas tubulações. Ao medir a diferença de pressão entre dois pontos do sistema, é possível determinar a quantidade de energia dissipada devido ao atrito do fluido com as paredes internas das tubulações e aos componentes hidráulicos. Essa informação é fundamental para dimensionar adequadamente as bombas e garantir o fornecimento adequado de água em todos os pontos do sistema.

A estanqueidade, por sua vez, é uma característica fundamental dos sistemas hidráulicos, garantindo que o fluido circule apenas pelas tubulações e componentes projetados para tal. Ensaio de estanqueidade visam identificar vazamentos em conexões, válvulas, juntas e outros componentes do sistema. Esses vazamentos podem causar perdas significativas de água, além de comprometer a eficiência energética do sistema e aumentar os custos operacionais.

A análise de material levantado para a realização do projeto, foi realizada em diferentes fornecedores e chegamos ao um custo de investimento inicial de R\$ 1.502,00 (Um mil, quinhentos e dois reais), conforme demonstrado na tabela 4.

Tabela 4 - Instrumentos utilizados na montagem da bancada didática.

Item	Descrição	Quantidade
1	Atuador inteligente tuya zigbee, wi-fi, temporizador de desligamento de água para jardim, controlador de irrigação com alexa, assistente de google smartlife	1
2	Medidor de fluxo de água de turbina digital de 1 polegada	1
3	Fita Isolante	1
4	Fita teflon	4
5	Anéis de vedação	8

6	Válvula reguladora de velocidade SL4-M5	1
7	Torneira de jardim	1

Fonte: Autoria própria (2025).

5 PROJETO X MANUTENÇÃO DA BANCADA HIDRÁULICA

A etapa de projeto teve como objetivo compreender, documentar e caracterizar o comportamento hidráulico da bancada, estabelecendo uma base técnica confiável para análises comparativas, intervenções futuras e atividades didáticas. Para isso, foram realizadas as seguintes atividades:

Inicialmente, foi elaborado o isométrico da tubulação, permitindo a visualização espacial do sistema, a identificação das conexões, singularidades e o correto entendimento do trajeto do fluido. Em seguida, realizou-se o levantamento das características da tubulação, contemplando material, comprimento dos trechos, tipos de conexões, válvulas existentes e condições gerais de instalação.

Na sequência, procedeu-se ao levantamento dos diâmetros equivalentes e das perdas de carga, utilizando medições de pressão em pontos distintos do circuito. Essa etapa foi fundamental para quantificar as perdas distribuídas e localizadas, permitindo maior aderência entre o comportamento real do sistema e os modelos teóricos adotados.

Com base nesses dados, foi realizado o cálculo da curva característica da tubulação, relacionando vazão e perda de carga total do sistema. Paralelamente, efetuou-se o levantamento da curva da bomba instalada, a partir de dados experimentais obtidos na bancada.

A curva levantada experimentalmente foi então comparada com a curva fornecida pelo fabricante, permitindo verificar o estado de operação da bomba, possíveis desgastes ou desvios de desempenho. A partir da interseção entre a curva da bomba e a curva

do sistema, foi realizado o cálculo do ponto de melhor eficiência (BEP – Best Efficiency Point).

Por fim, efetuou-se a comparação entre o BEP obtido experimentalmente e o BEP indicado pelo fabricante, possibilitando avaliar o grau de alinhamento do sistema com sua condição ideal de operação e identificar oportunidades de melhoria.

As etapas a seguir detalham o processo de implementação da bancada hidráulica do laboratório de mecânica na FAACZ:

- Levantamento e separação de equipamento de proteção individual;
- Plano de montagem;
- Separação e organização das ferramentas e peças que serão utilizadas;
- Desligamento de fontes de energia;
- Identificação de componentes existentes e documentação:
 - Criar inventário detalhado de todos os componentes, incluindo fabricantes e modelos.
- Desmontagem Planejada:
 - Desmontagem de componentes que facilitarão a limpeza e o acesso a outras partes do sistema;
 - Utilizar sistema de identificação para garantir que cada componente seja remontado no local correto.
- Limpeza dos Componentes:
 - Realizar limpeza dos componentes de acordo com as especificações do fabricante, utilizando produtos adequados para cada material.

- Teste de Equipamentos Elétricos:
 - Realizar testes de funcionamento em todos os equipamentos elétricos, como motores, bombas e instrumentação;
 - Verificar a integridade dos cabos e conexões.

Figura 14 - Bancada hidráulica revitalizada.



Fonte: Autoria própria (2025).

- Montagem de Infraestrutura Elétrica:
 - Instalar e reconectar todos os cabos, conduítes e dispositivos elétricos de acordo com os diagramas e normas técnicas.

Figura 15 - Teste do sistema elétrico.



Fonte: Autoria própria (2025).

- Montagem de Instrumentos:
 - Instalar os instrumentos de medição e os sensores, configurando-os de acordo com as especificações do fabricante.

Figura 16 - Instalação de atuador elétrico.



Fonte: Autoria própria (2025).

- Montagem do Sistema Existente:
 - Montar o sistema, utilizando os componentes limpos e testados, seguindo a documentação original.
- Teste de Vedação:
 - Realizar testes de pressão para verificar a estanqueidade de todas as conexões e juntas.

Figura 17 - Teste de rotâmetro fluxômetro.



Fonte: Autoria própria (2025).

- Comissionamento:
 - Configurar e ajustar todos os parâmetros do sistema, realizando testes funcionais e de desempenho.

Figura 18 - Ajuste de parâmetros.



Fonte: Autoria própria (2025).

6 MANUTENÇÃO

A etapa de manutenção teve como foco principal a revitalização da bancada hidráulica, não apenas sob a ótica funcional, mas também pedagógica. justificativa para a reforma não se restringe exclusivamente à obtenção de dados mais confiáveis, mas também ao propósito de aprendizado prático e à construção de um legado técnico

para a instituição, permitindo que futuras turmas utilizem uma bancada didática mais segura, eficiente e alinhada com a realidade industrial.

Durante as inspeções, foi identificado o uso excessivo de fita veda-rosca (teflon) como tentativa de contenção de vazamentos intensos no sistema. Tal prática indica que a causa raiz dos vazamentos provavelmente não estava no método de vedação, mas sim em problemas como desalinhamento das conexões, desgaste de roscas, incompatibilidade entre materiais ou esforços mecânicos indevidos na tubulação. Embora não tenha sido possível aprofundar todas as investigações, este ponto foi identificado como uma oportunidade clara de melhoria e aprendizado.

Outro aspecto relevante foi a metodologia de medição das perdas de carga por meio do vacuômetro, especialmente na linha de sucção. As medições foram realizadas em pontos estratégicos do circuito, permitindo estimar a queda de pressão e avaliar condições críticas como risco de cavitação.

A seleção do medidor de vazão e da válvula inteligente considerou critérios como faixa de operação, precisão, compatibilidade com o fluido, facilidade de integração com sistemas de aquisição de dados e potencial didático. A comparação entre métodos de medição, como o uso de inversor de frequência, o método volumétrico com balde e cronômetro e o uso de medidor de vazão, permitiu avaliar vantagens, limitações e níveis de confiabilidade de cada abordagem.

7 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva foi realizada após a ocorrência de uma falha para restaurar a função do equipamento. Ela foi o ponto de partida, pois a bancada encontrava-se fora de operação antes da revitalização.

- **Identificação de Falhas:** O diagnóstico inicial identificou a situação real da bancada, permitindo a correção de problemas como vazamentos e componentes danificados.
- **Ensaio de Estanqueidade:** Visando identificar vazamentos em conexões e válvulas que comprometem a eficiência e aumentam custos operacionais.

8 MANUTENÇÃO PREDITIVA

Necessário o monitoramento regular das condições do equipamento para prever quando uma falha poderá ocorrer.

Monitoramento de Variáveis: O uso de sensores (pressão, vazão, nível) permitiu o acompanhamento em tempo real do comportamento do sistema. Alterações atípicas nesses dados podem indicar a necessidade de intervenção antes que uma quebra ocorra.

Ensaio de Perda de Carga: A realização regular dos ensaios funcionou como uma técnica preditiva, pois permitiu identificar obstruções graduais nas tubulações ao medir a diferença de pressão entre pontos do sistema.

Redução de Falhas Humanas: Sistemas automatizados de controle (como o uso de controladores programáveis) reduzem falhas decorrentes da operação manual, o que prolonga a vida útil dos componentes e aumenta a confiabilidade dos ensaios.

9 SEGURANÇA OPERACIONAL

A segurança foi tratada como um aspecto essencial do projeto. Foram adotadas medidas alinhadas às Normas Regulamentadoras (NRs) aplicáveis, incluindo organização do espaço, identificação de riscos, procedimentos operacionais padronizados e uso de equipamentos de proteção individual.

Normas Regulamentadoras (NRs) aplicáveis:

No contexto de bancadas hidráulicas e laboratórios de engenharia mecânica, as principais normas que devem ser citadas são:

NR-12 (Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos), é a norma mais relevante para o projeto. No qual, define referências técnicas e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores (e, por extensão, alunos) no uso de máquinas. Teve o intuito de adequar a bancada aos princípios da NR-12,

como a instalação de dispositivos de parada de emergência e proteções em partes móveis (bombas/motores).

NR-10 (Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade), essencial devido à automação e ao sistema elétrico da bancada (bombas de 1 cv, disjuntores e sensores). A norma exige que as instalações elétricas sejam mantidas em condições seguras e que os testes do sistema elétrico sigam protocolos de proteção contra choques e curtos-circuitos.

NR-26 (Sinalização de Segurança), importante para a identificação de tubulações, cores de segurança e rotulagem de componentes, facilitando a operação e prevenindo erros de manuseio em válvulas e conexões.

10 PERDA DE CARGA

Etapas para a realização de ensaios de perda de carga:

- **Preparação do Sistema:**
 - **Isolamento:** Isolar a seção do sistema que será testada, garantindo que a vazão seja controlada e medida com precisão;
 - **Instrumentação:** Instalar os seguintes instrumentos;
 - **Manômetros:** Para medir a pressão em diferentes pontos do sistema;
 - **Medidor de vazão:** Para determinar a vazão do fluido;
- **Coleta de Dados:**
 - **Variação da vazão:** Variar a vazão do sistema em diferentes níveis e registrar as pressões correspondentes em cada ponto de medição;
 - **Leitura dos instrumentos:** Anotar os valores indicados pelos manômetros, e medidores de vazão para cada vazão testada.

- Resultados experimentais simulados
 - A seguir são apresentados os resultados simulados dos ensaios de perda de carga no sistema hidráulico, com base no dimensionamento da bancada e nos instrumentos instalados. Os valores foram calculados considerando o regime permanente do escoamento e perdas distribuídas ao longo da tubulação.

Tabela 5 - Dados curva das bombas em paralelo

Bombas 01 e 02 Associadas em Paralelo						
Pressão (bar)	Vazão (M³/h)	Pressão (bar)	Vazão (M³/h)	Veloc. Recalque (m/s)	Vacuômetro (bar)	Veloc. Sucção (m/s)
1,5	8,6	1,5	8,6	3,94	0,24	0,11
2	6,6	2	6,6	3,02	0,18	0,08

Fonte: Autoria própria (2025).

- Teste de carga das bombas

A altura manométrica H para essa condição (vazão 0, válvulas fechadas) é aproximadamente 30,9 m.c.a. para cada bomba.

Como o valor é obtido:

Diferença de pressão: $Pr - Ps = 3,06 - 0,00 = 3,06$.

Conversão para metros de coluna d'água, usando: $\Delta H_p = 3,06 \times 10,2 \approx 31,2$

Como o desnível entre manômetros é pequeno ($0,5 - 0,2 = 0,3$ m) e as velocidades são nulas (vazão 0), a altura manométrica total praticamente coincide com essa diferença;

O número foi ajustado para 30,8916 m, diferença de arredondamento.

Logo, em vazão zero, cada bomba (e o conjunto em paralelo) trabalha com $H \approx 30,9$ m.c.a., que é o ponto de “válvula fechada” da curva da bomba.

Para a condição de operação (vazão $\approx 5,8 \text{ m}^3/\text{h}$ em cada bomba), a altura manométrica H calculada é aproximadamente 13,26 m.c.a. para cada bomba com válvula aberta em 100%.

Como o valor é obtido:

Diferença de pressão entre recalque e sucção: $\Delta p = P_r - P_s = 1,02 - 0,43 = 0,59$.

Conversão para metros de coluna d'água usando 1: $\Delta H_p \approx 0,59 \times 10,2 \approx 6,0$.

Somando desnível entre manômetros ($Z_r - Z_s = 0,5 - 0,2 = 0,3$) e correção cinética

$\left(\frac{V_r^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g}\right)$ com $V_r^2 = 2,65$ e $V_s^2 = 0,19$, chega-se a um valor total em torno de 13 m,

“Altura manométrica pela pressão diferencial dos manômetros” = 13,26 m.

A altura manométrica H nesse ponto de operação com válvula 50% fechada é aproximadamente 17,38 m.c.a. para cada bomba.

Verificação rápida do valor:

Diferença de pressão: $P_r - P_s = 1,53 - 0,27 = 1,26$.

Conversão para coluna d'água (água): 1, então $\Delta H_p \approx 1,26 \times 10,2 \approx 12,9$.

Somando desnível entre manômetros ($Z_r - Z_s = 0,5 - 0,2 = 0,3$) e termo cinético

$\left(\frac{V_r^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g}\right)$ com $V_r^2 = 2,11$ e $V_s^2 = 0,12$, chega-se a um total em torno de 17 m.

Portanto, $H = 17,38 \text{ m.c.a.}$ como ponto da curva para $Q \approx 4,6$ de cada bomba.

- Cálculo da Perda de Carga:
 - Equação de Darcy-Weisbach: Utilizar a equação de Darcy para calcular a perda de carga entre dois pontos do sistema:

$$L_w = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Sendo:

L_w = perda de carga ao longo do comprimento do tubo;

f = fator de atrito de Darcy-Weisbach (adimensional);

L = comprimento do tubo;

D = diâmetro do tubo;

v = velocidade do fluido no tubo;

g = gravidade (9,81 m/s²).

Tabela 6 - Dados curva das bombas em série

Bomba 001 e Bomba 002 em Série Perda de carga						
Pressão (bar)	Vazão (m ³ /h)	Pressão (bar)	Vazão (m ³ /h)	Veloc. Recalque (m/s)	Vacuômetro (bar)	Veloc. Sucção (m/s)
1	5,1	3	5,1	2,33	0	0,00

Fonte: Autoria própria (2025).

As bombas 001 e 002 em série, válvula 100% aberta e vazão 5,1 m³/h, a perda de carga total do sistema é aproximadamente 52,28 m.c.a.

Interpretação dos dados

A altura manométrica de cada bomba foi calculada na sua planilha usando:

$$H = (P_r - P_s) \cdot 10,2 + (Z_r - Z_s) + \left(\frac{V_r^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g} \right)$$

com pressões em kgf/cm² e o fator 10,2 para converter em metros de coluna d'água.

Resultados individuais (linha "Altura manométrica pela pressão diferencial dos manômetros"):

- Bomba 01: $H_1 = 15,94476$
- Bomba 02: $H_2 = 36,33916$

Em série, as alturas se somam:

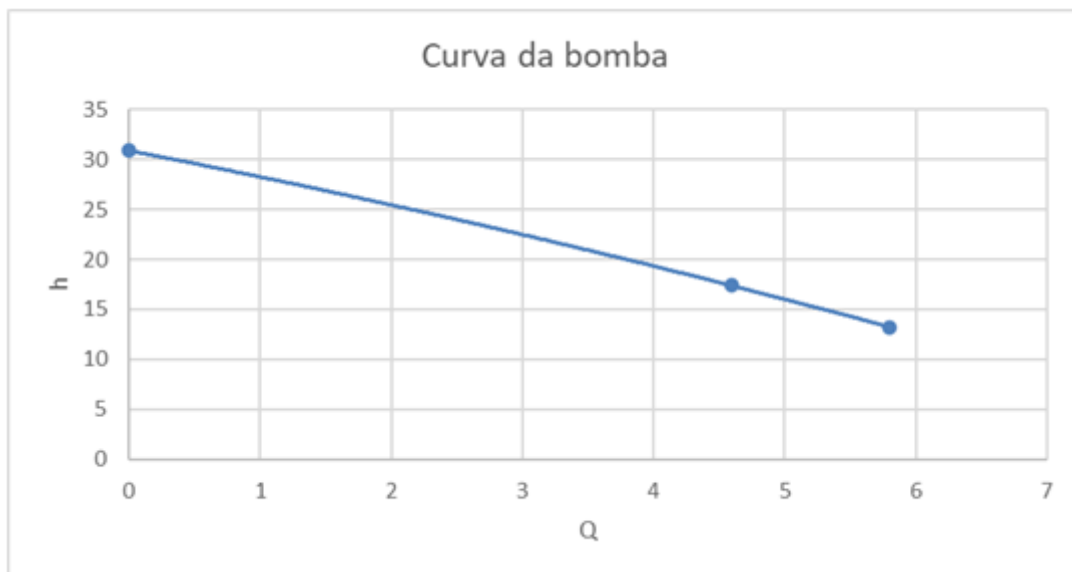
$$H_{\text{série}} = H_1 + H_2 \approx 15,94476 + 36,33916 \approx 52,28$$

Esse é o valor de (52,28391) corresponde à perda de carga total do sistema para $Q \approx 5,1$, já que o desnível geométrico entre sucção e recalque é pequeno comparado a H .

Neste trabalho, as perdas de carga localizadas associadas a válvulas, curvas e demais acessórios do sistema foram calculadas pelo método dos coeficientes de perda de carga (K). Os valores dos coeficientes foram obtidos a partir de tabelas técnicas consagradas na literatura, como manuais de hidráulica e mecânica dos fluidos, sendo adotados valores médios representativos devido à ausência de dados específicos fornecidos pelos fabricantes.

- Análise dos Resultados:
 - Gráficos: Construir gráficos da perda de carga em função da vazão para cada componente do sistema;

Tabela 7 - Dados curva das bombas gráfico



Fonte: Autoria própria (2025).

- Comparação com valores teóricos: Comparar os resultados obtidos com os valores teóricos calculados com base nas características do sistema e dos componentes;
- Identificação de problemas: Analisar os gráficos e os resultados para identificar possíveis problemas, como obstruções, vazamentos ou dimensionamento inadequado dos componentes.

Os resultados desta pesquisa têm como objetivo principal impulsionar a inovação nas práticas pedagógicas, preparando os alunos para um futuro profissional cada vez mais tecnológico. Ao identificar as melhores estratégias para integrar tecnologias em sala de aula, contribuiremos para a formação de profissionais mais qualificados e para o desenvolvimento de um modelo educacional mais eficiente e personalizado.

11 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A revitalização e automação da bancada hidráulica existente no laboratório de Mecânica da FAACZ permitiu identificar ganhos relevantes para o ambiente de ensino, especialmente no que diz respeito à precisão dos dados experimentais, segurança operacional e aproximação com as tecnologias utilizadas na indústria.

Antes do projeto, a bancada encontrava-se fora de operação, o que restringia a realização de atividades práticas e comprometia a aprendizagem dos estudantes. Com a implementação de novos instrumentos — como sensores digitais de vazão, válvulas automatizadas e controlador inteligente — tornou-se possível modernizar o sistema com um investimento financeiro relativamente baixo (R\$ 1.502,00), reforçando a viabilidade econômica da proposta.

Os ensaios de perda de carga e de estanqueidade possibilitaram analisar o desempenho hidráulico do sistema e identificar melhorias estruturais necessárias. Durante os testes preliminares, observou-se que conexões com maior desgaste apresentaram pequenas perdas de vedação, reforçando a importância da manutenção preventiva periódica em sistemas hidráulicos didáticos.

A automatização também reduziu significativamente o impacto de erros humanos nos experimentos, tornando a coleta de dados mais rápida, segura e confiável. Isso possibilitou análises mais consistentes e comparativas entre resultados práticos e teóricos.

Outro ponto relevante identificado foi a necessidade de capacitação técnica para docentes e alunos utilizarem adequadamente os recursos instalados. Essa exigência promove uma experiência realista e alinhada às demandas da indústria 4.0.

Com base nas melhorias observadas, conclui-se que o investimento realizado trouxe benefícios educacionais significativos, transformando a bancada em um equipamento atual e funcional, com grande potencial de contribuição para a formação acadêmica.

12 CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

O projeto de revitalização e automação da bancada hidráulica atendeu plenamente ao objetivo proposto: restabelecer o funcionamento do equipamento e implementar um sistema automatizado de medição e controle, capaz de auxiliar no ensino de conceitos relacionados à hidráulica e à instrumentação industrial.

Os resultados obtidos demonstram que a automação contribui diretamente para a eficiência da coleta de dados, para a redução de perdas operacionais e para o aumento da segurança durante as atividades laboratoriais. Além disso, o sistema atualizado aproxima o ambiente acadêmico das práticas industriais modernas.

Como perspectivas futuras, recomenda-se:

- Adicionar sensores de temperatura e pressão diferencial para ampliar os tipos de ensaios realizados;
- Integrar a bancada a um software supervisor para monitoramento em tempo real via PC;
- Implementar armazenamento automático dos dados de ensaio;
- Realizar treinamentos periódicos com alunos e professores;
- Avaliar a possibilidade de operação remota para apoio ao ensino híbrido.

Espera-se que esta bancada continue evoluindo, servindo como ferramenta fundamental para experimentação e pesquisa, e contribuindo continuamente para a formação qualificada de futuros engenheiros.

13 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Gabriel Magalhães Juvenal. Experiments, modelling and analysis of fretting fatigue for inconel 718 and Ti-6AL-4V under time-varying contact normal load at room and high temperature. Disponível em: [\[http://repositorio.cruzeirodosul.edu.br/handle/123456789/353\]](http://repositorio.cruzeirodosul.edu.br/handle/123456789/353).

ALPI, L. B. (2016). Desenvolvimento de uma planta didática para o controle de nível de tanques acoplados. Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

ANABUKI, E. T. (2019). Aprendizagem baseada em problemas e aprendizagem colaborativa no ensino de engenharia de controle e automação. Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico (EDUCITEC), 5(10).

ANDERLE, B. P. (2017). Dimensionamento de uma Bancada Didática de Hidráulica. Barros, Tiago Rodrigues. (2023). Práticas experimentais de física a distância: desenvolvendo uma aplicação com Arduino para a realização do experimento de Millikan remotamente. Disponível em: [\[https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/3982\]](https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/3982).

BOLTON, W. Mecatrônica: uma abordagem multidisciplinar. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010. BONACORSO, N. G.; NOLL, V. Automação eletropneumática. 11. ed. São José dos Campos: Érica, 2004.

COSTA, C. M. Título da tese. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Delmée, G. J. (2003). Manual de medição de vazão. Editora Blucher.

Dunn, W. C. (2013). Fundamentos de instrumentação industrial e controle de processos. Bookman Editora.

Estrela, C. (2018). Metodologia científica: ciência, ensino, pesquisa. Artes Médicas.

Fabián, G.G. (2017). Desenvolvimento de bancada didática voltada ao estudo de Sistemas pneumáticos.

Feisel, L. D., & Rosa, A. J. (2005). The role of the laboratory in undergraduate engineering education. *Journal of engineering Education*, 94(1), 121-130.

FIALHO, A. B. Automação pneumática: projetos, dimensionamento e análise de circuitos. São José dos Campos: Érica, 2003. LINSINGEN, I. V. Fundamentos de sistemas hidráulicos. Florianópolis: UFSC, 2001.

FIALHO, Arivelto B. AUTOMAÇÃO HIDRÁULICA - PROJETOS, DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE CIRCUITOS. 7. ed. Rio de Janeiro: Érica, 2019. E-book. p.18. ISBN 9788536530338. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536530338/>. Acesso em: 15 dez. 2024.

FILHO, Elmo S. D S.; SANTOS, Bruna K. Sistemas hidráulicos e pneumáticos. Porto Alegre: SAGAH, 2018. E-book. p.45. ISBN 9788595025158. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595025158/>. Acesso em: 15 dez. 2024.

FRANCHI, Claiton M. Instrumentação de Processos Industriais - Princípios e Aplicações. Rio de Janeiro: Érica, 2015. E-book. p.19. ISBN 9788536519753. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536519753/>. Acesso em: 15 dez. 2024.

FRANCHI, Claiton M. Instrumentação de Processos Industriais - Princípios e Aplicações. Rio de Janeiro: Érica, 2015. E-book. p.16. ISBN 9788536519753. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536519753/>. Acesso em: 09 dez. 2024.

GONÇALVES, Elizabeth Machado Pinto. Acompanhamento da fase pós-licenciamento ambiental para prevenção de passivos ambientais na região hidrográfica II – Guandu, RJ. Disponível em: [https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/20690].

GOULART, H. S. (2008). Desenvolvimento de Bancada Didática para Estudos de Desempenho Térmico de um Trocador de Calor Compacto Aletado.

Grossi, Caroline Dias. (2022). Desenvolvimento de um software de visão computacional para estudo do escoamento de cascalhos em peneira vibratória. Disponível em: [https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/19473].

<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/21165/18854>

ISA (International Society of Automation). (2002). Safety Instrumented Functions (SIF)–Safety Integrity Level (SIL) Evaluation Techniques.

LIMA, I.A.M. (2014) Proposição de uma bancada didática para análise de vibração em manutenção preditiva. 2014. 83 f., il. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Automotiva). Universidade de Brasília, Brasília.

LUGLI, A. B.; SANTOS, M. M. D. Redes industriais para automação industrial: AS-I, PRO-FIBUS e PROFINET. São José dos Campos: Érica, 2010.

MARQUES, J.L., Spacek, A. D., Neto, J. M., & Junior, O. H. A. (2018). Proposta de uma bancada de baixo custo para o ensino de automação industrial de acordo com as normas de segurança. Revista de Ensino de Engenharia, 36(2).

MENDONÇA, Kamilla Henrique. (2023). Otimização do consumo energético de um sistema automatizado de irrigação pressurizado utilizando controle Fuzzy. Disponível em: [https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/20690].

Nascimento, Daniel Abrahão do. A outorga pelo uso dos recursos hídricos no Estado do Amazonas. Disponível em: <http://repositorioinstitucional.uea.edu.br/handle/riuea/1986>.

PAVANI, S. A. Comandos pneumáticos e hidráulicos. 3. ed. Santa Maria: UFSM, 2010.

PRUDENTE, F. Automação industrial: programação e instalação. Rio de Janeiro: GEN, 2010. STEWART, H. L. Pneumática & hidráulica. 4. ed. São Paulo: Hemus, 2013.

PEREIRA, A. S., SHITSUKA, D. M., PARREIRA, F. J., & SHITSUKA, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. UFSM. https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf.

PEREIRA, Francisco Aécio de Lima. (2022). Desenvolvimento e análise da eficiência energética de um sistema de automação de precisão. Disponível em: [<https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/7036>].

PEREIRA, M. A.; OLIVEIRA, J. F. de. Simulação computacional de um sistema hidráulico de potência variável. Revista Eletrônica de Potência, Belo Horizonte, v. 12, n. 2, p. 157-164, 2015.

SANTOS, J. A. dos. (2019). Título do artigo. Revista Brasileira de Ensino de Engenharia, 13(2), 115-128.

SCHWAMB, P.; WARNECKE, H. J. Elementos de máquinas. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

SILVA, A. B. da; SANTOS, J. C. dos. Análise do desempenho de um sistema hidráulico utilizando óleo biodegradável. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 15, n. 1, p. 123-129, 2011.

SILVA, M. P. Automação em sistemas hidráulicos: uma revisão. Revista Engenharia, v. 25, n. 3, p. 45-52, 2018.

SOUSA, Ellen Silva de. Aplicação de Processos Eletroquímicos Oxidativos Avançados (PEOA) para degradação do complexo EDTA-Ni(II). Disponível em: [<https://rima.ufrrj.br/jspui/handle/20.500.14407/9354>].

SOUZA, A. R. D., PAIXÃO, A.C., UZÊDA, D. D., Dias, M. A., DUARTE, S., & Amorim, H. S. D. (2011). A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33(1), 01-05.

SOUZA, S. P. de. *Hidráulica e pneumática industrial*. São Paulo: Érica, 2010.

Teixeira, A. L., Scherer, L. G., & Gorretti, A. A. T. (2018). Projeto de bancadas didáticas para laboratório de instalações elétricas.

TOIGO, É. (2017). Desenvolvimento do projeto de uma bancada didática de refrigeração por compressão de vapor.

WALKER, J., HALLIDAY, D., & RESNICK, R. (2009). *Fundamentos de física: volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica*. LTC.

YIN, R. K. (2015). *Estudo de Caso: Planejamento e métodos*. Bookman editora.

Zorzan, F. B., Daronch, J., & Molin, A. (2013). Desenvolvimento de uma Bancada Didática de Hidráulica. *Fórum Latino Americano De Engenharia*. UNILA