unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

ARTHUR BIANCHI BENEDICTO BRITO

Desenvolvimento de projeto para modernização do laboratório de Mecânica dos Fluidos da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá.

Guaratinguetá - SP
2022

Arthur Bianchi Benedicto Brito

Desenvolvimento de projeto para modernização do laboratório de Mecânica dos Fluidos da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. MSc. Fernando Henrique Mayworm de Araújo

Guaratinguetá - SP
2022

Brito, Arthur Bianchi Benedicto
B862d Desenvolvimento de projeto para modernização do laboratório de mecânica dos fluidos da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá / Arthur Bianchi Benedicto – Guaratinguetá, 2022.
47 f. : il.
Bibliografia: f. 47

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2022.
Orientador: Prof. MSc. Fernando Henrique Mayworn de Araújo

1. Mecânica dos fluídos. 2. Laboratórios de engenharia.
3. Planejamento experimental. I. Título.

CDU 532

Luciana Máximo
Bibliotecária CRB-8/3595

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

ARTHUR BIANCHI BENEDICTO BRITO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "**GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**"

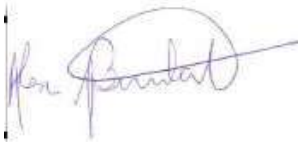
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Nome do coordenador de curso
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. MSc. FERNANDO HENRIQUE M. DE ARAÚJO
Orientador/UNESP-FEG

Prof. Dr. CELSO EDUARDO TUNA
UNESP-FEG



Prof. Dr. ALEX MENDONÇA BIMBATO
UNESP-FEG

Janeiro/2022

DADOS CURRICULARES

ARTHUR BIANCHI BENEDICTO BRITO

NASCIMENTO	19.01.1996 – Mogi das Cruzes / SP
FILIAÇÃO	Selma Aparecida Benedicto Ricardo Feital de Souza Brito
2014/2021	Curso de Graduação em Engenharia Mecânica Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Campus de Guaratinguetá

Dedico este trabalho à minha mãe Selma, à minha irmã Amanda, ao meu avô João e à minha avó Lourdes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe Selma e minha irmã Amanda, que são meus exemplos, me incentivaram a estudar, me acompanharam durante toda a minha trajetória e me motivam e apoiam para nunca desistir de alcançar algo,

à toda a minha família por me dar todo o suporte necessário em todas as ocasiões,

aos meus orientadores Fernando Araújo e Celso Tuna, que confiaram em mim e me deram a oportunidade para realizar este projeto,

ao Técnico Rodolfo, por todo o apoio e por ser parte essencial para o desenvolvimento deste projeto,

aos meus amigos e amiga de coração Guilherme, Alexandre, Pedro, Henrique e Paola e às minhas amizades de UNESP, Raphael, Pedro Guerra, Verônica, Júlia, Pedro Perez, Nicolas, Gabriel, Pedro Oliveira e Marcela que em diversas fases da minha vida foram peças chave em momentos de tristeza, superação e alegria,

aos moradores da República Xanadu, que durante toda minha graduação foi a minha família em Guaratinguetá,

à Lobateria por ser uma parte muito feliz e importante nos meus anos de graduação,

aos meus gestores e companheiros de profissão Iara, Thiago, Francisco e Paulo, que enxergaram em mim um potencial, me acolheram da melhor maneira possível e sempre foram facilitadores da minha relação trabalho-estudo,

e por fim, a todos os funcionários e servidores da FEG-UNESP, por todo o suporte prestado.

“Você nunca sabe que resultados virão da sua ação, mas se você não fizer nada, não existirão resultados”

Mahatma Gandhi

RESUMO

Neste trabalho é apresentada uma análise das atuais instalações do Laboratório de Mecânica dos Fluidos da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, considerando critérios previamente definidos. Após esta etapa, foram elencadas diferentes possibilidades de melhorias e tecnologias disponíveis, que posteriormente, foram avaliadas novamente se utilizando de critérios específicos. Após a avaliação das opções completas e com auxílio de fornecedores e fabricantes, os componentes foram orçados, com o objetivo de precificar a melhoria individual de cada bancada, bem como da instalação como um todo, incluindo a infraestrutura necessária. Para os itens, dos quais não foi possível uma proposta real, foi feita uma estimativa baseada em situações semelhantes. Por último, depois de compilados, os valores foram exibidos e as considerações finais foram feitas visando nortear as aquisições, levando em conta os benefícios que cada uma delas pode trazer para o laboratório como um todo.

PALAVRAS-CHAVE: Laboratório. Mecânica dos fluidos. Modernização. Experimentos. Bombas. Instrumentação.

ABSTRACT

This work presents an analysis of the current facilities of the Fluid Mechanics Laboratory of the Faculty of Engineering of Guaratinguetá, considering previously defined criteria. After this step, different possibilities for improvements and available technologies were listed, which were later evaluated again using specific criteria. After the evaluation of the options and with the help of suppliers and manufacturers, the components were budgeted, with the objective of pricing the individual improvement of each bench, as well as the whole installation, including the necessary infrastructure. For items for which a real proposal was not possible, an estimate was made based on similar situations. At least, after being compiled, the values were displayed and final considerations were made in order to guide the acquisitions, taking into account the benefits that each one of them can bring to the laboratory as a whole.

KEYWORDS: Laboratory. Fluid mechanics. Modernization. Experiments. Pumps. Instrumetation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Bancada para ensaio do método de Hagen Poiseuille 15
Figura 2 – Esquema didático do método de Hagen Poiseuille 15
Figura 3 – Viscosímetro de Hoppler e bomba de calor 16
Figura 4 – Esquema didático do método de queda de esfera 16
Figura 5 – Viscosímetro Rheotest 2 16
Figura 6 – Esquema didático do método de rotação de estruturas 17
Figura 7 – Bancada de perda de carga antiga 18
Figura 8 – Bancada de perda de carga nova 18
Figura 9 – Bomba KSB, modelo ETA 80-20 19
Figura 10 – Motor elétrico ENIKA, modelo 6-MRS-2 20
Figura 11 – Indicadores de pressão da sucção e do recalque da bomba 20
Figura 12 – Tubulação com medidor de vazão INCONTROL, modelo PRO1000 20
Figura 13 – Painel de comando do motor ENIKA 21
Figura 14 – Esquema didático da bancada 21
Figura 15 – Esquema didático de aferição de nível no vertedor 21
Figura 16 – Bombas THEBE, modelo TH-16 AL em associação série/paralelo 22
Figura 17 – Manômetros de tomadas de pressão de sucções, recalques 23
Figura 18 – Medidor de vazão magnético 23
Figura 19 – Ventilador ICAM, modelo AV/580 e motor ARNO modelo ER 112L 24
Figura 20 – Esquema didático do ensaio de ventiladores 24
Figura 21 – Bancada de hidráulica FESTO 25
Figura 22 – Bancada de hidráulica SPERRY VICKERS 25
Figura 23 – Bancada de pneumática FESTO 26
Figura 24 – Acessórios para a bancada de pneumática FESTO 27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	Central Processing Unit
DAQ	Data Acquisition
HTML	Hyper Text Markup Language
IHM	Interface Homem Máquina
IIOT	Industrial Internet of Things
NPSH	Net Positive Suction Head
P&ID	Process and Instruments Diagram
PPR	Polipropileno Randômico
PVC	Policloreto de Vinila

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO**	12
1 .1	OBJETIVOS	13
1.2	JUSTIFICATIVA	13
2	**O LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS FLUÍDOS DA FACULDADE DE ENGENHARIA DE GUARATINGUETÁ**	14
3	**METODOLOGIAS**	29
3.1	CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DO EQUIPAMENTO	29
3.2	CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DAS ATUALIZAÇÕES PROPOSTAS	31
4	**RESULTADOS E DE DISCUSSÕES**	32
4.1	ESPECIFICAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS	32
4.2	CUSTOS	37
5	**CONCLUSÕES**	45
6	**SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**	46
	REFERÊNCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

O estudo das práticas de laboratório e dos experimentos fluidodinâmicos na formação de um Engenheiro Mecânico não é muito explorado pela literatura. No entanto, trabalhos interessantes podem ser encontrados, como os de Sampaio (2013), Andrade; Campos e Rocha (2019) e Pinto et al. (2015), entre outros e em paralelo a aplicação da dinâmica dos fluidos computacional na educação universitária tem sido estudada, por exemplo, por Camargo (2021) e Melo (2020).

O uso, por um lado, dos experimentos fluidodinâmicos e, por outro, dos laboratórios de pesquisa para ensinar certos tópicos de escoamentos de fluidos e transmissão de calor é especialmente interessante para melhorar a aprendizagem dos estudantes de graduação e pós-graduação em Engenharia (KIECKOW; FREITAS; LIESENFELD, 2018).

Além disso, o Laboratório tem um grande papel no reforço de competências dos alunos, pois é um ambiente vital de uma variedade de atividades e experiências em que a ciência é estudada, sendo um ambiente vital onde a ciência é experimentada, onde as capacidades de resolver problemas são refinadas no contexto da investigação laboratorial. As atividades laboratoriais desenvolvem uma ampla variedade de aspectos, organizacional, criativo e de habilidades de comunicação, oferecendo um cenário ideal para motivar os alunos enquanto eles experimentam o que é ciência (GABER, et al. 2013).

Os laboratórios tradicionais de fluidodinâmica, nos cursos de engenharia, costumam desde sempre estarem disponíveis em pequenos e limitados períodos para muitos estudantes e em grande parcela, apresentam equipamentos em obsolescência, por se tratar de itens dispendiosos. Este fato distancia as aulas práticas, que entre são a primeira aproximação da faculdade com o que se encontra aplicado, da realidade industrial.

Uma alternativa interessante aos laboratórios convencionais no ensino foi descrita por Guillermo (2016). O impacto na aprendizagem dos alunos em visualizar escoamentos de fluidos com a ajuda de programas de computador foi examinado nessa tese de doutorado, que possui como objetivo desenvolver um Laboratório Virtual de Aprendizagem em mecânica dos fluidos e hidráulica (LVA) chamado de Hidrolândia – UFRGS (2014) e implementar seu uso de acordo com uma proposta pedagógica em disciplinas de graduação das engenharias, para poder avaliar o impacto em termos de aprendizagem por parte dos alunos.

A Mecânica dos Fluidos Moderna baseia-se em três grandes métodos de análise: teórico-analítico, teórico-numérico e experimental. Tendo em vista que nos últimos anos os principais avanços vieram como resultado de desenvolvimentos numéricos e experimentais, é

muito interessante conhecer estes dois campos. A fim de aproximar o conhecimento daqueles que provavelmente seriam exigidos por empresas dispostas a contratar um engenheiro com conhecimento avançado de mecânica de fluidos, as experiências devem ser ensinadas em laboratórios de pesquisa, ou com códigos de simulação numérica (CAPELLO, 2021).

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é avaliar o estado da arte dos equipamentos didáticos do Laboratório de Mecânica dos Fluídos da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, elaborar um projeto de modernização e estimar os custos de implantação.

1.2 JUSTIFICATIVA

O trabalho se mostra necessário para trazer para o Laboratório de Mecânica dos Fluidos novos equipamentos, da era tecnológica atual, capazes de aproximar as práticas de laboratório aos processos encontrados na indústria e às novas tendências de armazenamento de troca de dados, se utilizando de artifícios como aplicativos em celulares e conexões Bluetooth facilitando o andamento dos experimentos e tornando as práticas mais interessantes para os alunos.

2 O LABORATÓRIO DE MECÂNICA DOS FLUIDOS DA FACULDADE DE ENGENHARIA DE GUARATINGUETÁ

A dinâmica dos fluidos é uma área de estudos crucial para a qualidade da formação nas diversas engenharias, bem como suas práticas de laboratório.

Atualmente o Laboratório de Mecânica dos Fluidos da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá abrange as práticas das matérias de Mecânica dos Fluidos, Hidráulica Geral, Sistemas Fluidomecânicos e Fenômenos de Transporte, atendendo os cinco cursos de engenharia do campus e possuindo bancadas e dispositivos para a execução dos ensaios de medidas de viscosidade, medidas de pressão, determinação do número de Reynolds, perda de carga distribuída e localizada, medidas de vazão, medidas de velocidade, curva e associação de bombas, cavitação, ventiladores, turbinas hidráulicas, escoamento em canal hidráulico de seção retangular, medidas de velocidade externa, ressalto hidráulico, medição de vazão em calha Parshall, circuitos hidráulicos e circuitos pneumáticos.

Após análise, foi decidido quais seriam os experimentos alvo deste trabalho e eles serão explicados de maneira breve a seguir.

1 – Medidas de Viscosidade: os alunos são apresentados à três métodos para determinação da viscosidade, Hagen Poiseuille (perda de carga), Viscosímetro de Hoppler (queda de esfera) e Rotação de Estrutura (viscosímetro Rheotest 2).

O primeiro experimento é realizado em uma bancada de fabricação própria da faculdade, como mostra a Figura 1, e possibilita a determinação das viscosidades através da perda de carga entre duas tomadas de pressão devidamente espaçadas, conforme Figura 2.

Hoje as aferições de pressão são feitas em manômetros de tubo “U”, preenchidos com o próprio óleo do ensaio e com a diferença de nível entre os tubos, os alunos conseguem, com auxílio de fórmulas pré-determinadas, calcular a viscosidade dinâmica.

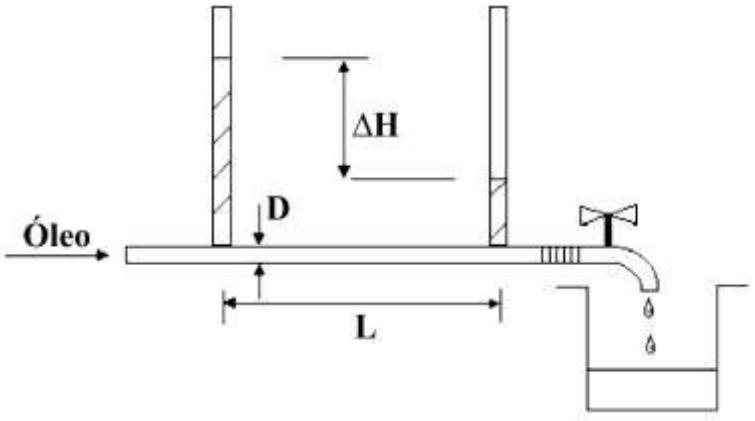
O Viscosímetro de Hoppler consiste em determinar as viscosidades a partir do tempo total de queda de uma esfera padrão, através de um tudo de comprimento calibrado, com uma inclinação fixa conhecida, porém este método permite apenas a análise de fluidos newtonianos. Outro ponto importante deste ensaio é que é possível associá-lo à uma bomba de calor, para que seja avaliado o comportamento da viscosidade em função da temperatura do fluído. Seu esquema pode ser visto na Figura 4. As tomadas de tempo são aferidas manualmente pelos alunos com cronômetro e com as constantes e fórmulas fornecidas é possível calcular a viscosidade cinemática.

Por último, o Viscosímetro de Rotação de Estruturas (Rheotest 2), exibido na figura 5, determina a viscosidade de fluidos newtonianos e não-newtonianos, por meio do momento de torção e, portanto, pela tensão de cisalhamento na fenda que contém o fluido, entre os corpos estático e rotativo, como mostra a figura 6. Neste dispositivo, também é possível utilizar uma bomba de calor como acessório, para se traçar o comportamento da viscosidade com a alteração de temperatura, além do mais por se tratar de um equipamento com mais tecnologia embarcada, se comparado com os anteriores, cabe aos alunos anotar os valores dos parâmetros provenientes dos testes, associá-los com valores constantes do equipamento fornecidos pelo fabricante e por meio de fórmulas pré-estabelecidas, calcular a viscosidade dinâmica do fluído de prova.

Figura 1 – Bancada para ensaio do método de Hagen Poiseuille

Fonte: Produção do próprio autor (2022).

Figura 2 – Esquema didático do método de Hagen Poiseuille

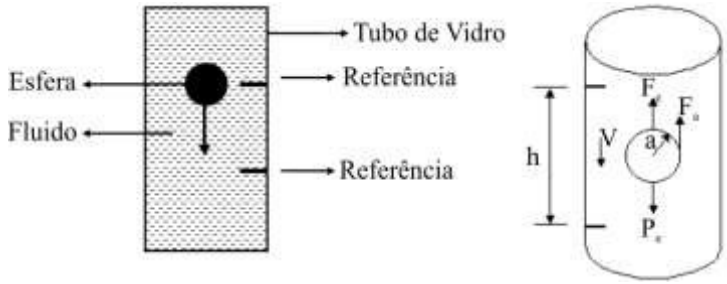


Fonte: Autor desconhecido.

Figura 3 – Viscosímetro de Hoppler e bomba de calor

Fonte: Produção do próprio autor (2022).

Figura 4 – Esquema didático do método de queda de esfera

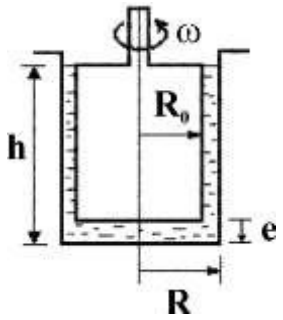


Fonte: Autor desconhecido.

Figura 5 – Viscosímetro Rheotest 2

Fonte: Produção do próprio autor (2022).

Figura 6 – Esquema didático do método de rotação de estruturas



Fonte: Autor desconhecido.

2 – Perda de carga distribuída e localizada: os alunos são introduzidos à bancada de perda de carga, na qual cada um dos possíveis caminhos de escoamento, possuem diferentes acessórios, rugosidades e diâmetros, fazendo com que seja possível correlacionar estes parâmetros com o diferencial de pressão em cada ponto de aferição. Com estes valores e se utilizando de constantes e fórmulas fornecidas, os alunos conseguem calcular as perdas experimentais e compará-las com as teóricas.

Hoje o laboratório conta com duas bancadas, como mostram as Figuras 7 e 8. A primeira e mais antiga conta com um bomba com sucção diretamente do reservatório do laboratório, medida de vazão indireta de acordo com o tempo para se atingir um certo nível na caixa d'água na descarga dos tubos e seis trechos para a realização do experimento, sendo um trecho reto de PVC de ¾", um trecho reto galvanizado de ¾", um trecho galvanizado com um Venturi, um trecho galvanizado com placa de orifício e dois trechos com acessórios diversos.

Para as aferições dos diferenciais de pressão, dois manômetros tubo "U", preenchidos com mercúrio, as conexões nos pontos são roscadas e ao longo do experimento é necessário realocar o instrumento pelos pontos nos trechos.

A segunda e mais nova conta com duas bombas com sucção de um recipiente da bancada, que deve ser cheio com água antes da execução do experimento, um rotâmetro e um medidor de vazão magnético que permitem a aferição direta da vazão e um compartimento graduado para medição indireta, da mesma maneira da realizada na primeira bancada. Além disso, para a execução da prática, ela conta com um trecho reto de PVC de ½", um trecho reto de PVC de ¾", um trecho reto de PVC de ¾" rugoso, um trecho com acessórios diversos, um trecho com Venturi e um trecho com placa de orifício.

Para indicação dos diferenciais de pressão, existem dois manômetros tubo "U", sendo um deles preenchido de mercúrio e o outro com água, as conexões são do tipo "engate rápido" e a bancada possui um painel com todos os pontos de tomada de pressão, para que as

alterações ao longo do experimento não sejam feitas diretamente nos trechos, facilitando a execução do experimento.

Vale ressaltar que por possuir duas bombas, esta bancada permite a realização do ensaio de associação de bombas.

Figura 7 – Bancada de perda de carga antiga

Fonte: Produção do próprio autor (2022).

Figura 8 – Bancada de perda de carga nova

Fonte: Produção do próprio autor (2022).

3 – Ensaio de bombas: este ensaio visa familiarizar os alunos com os conceitos envolvidos em bombas (centrífuga no caso desta prática) em operação, ou seja, são ensinadas definições e apresentados os parâmetros relevantes de um equipamento deste tipo, por exemplo altura útil de elevação, altura disponível de elevação, potência útil, potência motriz, rendimento da bomba e curvas características do equipamento.

Esta bancada é composta por uma bomba centrífuga da marca KSB, modelo ETA 80-20, com vedação de gaxetas, mostrada na Figura 9, acionada por um motor elétrico

monofásico da marca ENIKA, modelo 6-MRS-2, com potência 30hp e até 3500 rpm, apresentado na Figura 10, acionado pelo painel exibido na figura 13, e tubulação de aço galvanizado de 4” na sucção e 3” no recalque da bomba. Para indicação das pressões de recalque e sucção das bombas, existem instalados manômetros de Bourdon simples sem glicerina, vistos no Figura 11, e para a medição de vazão existe um medidor magnético da marca INCONTROL, modelo PRO1000, como mostra a Figura 12, porém com funcionamento inadequado.

O esquema final da bancada é apresentado na figura 14.

De maneira prática, são fixadas faixas de rotação do motor e para cada faixa são alteradas as alturas de elevação e vazões, abrindo ou fechando as válvulas da tubulação. Para cada caso, são aferidos o nível da lâmina d’água do vertedor para aferição da vazão de maneira indireta, como mostra a figura 15, as pressões de entrada e saída da bomba e a corrente do motor para cálculo da potência e rendimento do motor elétrico.

Após a coleta dos dados, com o auxílio das fórmulas e constantes fornecidas, os parâmetros são calculados, as curvas características são traçadas e comparadas com as curvas fornecidas pelo fabricante do equipamento.

Figura 9 – Bomba KSB, modelo ETA 80-20

Fonte: Produção do próprio autor (2022).

Figura 10 – Motor elétrico ENIKA, modelo 6-MRS-2

Fonte: Produção do próprio autor (2022).

Figura 11 – Indicadores de pressão da sucção e do recalque da bomba

Fonte: Produção do próprio autor (2022).

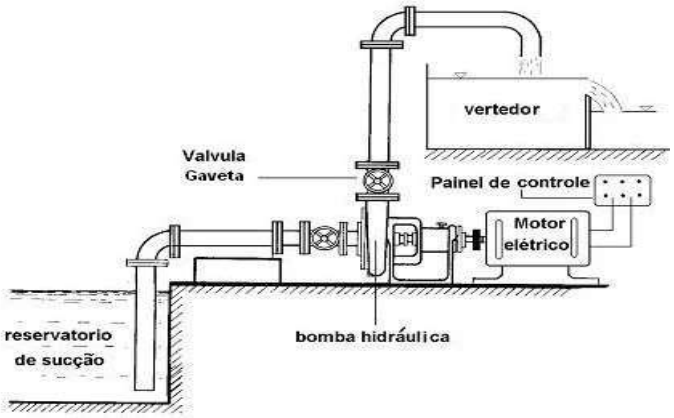
Figura 12 – Tubulação com medidor de vazão INCONTROL, modelo PRO1000

Fonte: Produção do próprio autor (2022).

Figura 13 – Painel de comando do motor ENIKA

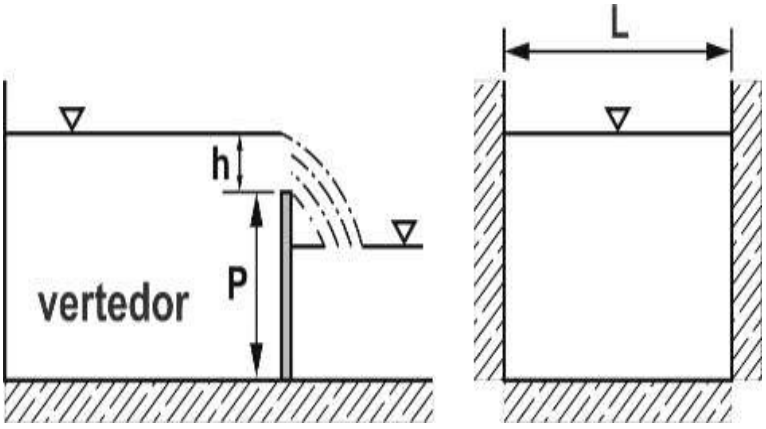
Fonte: Produção do próprio autor (2022).

Figura 14 – Esquema didático da bancada



Fonte: Autor desconhecido.

Figura 15 – Esquema didático de aferição de nível no vertedor



Fonte: Autor desconhecido.

4 – Associação de bombas: esta prática tem como objetivo ensinar aos alunos as associações de bombas possíveis e para qual caso cada arranjo é mais adequado.

A composição desta bancada é feita por duas motobombas iguais da marca THEBE, modelo TH-16 AL, mostradas na Figura 16, com sucção de água diretamente do reservatório do laboratório, com motor trifásico de 0,5cv de potência, tubulações de PVC de 1”. As pressões são indicadas por manômetros simples de Bourdon sem glicerina, num total de 5 pontos (sucção e recalque das duas bombas e trecho único de descarga das duas bombas), como pode ser visto na Figura 17, um medidor de vazão da marca INCONTROL (Figura18), modelo PRO1000, porém fora de operação e válvulas de esfera que permitem a troca do arranjo entre as bombas.

Durante o experimento as duas bombas são acionadas, primeiramente associadas em série, e depois o jogo de válvulas é feito para elas se associarem em paralelo. Para o cálculo das vazões, é medido o tempo decorrido para enchimento de um volume fixo no recipiente graduado, além disso durante as repetições, são aferidas as pressões de sucção e recalque das bombas e da junção dos sistemas.

Com os valores coletados, e apoio das fórmulas e constantes fornecidas no roteiro, é possível comparar as curvas reais com as teóricas e comprovar a teoria sobre as associações de bombas.

Figura 16 – Bombas THEBE, modelo TH-16 AL em associação série/paralelo

Fonte: Produção do próprio autor (2022).

Figura 17 – Manômetros de tomadas de pressão de sucções, recalques

Fonte: Produção do próprio autor (2022).

Figura 18 – Medidor de vazão magnético

Fonte: Produção do próprio autor (2022).

5 – Ensaio de ventiladores: este experimento traz para os alunos os conceitos relacionados à ventiladores, ou seja, são ensinadas definições e apresentados os parâmetros relevantes de um equipamento deste tipo, por exemplo variação de pressão através do ventilador, pressão estática, pressão de estagnação, pressão dinâmica e curvas características do equipamento.

Este arranjo é composto por um ventilador centrífugo de pás retas da marca ICAM, modelo AV/580 com duto de saída retangular, acionado por um motor elétrico ARNO, modelo ER 112L de 7,5cv de potência, mostrados na figura 19, um tubo de Prandtl no duto de saída e um tubo de Pitot e um tubo piezométrico no duto de entrada do equipamento. O esquema final da montagem é exibido na figura 20.

As pressões são indicadas de maneira diferencial, por manômetros de tubo “U” preenchidos com água. No decorrer do experimento, já com o ventilador ligado, o damper do

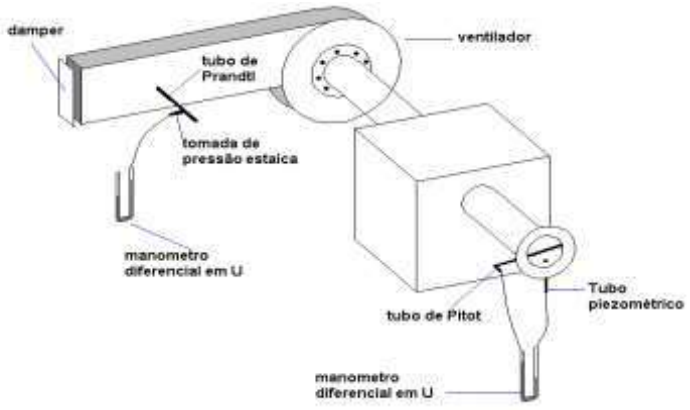
duto de saída tem sua abertura variando de totalmente fechado até totalmente aberto e os diferenciais nos tubos de Pitot e Prandtl são anotados para cada um dos pontos.

Com os valores gerados, é possível determinar outros parâmetros, como velocidade e vazão e plotar a curva característica do equipamento.

Figura 19 – Ventilador ICAM, modelo AV/580 e motor ARNO modelo ER 112L

Fonte: Produção do próprio autor (2022).

Figura 20 – Esquema didático do ensaio de ventiladores



Fonte: Autor desconhecido.

6 – Circuitos hidráulicos: este ensaio visa trazer para a sala de aula, conceitos sobre circuitos hidráulicos, por exemplo simbologias e interpretação de P&ID.

Hoje existem duas bancadas para as práticas, sendo uma da marca FESTO, conforme figura 21, e outra da SPERRY VICKERS, mostrada na figura 22.

A primeira, mais antiga, conta com uma unidade hidráulica acionada eletricamente e acessório totalmente hidráulico-mecânicos (nenhuma eletrônica embarcada) e não é modular, ou seja, seus componentes são fixos no painel, sem a possibilidade de modificações rápidas.

Já a segunda bancada é da marca FESTO e por se tratar de um modelo mais recente, ela apresenta recursos eletrônicos, como relés, fonte, sensores indutivos, entre outros e permite que os sistemas apresentados tenham mais funcionalidades. Fora isso, sua estrutura é modular, com fixação por trilhos, o que habilita a substituição rápida e movimentação dos componentes, aumentando o leque de possibilidades durante as simulações.

O desenvolvimento das atividades se dá reproduzindo na bancada, circuitos descritos em papel, avaliando a capacidade de interpretação dos alunos e permitindo a comparação do funcionamento real da bancada com a teórica do diagrama.

Figura 21 – Bancada de hidráulica FESTO

Fonte: Produção do próprio autor (2022).

Figura 22 – Bancada de hidráulica SPERRY VICKERS

Fonte: Produção do próprio autor (2022).

7 – Circuitos pneumáticos: semelhante ao experimento realizado na bancada de hidráulica, a bancada de pneumática consiste basicamente em trazer entendimento sobre o que

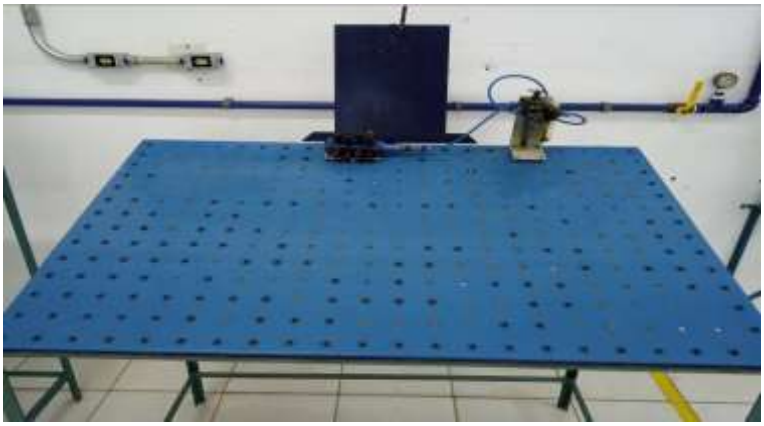
são circuitos pneumáticos e para que servem na prática e ensinar a interpretação das simbologias e P&ID.

Hoje o laboratório possui três bancadas iguais, mostrada na figura 23, da antiga linha azul da marca FESTO (esta linha está descontinuada). As bancadas são alimentadas pela linha de ar comprimido do laboratório e cada uma delas possui um lubrifil antes da entrada de ar no bloco de distribuição.

As bancadas são modulares, o que permite a criação de vários circuitos na mesma aula, porém a fixação de pinos dos acessórios, como os mostrados na figura 24, é obsoleta, assim como o modelo dos engates rápidos das mangueiras. Em relação aos acessórios, o laboratório possui diversos tipos, como válvulas 3/2 e 5/2 vias, cilindros de simples e dupla ação, entre outros e em quantidade suficiente para as práticas de laboratório, porém muitos componentes apresentam defeitos de funcionamento.

Em termos práticos o desenvolvimento das atividades se dá reproduzindo na bancada, circuitos descritos em papel, avaliando a capacidade de interpretação dos alunos e permitindo a comparação do funcionamento real da bancada com a teórica do diagrama.

Figura 23 – Bancada de pneumática FESTO



Fonte: Produção do próprio autor (2022).

Figura 24 – Acessórios para a bancada de pneumática FESTO

Fonte: Produção do próprio autor (2022).

A necessidade e a dificuldade de simular a teoria de maneira didática para a visualização dos fenômenos faz, muitas vezes, com que as bancadas e dispositivos educacionais fiquem defasados em relação às novas tecnologias disponíveis.

Levando-se em conta os experimentos analisados, pode-se dizer que todos atendem à demanda teórica de demonstração dos fenômenos, porém se tratando de infraestrutura o cenário está muito aquém das instalações de ponta e isso se torna um ponto de melhoria, tanto para a instalação, quanto para a formação e ambientação dos alunos com a realidade pós-faculdade.

Hoje em dia nas indústrias o monitoramento das grandezas se dá, quase que exclusivamente, por malhas compostas por um sensor (elemento primário) responsável por "sentir" a variável em questão, um indicador para que o valor da variável passada pelo sensor seja exibido, mas sem interferir no processo, um transmissor incumbido de produzir uma saída com valor, geralmente, proporcional ao valor da variável e um registrador encarregado de armazenar os dados ao longo do tempo. Visto isso existe uma oportunidade de substituição dos instrumentos analógicos por eletrônicos que possibilitam a integração de um conjunto com registradores de dados e IHM.

Em termos de itens mecânicos e tubulação, a troca das bombas com vedação de gaxeta, por equipamentos com selo mecânico pode evitar o constante vazamento de água pelo equipamento, a substituição dos motores por mais atuais pode significar economia de energia elétrica e a troca das tubulações por novas feitas de materiais mais avançados pode garantir um aumento significativo de vida útil do *spool*.

Ademais, a tendência do IIOT puxa uma necessidade de bons sistemas de DAQ, para que junto com a digitalização trazida pela indústria 4.0, tenha-se um ecossistema completo com alto nível de automação, aquisição, troca e armazenamento de dados e que acaba agilizando e facilitando as tarefas antes manuais.

3 METODOLOGIAS

3.1 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Conforme detalhes das descrições breves das bancadas e dos procedimentos experimentais, nota-se uma estagnação dos instrumentos e equipamentos ao longo do tempo, sendo grande parte dos itens, das décadas de 80 e 90.

Visto isso, foram estabelecidos critérios para avaliação dos equipamentos utilizados atualmente no laboratório, como: distanciamento da tecnologia empregada em relação às mais avançadas, praticidade na execução dos experimentos, confiabilidade dos resultados e em alguns casos, segurança. Desta forma definimos os alvos, descritos no item 1 deste trabalho, com as respectivas justificativas:

1 – Laboratório de viscosidade: por mais que os princípios físicos aplicados nos aparelhos atuais sejam basicamente os mesmos dos existentes no laboratório (tempo de queda e tensão de cisalhamento), os aparatos hoje empregados na instalação fazem as práticas serem lentas desde a preparação, passando pela execução, até aquisição manual dos dados e por existirem aferições manuais, a confiabilidade dos parâmetros extraídos é baixa.

2 – Bancadas de perda de carga: por serem bancadas didáticas, ambas estão muito próximas do que se encontra no mercado, ficando atrás apenas nos quesitos instrumentação e aquisição de dados. Como durante a execução do ensaio é necessário alterar os pontos de tomada de pressão, existe um ponto de melhoria no quesito praticidade para as duas e para a mais nova, há um ponto a mais que é a necessidade de encher o reservatório com água. Se tratando de confiabilidade dos resultados, por ser antiga e montado com tubos de aço galvanizados, a bancada antiga apresenta corrosão e deposição de material em seus tubos, provocando um erro elevado em relação aos valores teóricos.

3 – Ensaio de bombas: o sistema de vedação da bomba é gaxeta, e por isso é natural que periodicamente haja vazamentos pela parte de trás da voluta, sendo necessário reapertar o preme-gaxeta, entretanto após o limite, é necessário trocar as gaxetas. Este tipo de vedação não é obsoleto, porém pouco utilizado hoje em dia. Se tratando do motor elétrico, ele não atende mais os padrões de eficiência, por possuir 30cv de potência está superdimensionado para a aplicação e seu painel de comando não atende as exigências da NR-10.

Em relação ao *spool,* os tubos apresentam corrosão por serem de aço galvanizado, que pode ser comprovado pela coloração do Venturi do ensaio de cavitação e as válvulas gaveta que controlam as vazões muitas vezes oferecem dificuldade para seu manejo. No que diz

respeito à aferição do nível do vertedor, verificar o valor na régua vertical pode apresentar um risco aos alunos, tendo em vista que é necessário acessar um local sem proteções.

Durante a realização dos ensaios, os valores das pressões são indicados por manômetros sem glicerina, que apresentam baixa precisão devido à vibração do sistema e o nível é retirado de maneira visual, da régua inserida no canal, sendo este método muito propício à erros humanos.

4 – Associação de bombas: a bancada deste ensaio, por mais que básica, está de acordo com os dispositivos educacionais encontrados no mercado. O decorrer do experimento se dá de maneira simples, rápida e sem oferecer dificuldades para execução, porém as aferições de pressão por meio de manômetros de Bourdon sem glicerina apresentam oscilações, devido à vibração do sistema, que é montado com tubos de PVC e o medidor de vazão magnético instalado não opera corretamente.

5 – Ensaio de ventiladores: o maquinário utilizado para realização do experimento foi considerado como adequado, com exceção dos manômetros tubo “U” que oferece grande chance de erros humanos nas aferições. A prática deste roteiro é simples e ágil, entretanto o fato da abertura do damper ser feita de modo manual e o ar do duto de saída poder acertar quem está realizando a manobra, oferece risco à integridade física da pessoa operando o sistema.

6 – Circuitos hidráulicos: considerando as duas bancadas, a da FESTO está bem próxima do que existe disponível hoje no mercado de dispositivos didáticos, porém a da VICKERS pode ser considerada obsoleta. Seu padrão não-modular limita o número de esquemas possíveis no aparelho, a idade de seus componentes e o fato de eles não serem mais itens comerciais fizeram com que ela apresente pequenos vazamentos de óleo, sem a condição de substituição dos componentes danificados. A da FESTO apenas não apresenta os novos itens eletro-hidráulicos oferecidos pelo próprio fabricante.

As práticas são bem dinâmicas pelo fato dos alunos serem responsáveis pela elaboração e montagem dos circuitos.

7 – Circuitos pneumáticos: por mais que os materiais disponíveis sejam o suficiente para fazer a integração teórico-prática, hoje existem itens disponíveis para aquisição que refletem muito mais de perto a realidade encontrada fora da universidade e o fato da descontinuidade da linha de produtos disponíveis no laboratório dificulta a aquisição de peças de reposição/substituição. Por se tratar de componentes estritamente mecânico-pneumáticos, não existe integração das metodologias com qualquer tipo de automação e/ou aquisição de dados.

Pela semelhança com os experimentos de circuitos hidráulicos, as práticas de pneumática são dinâmicas e com a participação constante dos alunos na elaboração e montagem dos esquemas.

3.2 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DAS ATUALIZAÇÕES PROPOSTAS

Da mesma forma que houve uma avaliação para definir quais seriam as bancadas alvo do estudo, as novas tecnologias foram ponderadas nos quesitos alinhamento com as tendências de IIOT, DAQ e Industria 4.0, recursos versus necessidade do laboratório, oportunidade de otimização e possibilidade de upgrades e geração de novos temas para trabalhos de graduação.

Discorrendo um pouco sobre os critérios, o primeiro diz respeito a inserir digitalização na instalação, desde a coleta, tratamento, armazenamento e disponibilização dos dados experimentais possibilitando melhorias posteriores. O segundo é um confronto dos recursos que os equipamentos oferecem com as reais necessidades das bancadas, para que não haja desperdício de recurso financeiro. O terceiro visa deixar portas abertas para otimizações, sem a necessidade de substituição de instrumento e equipamentos, apenas agregando novos itens e por último, seguindo a linha deste trabalho, foi pensado em deixar lacunas para novos projetos de graduação, para que mais alunos produzam atividades com retorno para a faculdade, visando melhorias para o campus e desenvolvimento para o corpo discente.

Os custos de aquisição e implementação das melhorias que serão apresentadas foram estimados de acordo com propostas reais de fornecedores ou em valores médios baseados nos valores de mercado da categoria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ESPECIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Tendo em mente a necessidade de modernização das bancadas e dispositivos conforme elucidado no capítulo 3 deste texto, foram estudadas soluções disponíveis para a problemática existente e após um norteamento do caminho a seguir, foram realizadas reuniões com diversos fornecedores para que fossem especificados os equipamentos mais adequados e também para que estes itens fossem precificados.

Para a seleção de novos viscosímetros, foram levados em conta as faixas de viscosidade dinâmica e cinemática dos óleos SAE utilizados. Como os óleos SAE ensaiados variam de SAE 0W até SAE 25W, foi estipulado que os equipamentos precisam aferir de 3,8 a 9,3 cST para viscosidade cinemática e 6200 a 13000 cP para viscosidade dinâmica.

Com suporte da empresa LÁCTEA CIENTÍFICA, atendendo as especificações técnicas do experimento e também os critérios do item anterior, foram selecionados os seguintes aparelhos: viscosímetro cinemático automático MINIAV da marca CANNON e viscosímetro rotacional TESC também da CANNON.

O primeiro, utilizado para determinação de viscosidade cinemática, opera em faixas de 0,3 a 5000 cST, com temperatura de amostra entre 37,78ºC e 100ºC, possui sensores de temperatura para detecção automática do valor deste parâmetro, bem como sensores para aferição do tempo total do escoamento do óleo pelo capilar. O volume da amostra é de cerca de 5ml, que representa uma quantidade menor de resíduos gerados se comparado com o viscosímetros hoje utilizados, o tempo médio de cada simulação fica em torno de 3 minutos e todos os dados são automaticamente compilados com auxílio de um software específico para o equipamento.

O ponto negativo é que é necessário um Desktop para interface e tratamento dos dados.

O viscosímetro TESC, responsável por ensaios para estipulação de viscosidade dinâmica opera com temperaturas entre -40ºC e 90ºC, não sendo necessária a estabilização da temperatura ambiente do laboratório, executa o procedimento em mais de uma velocidade de rotação por oportunidade e permite operação desacompanhada, tendo em vista a possibilidade de pré-determinar parâmetros de ensaios. O volume de amostra é de 20ml e os dados de cada teste são coletados automaticamento e compilados, com opção de exportação em arquivo de Excel®.

Este equipamento não necessita de computador periférico para execução dos experimentos, porém depende de um para sua configuração inicial.

Em ambos os casos, foram previstos instalação e partida assitida do fornecedor, bem como treinamento para operação.

Acerca das bancadas de perda de carga, os equipamentos fornecidos atualmente não se diferem das atuais do laboratório, desta maneira a linha seguida foi a de instrumentar a bancada ao invés de adquirir uma nova.

Para aferição da vazão foi cotado o kit BTU-METER-TUSM-2000 + VEC-BDA-01 da VECTUS, que compreende sensores de vazão ultrassônicos VEC-TUSM-2000, registrador de corrente VEC-BDA01 e transmissores de temperatura VTC-A.

O conjunto foi dimensionado para operar com fluidos limpos (particulados em suspensão < 10000ppm), com temperaturas de 0ºC a 70ºC e velocidade de escoamento de 0,01m/s até 30m/s bi-direcional.

O registrador trabalha com sinal analógico de corrente de 0mA a 20mA, possui memória interna para armazenamento de até 32.000 aferições, que podem ser baixadas com auxílio do software e interface fornecidos no conjunto. Além disso, é possível programar o equipamento para realizar medições em intervalos de tempo de 1s a 9h.

A medição de temperatura é executada por sensores do tipo PT100.

O ponto positivo desta solução é que os sensores ultrassônicos para monitoramento da vazão são montados na superfície externa dos tubos, permitindo a fácil locomoção do conjunto.

Estão inclusos no valor final CD com software e manual de instruções, interface para comunicação com computadores e maleta para armazenamento e transporte dos equipamentos.

Para o monitoramento dos diferenciais de pressão foi especificado o manômetro hidrônico VEC-PRESS 1001-D também da VECTUS.

O instrumento é um indicador digital e local do diferencial de pressão, que utiliza a própria água do escoamento para medição. Possui faixa de operação de -200kPa a 1999,9kPa, em temperaturas de 0ºC a 50ºC, com resolução de 0,1kPa e exatidão de 0,25% do fundo de escala para mais ou para menos e utiliza bateria alcalina de 9V, com autonomia de até 100 horas em uso contínuo.

Para montagem, é necessário instalar pontos de tomada de pressão nas tubulações, podendo ser de ¼” BSP ou engate rápido de Nylon também de ¼” (modelo FESTO).

O conjunto é fornecido com todas as mangueiras e adaptadores, certificado de calibração RBC e amortecedor contra golpe de ariete.

O desfalque deste intrumento é não possuir um sistema de armazenamento de dados ou saída analógica para um registrador.

Além dos itens citados acima, existe uma solução que integra a mediçao de todas as grandezas do escoamento, sendo capaz de aferir vazão, diferencial de pressão, temperatura e potência em sistemas hidráulicos com apenas um aparelho.

O instrumento é o TA-SCOPE PREMIUN da VECTUS, que é um equipamento no padrão Handheld (semelhante à um smartphone), opera em faixas de 0kPa 1.000kPa com resolução de 0,2kPa e temperaturas de 0ºC a 120ºC, com resolução de 0,2ºC.

O aparelho possibilita o armazenamento de dados, por meio de um sistema operacional próprio, com possibilidade de interface com computador e exportação de dados.

O conjunto completo é composto pela unidade de mão, sensor de pressão diferencial, sensor digital de temperatura, mangueiras para conexão, sonda de segurança de pressão e temperatura, ferramentas de pré-configuração, cabos, maleta para transporte, software de interface e manual de intruções.

Para o funcionamento do equipamento, é preciso que os pontos de aferição das variáveis sejam montados nos tubos, de modo que para se aferir alguma variável, basta conectar o instrumento nos pontos definidos.

Sobre os ensaios de bombas e de associação de bombas, foi traçada a estratégia de montagem dos dois experimentos em apenas uma bancada, diminuindo o número de bombas e instrumentos periféricos necessários.

Em relação à montagem do *spool,* visando maior vida útil da tubulação e mitigar danos em instrumentos causados por particulados provenientes da oxidação dos tubos, foi prevista uma montagem com tubos de PPR, material polimérico não suscetível à oxidação, unido por meio de termofusão, responsável por eliminar soldas e conexões roscadas e assim reduzindo o risco de vazamentos ao longo dos anos.

Para a seleção das bombas, foi calculado o NPSH disponível, com valor aproximado de 3,44m e baseado nos valores de relatórios anteriores, estipulou-se a vazão média de operação com valor de 80m³/h e altura manométrica sendo 10,0m. Com os parâmtros estipulados e em parceria com a KSB/TECMAG, foram sugeridas duas opções de modelo de bomba: KSB Megabloc 125-080-160 e KSB Meganorm 125-080-160.

O primeiro modelo é uma motobomba, ou seja, bomba e motor em um conjunto monobloco, onde o eixo do motor é o eixo do rotor, sem a existência de semi-eixos acoplados

por um elemente de ligação. Já o segundo modelo é um conjunto bomba e motor acoplados por um elemento.

Em ambos os casos a vazão nominal do equipamento é de 80,01m³/h com NPSH requerido de 2,81m e pressão de recalque de 0,98bar.g e o acionamento fica a cargo de um motor eletrico da WEG de 5cv de potência.

Para variação da rotação da bomba e também para se ter um sistema de *soft start* (partida do equipamento em rampa), foi selecionado um inversor de frequência modelo BRCFW110016T2SZ, da linha CFW11 da marca WEG. Esta linha de inversor foi a escolhida, pois o equipamento permite a conexão com CLP, habilitando que rotinas sejam programadas e importadas para o sistema supervisório.

Buscando algo a mais para a instalação, foi cogitado a instalação do sistema PumpMeter da KSB, que consiste em transmissores de pressão na sucção e recalque da bomba, com display local, de modo que a partir dos valores aferidos, o sistema indica em qual ponto da curva o equipamento está operando.

Os instrumentos de monitoramento dos parâmetros foram selecionados de acordo com valores práticos de repetições anteriores dos experimento e em conjunto com a ENDRESS+HAUSER.

Para monitoramento da pressão foi definido o modelo CERABAR PMP51B, que é um transmissor de pressão piezoresistivo, com saída de 4mA a 20mA, utilizando protocolo de comunicação HART, com ajuste de faixa até 200kPa (2bar), que pode ser calibrado para uma faixa determinada. O equipamento conta com um display local de exibição e também com tecnologia Bluetooth, para acesso aos dados de maneira remota.

Para medição da vazão do sistema, foi escolhido o modelo PROMAG W 10 5WBB1H, que consiste em um medidor de vazão eletromagnético, com saída de 4mA a 20mA, utilizando protocolo de comunicação HART ou Modbus RS485, com faixa de vazão de 0m³/h a 82m³/h, bi-direcional e calibrável para intervalos determinados. O medidor conta com display local de exibição e também com tecnologia Blutooth, para acesso remoto aos dados.

Por último, para a aferição do nível do vertedor, foram definidos dois equipamentos que necessitam trabalhar em conjunto, o Micropilot FMR20, que é um medidor de nível radar para aplicações em líquidos de base água, com saída de 4mA a 20mA, utilizando protocolo de comunicação HART, com faixa de medição de 40mm a 15m. Este equipamento não conta com display integrado, portanto trabalha em par com o Panel Meter RIA452, que se resume em um indicador de processo que recebe o sinal do medidor de nível e o transforma em uma indicação em seu display e é capaz de emitir um sinal de saída para um registrador digital.

Os dois equipamentos mencionados também possuem a tecnologia Bluetooth integrada para transmissão de dados.

Para agregar todos os dados e além das indicações locais, se ter os dados exibidos em um display apenas, foi especificado o Ecograph T RSG35, que além de registrador digital, apresenta display colorido de 5,7", possibilitando a navegação por todas as variáveis monitoradas, conexão via cabo Ethernet RJ25 ou USB, entrada para cartão de memória e habilitado para exportação de dados.

O acesso aos dados disponibilizados via Bluetooth é feito utilizando o aplicativo SmartBlue app, disponibilizado de maneira gratuita nas lojas de aplicativos de tablets e celulares, e acontece em tempo real com a medição do aparelho, tendo um alcance de aproximadamente 30m entre dipositivo móvel e instrumento em campo. Fora isso, o aplicativo oferece uma funcionalidade capaz de realizar um *scan* no instrumento, que busca falhas no hardware, explicitando defeitos e/ou falhas caso existam.

As mudanças proposta para o ensaio de ventilador e túnel de vento, consistem em substituir os manômetro diferenciais em "U", por instrumentos digitais. O equipamento designado é o Deltabar PMD55B, transmissor diferencial de pressão piezoresistivo, com sinal de saída de 4mA a 20mA, com protocolo de comunicação HART, faixa de operação até 10kPa (100mbar), definido de acordo com valores dos experimentos reais realizados.

Da mesma forma que nas sugestões dos ensaios de bombas, este instrumento possui tecnologia Bluetooth integrada e tem seus dados agrupados e exibidos em um registrador do modelo Ecograph T RSG35.

Para todos os instrumentos da ENDRESS+HAUSER, são disponibilizados um colaborador para comissionamento, após a montagem em campo de responsabildiade da faculdade, e também para capacitação dos professores e técnicos que serão responsáveis por ministrar aulas no laboratório.

Em relação às bancadas de eletrohidráulica, não existem grandes diferenças da existente no laboratório para as vendidas atualmente pela FESTO, no que diz respeito à estrutura, sendo que a existente pode ser utilizada sendo necessária a aquisição apenas dos conjuntos de compoentes eletrohidráulicos.

Hoje a FESTO oferece junto com a bancada, um módulo de conteúdos digitais, que funciona como uma CPU, na qual são disponibilizados diagramas para serem reproduzidos na bancada, bem como outros exercícios práticos pré-definidos pela equipe da FESTO DIDATIC.

Este item também é capaz de adquirir os dados dos componentes da bancada que são usados nas simulações, de modo a funcionar também como um resgistrador de dados. Estes dados podem ser disponibilizados via internet, tendo em vista que o módulo possui conexão com rede via wi-fi, ou então exportado para um dispositivo externo por conexão via cabo.

Foi especificada, também com a FESTO, a bancada de eletropneumática que será substituta do modelo atualmente utilizado no laboratório, já descontinuado pelo fabricante.

As bancadas de pneumática estipuladas possuem um *frameset* idêntico ao da bancada de hidráulica, com canais de fixação para os acessórios e não mais fixação por pinos, desta maneira, nada do que existe hoje no laboratório consegue ser reaproveitado.

O conjunto consiste na bancada, somados com os acessórios clássicos de pneumática e eletropneumática, como válvulas direcionais, atuadores, sensores de indução, entre outros itens e da mesma forma que a bancada de hidráulica, ela vem equipada com um módulo de conteúdo digital.

Além dos itens citados, a FESTO disponibiliza acesso a um software interativo em HTML, que contém questões de variados níveis de dificuldades, sobre os diversos assuntos tratados em aula, que permitem uma avaliação das deficiências de cada aluno, podendo ser utilizado em conjunto com os métodos de avaliação convencionais.

Para todos os equipamentos da FESTO, são disponibilizados um colaborador para comissionamento das bancadas e treinamento operacional dos docentes e técnicos da instituição.

4.2 CUSTOS

Após a definição dos equipamentos, os custos foram estimados levando-se em conta valores reais de propostas, quando possível, ou estimativa de acordo com o tipo e modelo do equipamento e/ou serviço e após isso foram compilados de acordo com a bancada, para a qual foram propostos.

Os valores parciais dos equipamentos e outros valores associados são exibidos abaixo, bem como os subtotais e totais finais agregados.

A Tabela 1 possui os valores dos equipamentos para atualização dos ensaios de viscosidade.

Tabela 1 – Custos dos viscosímetros e periféricos

Descrição do equipamento	Quantidade	Custo unitário do equipamento	Subtotal
Viscosímetro MiniAV	1	R$ 423.575,00	R$ 423.575,00
Viscosímetro TESC	1	R$ 172.100,00	R$ 172.100,00
Desktop	1	Não cotado	Não cotado
Subtotal	-	-	R$ 595.675,00

Fonte: Produção do próprio autor

Para este caso não é necessária adequação de infraestrutura, porque existe a possibilidade de utilização das mesmas tomadas para energização dos viscosímetros e os custos de instalação e treinamento estão contidos no valor final de cada item, desta maneira a modernização do laboratório de viscosidade foi totalizado em R$ 595.675,00.

As alterações para as bancadas de perda de carga rumaram para a instrumentação e não aquisição de uma nova, pois todas as opções encontradas no mercado possuem os mesmos recursos dos existentes no laboratório e custam a partir de R$ 80.000,00 (baseado em orçamentos reais). Os valores dispostos nas Tabelas 2 e 3 representam os custos das duas opções descritas no item 4.1 deste trabalho.

Tabela 2 – Custos da primeira opção para instrumentação das bancadas

Descrição do equipamento	Quantidade	Custo unitário do equipamento	Subtotal
Kit BTU-METER-TUSM-2000 + VEC-BDA-01	1	R$ 14.990,00	R$ 14.990,00
Manômetro VECPRESS 1001-D	2	R$ 6.800,00	R$ 13.600,00
Subtotal	-	-	R$ 28.590,00

Fonte: Produção do próprio autor

Tabela 3 – Custos da segunda opção para instrumentação das bancadas

Descrição do equipamento	Quantidade	Custo unitário do equipamento	Subtotal
Medidor multifuncional TA-SCOPE PREMIUN	1	R$ 41.600,00	R$ 41.600,00

Fonte: Produção do próprio autor

Semelhante ao caso anterior, não são necessárias alterações na infraestrutura para funcionamento das bancadas, com exceção da instalação dos pontos de tomada de pressão e temperatura, porém esta atividade pode ser executada com auxílio dos técnicos da faculdade, reduzindo os custos de instalação, de tal forma que a quantia para aquisição dos itens seja de R$ 28.590,00 para a primeira opção e R$ 41.600,00 para a segunda.

No que se refere à bancada para ensaios de bombas e associação de bombas, o investimento varia de acordo com o modelo das bombas selecionado e com a aquisição ou não do acessório PumMeter da KSB (item destacado nas tabelas). As opções estão dispostas abaixo.

Tabela 4 – Custos da primeira opção para o ensaio de bombas e associação de bombas

(continua)

Descrição do equipamento	Quantidade	Custo unitário do equipamento	Subtotal
Bomba Megabloc 125-080-160	2	R$ 14.380,00	R$ 28.760,00
Inversor CFW11 - 5cv - 220V	2	R$ 15.800,00	R$ 31.600,00
Acessório PumpMeter	2	R$ 6.500,00	R$ 13.000,00
Transmissor de pressão Cerabar PMP51B	7	R$ 5.264,02	R$ 38.848,14
Medidor de vazão Promag W 10, 5WBB1H	1	R$ 21.677,57	R$ 21.677,57

Tabela 4 – Custos da primeira opção para o ensaio de bombas e associação de bombas

(Conclusão)

Descrição do equipamento	Quantidade	Custo unitário do equipamento	Subtotal
Indicador Panel Meter RIA452	1	R$ 10.096,42	R$ 10.096,42
Transmissor nível micropilot FMR20	1	R$ 8.433,99	R$ 8.433,99
Registrador digital Ecograph T RSG35	1	R$ 24.329,53	R$ 24.329,53
Tubulações em PPR	1	R$ 4.500,00	R$ 4.500,00
Subtotal	-	-	R$ 181.245,65

Fonte: Produção do próprio autor

Tabela 5 – Custos da segunda opção para o ensaio de bombas e associação de bombas

(continua)

Descrição do equipamento	Quantidade	Custo unitário do equipamento	Subtotal
Bomba Meganorm 125-080-160 com motor	2	R$ 16.100,00	R$ 32.200,00
Inversor CFW11 - 5cv - 220V	2	R$ 15.800,00	R$ 31.600,00
Acessório PumpMeter	2	R$ 6.500,00	R$ 13.000,00
Transmissor de pressão Cerabar PMP51B	7	R$ 5.264,02	R$ 38.848,14
Medidor de vazão Promag W 10, 5WBB1H	1	R$ 21.677,57	R$ 21.677,57
Indicador de processo Panel Meter RIA452	1	R$ 10.096,42	R$ 10.096,42

Tabela 5 – Custos da segunda opção para o ensaio de bombas e associação de bombas

(conclusão)

Descrição do equipamento	Quantidade	Custo unitário do equipamento	Subtotal
Transmissor nível micropilot FMR20	1	R$ 8.433,99	R$ 8.433,99
Registrador digital Ecograph T RSG35	1	R$ 24.329,53	R$ 24.329,53
Tubulações em PPR	1	R$ 4.500,00	R$ 4.500,00
Subtotal	-	-	R$ 184.685,65

Fonte: Produção do próprio autor

Tabela 6 – Custos de implantações dos equipamentos da bancada de bombas

Descrição da infraestrutura	Quantidade	Custo unitário do equipamento	Subtotal
Bases para as bombas em alvenaria (grauteada)	2	R$ 4.300,00	R$ 8.600,00
Infraestrutura elétrica (cabos de potência e comando, painel, etc)	1	R$ 12.000,00	R$ 12.000,00
Montagem do *spool* de tubulações	1	R$ 9.000,00	R$ 9.000,00
Comissionamento dos instrumentos	1	R$ 22.325,50	R$ 22.325,50
Subtotal	-	-	R$ 51.925,50

Fonte: Produção do próprio autor

Elencando ambas as possibilidades, o aporte para montagem da bancada de ensaio de bombas e associação de bombas varia de R$ 220.171,15 em sua configuração mais barata, com a motobomba Megabloc e sem o PumpMeter, até R$ 236.611,15 em sua configuração mais cara com bomba Meganorm e com o PumpMeter. Para as duas opções o custo de instalação se matém o mesmo, sendo que eles foram estimados, com exceção do comissionamento dos instrumentos que é proveniente de proposta comercial.

Os transmissores diferencias de pressão e resgistrador digital, únicos itens para atualização do ensaio de vetiladores e túnel de vento, também foram cotados com a empresa ENDRESS+HAUSER e tem seu valor de compra como mostrado a seguir.

Tabela 7 – Custos dos equipamentos para o ensaio de ventilador e túnel de vento

Descrição do equipamento	Quantidade	Custo unitário do equipamento	Subtotal
Transmissor diferencial de pressão Deltabar PMD55B	10	R$ 7.890,30	R$ 78.903,00
Registrado digital Ecograph T RSG35	1	R$ 24.329,53	R$ 24.329,53
Subtotal	-	-	R$ 103.232,53

Fonte: Produção do próprio autor

Tabela 8 - Custos de implantações dos equipamentos da bancada de ventilador

Descrição da infraestrutura	Quantidade	Custo unitário do equipamento	Subtotal
Infraestrutura (cabos de comando, painel, mangueiras em PU, etc)	1	R$ 5.000,00	R$ 5.000,00
Comissionamento dos instrumentos	1	R$ 22.325,50	R$ 22.325,50
Subtotal	-	-	R$ 27.325,50

Fonte: Produção do próprio autor

Desta forma o valor total para as alterações da bancada é R$ 130.558,03.

Vale ressaltar que os instrumentos para as bancadas de bombas e ventilador são comissionados apenas após sua montagem física, que não é executada pelo fabricante dos equipamentos. Esta atividade não teve seu custo estimado, pois pode ser executada pelos técnicos e docentes da instituição ou em forma de trabalho de graduação, com o intuito de evitar custos.

Para as bancadas de hidráulica e pneumática, foi utilizada a estratégia *single source,* na qual desde o início do desenvolvimento do projeto foi considerada apenas a FESTO como fornecedora dos equipamentos, tendo em vista a qualidade comprovada pela liderança do

segmento no mercado e também pelas boas experiências da faculdade com itens desta fabricante.

Mesmo com a possibilidade de utilizar alguns dos itens de hidráulica existentes no laboratório, para estimativa dos custos foram consideradas duas bancadas completas novas. O conjunto é apresentada na forma de "kit", porém é possível adquirir acessórios individualmente. Os valores de aquisição de todos os itens de hidráulica/eletrohidráulica está descrito na tabela abaixo.

Tabela 9 – Custo da bancada completa de hidráulica

Descrição do equipamento	Quantidade	Custo unitário do equipamento	Subtotal
Bancada completa (frameset e acessórios)	2	R$ 233.870,00	R$ 467.740,00

Fonte: Produção do próprio autor

O conjunto completo é composto pela estrutura da bancada, grupo de acionamento hidráulico, 20 tipos de acessórios hidráulicos diferentes e 22 acessórios de eletrohidráulica distintos. A lista destes itens é composta por: magueiras flexiveis de comprimentos diversos, conexões distintas, despressurizador, atuadores de simples e dupla ação com comprimentos de curso diferentes, motor hidráulico, válvulas direcionais com diversas quantidades de vias e arranjos, válvulas de retenção, limitadora de pressão, redutora de pressão, de fluxo direcional, de fechamento e de sequência, manômetros, válvulas direcionais acionadas por solenóides, pressostatos, fonte, jogos de cabos, relés, botões diversos, botoeira de emergência, distribuidor elétrico, temporizador eletrônicos, contator eletrônico, sensores indutivos, capacitivos e ópticos, rolete elétrico, placa Syslink, cabo Syslink, módulo de conteúdos digitais e software interativo em HTML.

De forma análoga, a bancada de pneumática é composta por estrutura da bancada, unidade de conservação (lubrifil), bloco distribuidor, tubos flexíveis em PU com diferentes diâmetros, conexão distintas, atuadores de simples e dupla ação com cursos variados, válvulas direcionais com diversas quantidades de vias, estados normais diferenciados e acionamentos diferentes, válvulas reguladora de fluxo, alternadora de fluxo, de simultaneidade de fluxo e de escape, válvula PPL (emissora de sinal proporcional), válvula geradora de vácuo, válvulas temporizadas e de sequência, válvulas solenóides com acionamento por solenóides, pressostatos e vacuostatos, fonte, jogo de cabos, relés, botões diversos, botoeira de

emergência, distribuidor elétrico, temporizador eletrônico, contador eletrônico, sensores magnético, indutivo, capacitivo e óptico, rolete elétrico, placa Syslink, cabo Syslink, módulo de conteúdos digitais e software interativo em HTML.

Nos dois casos a montagem, instalação e treinamentos já estão inclusos nos valores.

Para o projeto foram consideradas duas bancadas de pneumática, levando em conta que ambos os lados da estrutura podem ser utilizados simultaneamente. O valor está exibido na tabela 10.

Tabela 10 - Custo da bancada completa de pneumática

Descrição do equipamento	Quantidade	Custo unitário do equipamento	Subtotal
Bancada completa (frameset e acessórios)	2	R$ 66.150,00	R$ 132.300,00

Fonte: Produção do próprio autor

Com todos os valores por experimento elencados acima, o aporte total do investimento varia de R$ 1.575.034,18 para a opção mais barata, composta pela primeira opção para o ensaio de perda de carga, bombas Megabloc e sem o acessório PumpMeter da KSB, com valor máximo de R$ 1.604.484,18, considerando a segunda opção de instrumentação da bancada de perda de cargas, bombas Meganorm e com o acessório PumpMeter.

5 CONCLUSÕES

Após a análise individual de cada possibilidade, nota-se que as diferenças de recursos de cada uma delas é mínima, restringindo-se aos ensaios de bombas e associação de bombas e bancada de perda de carga e mesmo assim se mostram uma melhoria significante para instalação, na qualidade dos dados, agilidade de execução dos experimentos e na proximidade do laboratório com as tecnologias de ponta atuais.

De modo geral as atualizações dos equipamentos do laboratório se fazem necessárias em quase qualquer escala, visando manter a qualidade do ensino oferecido pela instituição e a formação de profissionais habilitados para o mercado de trabalho.

Estas melhorias podem ser responsáveis por oportunidades de execução de novos experimentos e novas pesquisas, mais infraestrutura para as pesquisas correntes dos departamentos da faculdade, possibilidades para novos trabalhos de graduação e até pelo oferecimento de serviços por parte da faculdade, desde que liberadas pela Unesp.

A divisão de custos descritas no item acima possibilita que o investimento seja feito de maneira gradual, por meio de aportes individuais para cada bancada e de acordo com as prioridades a serem definidas pelo departamento.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como parte do projeto, com o objetivo de perpetuar estudos e trabalhos de graduação, que como esse, têm como alvo a melhoria das instalações da faculdade por meio da aproximação entre corpos discente e docente e instituição, foram levantados temas para trabalhos futuros, conforme listado abaixo:

1. Projeto para atualização da instalação elétrica do laboratório e elaboração de diagramas unifilares, lista de cabos e lista de cubículos e bornes;
2. Instalação de CLP e válvulas atuadas e criação de lógica para controle dos equipamentos e automatização das rotinas dos experimentos de bombas e associação de bombas;
3. Desenvolvimento de sistema de fumaça para o túnel de vento e abertura automática do damper do ventilador;
4. Criação de procedimentos para análises de viscosidades;
5. Estudo das normas e enquadramento dos novos instrumentos no sistema de calibrações;
6. Estudo das normas e desenvolvimento de projeto para criação de laboratório de calibrações acreditado RBC;
7. Projetos para modernização de outros laboratórios da faculdade.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. C.; CAMPOS, J. C. C.; ROCHA, V. J. A. Sistematizando as habilidades do engenheiro: aulas práticas com roteiro único / Systematizing the skills of the engineer: practical classes with a single script. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 7, p. 9773–9781, 8 ago. 2019.

CAMARGO, A. P. *et al.* Aplicações de fluido-dinâmica computacional em engenharia de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 20 ago. 2021.

CAPELLO, L. **Uso da Fluidodinâmica computacional (CFD) aplicada ao ensino de mecânica de fluidos**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, Bagé, 2021.

GABER, A.; NASEEF, O. A.; ABDELBAKI, N. Creating an innovative generic virtual learning lab. *In*: WORLD CONGRESS ON COMPUTER AND INFORMATION TECHNOLOGY, 2013, Sousse, Tunisia. **Proceedings** [...]. [New York]: IEEE, 2013. 6 f.

GUILLERMO, O. E. P. Uso de laboratórios virtuais de aprendizagem em mecânica dos fluídos e hidráulica na engenharia. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (CBIE 2017), 6., 2017, Recife. **Anais [...]**. Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2017.

KIECKOW, F.; FREITAS, D. B.; LIESENFELD, J. O ensino e a aprendizagem na engenharia: realidade e perspectivas / Teaching and learning in engineering: reality and perspectives. **Brazilian Applied Science Review**, v. 2, n. 1, p. 347–356, 24 ago. 2018.

MELO, F. F. **Introdução à dinâmica dos fluidos computacional.** 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

PINTO, A. *et al.* Presença de linearidade em estudos de engenharia mecânica. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE 2015), 2015, São Bernardo do Campo. **Anais**[...]. Anápolis: UniEvangélica – Centro Universitário de Anápolis, Anápolis, 2015.

SAMPAIO, F. S. **Torre de resfriamento modelagem, simulação e testes experimentais para apoio ao ensino de engenharia mecânica.** 2013. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

TORRES, G. O. **Simulação numérica da influência de aerofólios em motocicletas esportivas.** Relatório submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico. Brasília, 2019.