ENSINO BASEADO EM PROJETOS NA DISCIPLINA DE MÁQUINAS ELÉTRICAS NA GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2024.4913

Autores: *GERONIMO BARBOSA ALEXANDRE, GIUSEPPE MANOEL DANTAS MELO, HERILIANY IASMIM DE SOUSA*

Resumo: *Este artigo relata as experiências adquiridas pelos discentes na disciplina de Máquinas Elétricas quando aplicada a metodologia de aprendizagem baseada em projetos. A turma foi dividida em quatro grupos para desenvolverem quatro protótipos reais em escala laboratorial ao longo do semestre 2023.2, onde a avaliação foi baseada nos resultados experimentais obtidos durante as montagens. A atividade consistiu na confecção e validação de uma bancada didática de geração de energia com sistema de comando e supervisão local. Tendo como o alternador síncrono como o gerador. A instrumentação utilizou de sensores de tensão e corrente e da placa Arduino UNO R3 como sistema de aquisição. Já o acionamento da máquina primária foi feito usando o inversor CFW11 WEG, operando o modo multispeed, sendo gerenciado pelo CLP FX3U24MR. Os resultados experimentais demonstram a eficácia dos sistemas SCADA desenvolvidos, com taxa de latência de 4 segundos. Bem como uma curva de geração de energia proporcional com a frequência do inversor (controle V/f). A metodologia proposta pode ser usada como uma ferramenta de combate à evasão / retenção dos alunos na graduação, onde o aluno passa a ser o agente ativo do processo de ensino-aprendizagem.*

Palavras-chave: *Protótipo didático, Aprendizagem ativa, Sistemas SCADA, Geração de energia.*

ENSINO BASEADO EM PROJETOS NA DISCIPLINA DE MÁQUINAS ELÉTRICAS NA GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem-se observado um crescente reconhecimento da importância do ensino prático na formação de engenheiros, especialmente no campo da Engenharia de Controle e Automação. Estudos como o de GOLDBERG (2009) têm destacado lacunas nas habilidades básicas dos alunos de engenharia, ressaltando a necessidade de desenvolver competências essenciais, como formulação de perguntas, modelagem de sistemas e comunicação eficaz de soluções.

A experiência prática é um componente fundamental do processo educacional. Além disso, é muito enriquecedora para a formação de um profissional da área de controle e automação a exposição ao maior número possível de cenários industriais. Infelizmente, o tempo e os recursos econômicos necessários para equipar um laboratório científico são, em muitos casos, indisponíveis para muitas instituições.

A automação de sistemas, conforme discutido por NATALE (2006), é uma prática essencial para tornar processos repetitivos mais eficientes e confiáveis, reduzindo erros e aumentando o controle. No entanto, a complexidade dos sistemas automatizados muitas vezes pode obscurecer a compreensão de suas partes constituintes. Como apontado por MARTINS (2012), é crucial reconhecer os componentes básicos de um sistema automatizado, que incluem sensores, controladores e atuadores, para uma compreensão mais clara de seu funcionamento.

Os avanços tecnológicos, conforme destacado por PAULA (2017), estão transformando rapidamente o cenário da engenharia, exigindo uma atualização constante do currículo educacional para acompanhar essa evolução digital. O ensino de engenharia, portanto, deve adaptar-se para desenvolver habilidades transversais e orientadas para o futuro, alinhadas com as demandas de uma indústria em constante mudança.

Este artigo apresenta os resultados experimentais e os relatos práticos da montagem e validação de uma bancada didática de geração de energia com sistema de supervisão de dados da produção de energia.

A experimentação da metodologia de ensino baseada em projetos foi vivenciada pelos alunos do curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, na disciplina de Máquinas Elétricas, no semestre letivo 2023.2, como atividade avaliativa da unidade II. A turma composta por 12 alunos for dividida em quatro grupos, onde os grupos ficaram responsáveis pela montagem e validação de uma bancada de geração, explorando os conceitos de alternador síncrono, como máquina secundária. Ao todo foram construídos quatro protótipos de sistemas de geração, sendo dois geradores eólicos, um sistema solar e um sistema motor de indução acoplado ao gerador síncrono, todos com monitoramento de dados elétricos e físicos. Durante todo o processo de confecção e validação dos protótipos estiveram presentes o professor da disciplina e o monitor, para auxiliar e tirar dúvidas sempre que necessário.

Para estimular a criatividade dos alunos, foi dada a liberdade de escolha dos materiais, dos componentes e da linguagem de programação a serem utilizados no desenvolvimento do projeto de montagem (confecção do protótipo).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Sistemas SCADA (do inglês, *Supervisory Control and Data Acquisition*) utilizam tecnologias de computação e comunicação para automatizar e realizar o monitoramento e o controle de inúmeros processos industriais. Estes sistemas são integrados na maioria dos ambientes industriais complexos ou de grandes escalas, na medida em que podem coletar, com rapidez e eficiência, dados de uma quantidade grande de fontes, para em seguida serem apresentados ao operador de uma forma amigável. Os sistemas SCADA melhoram a eficácia do processo de monitoramento e controle, fornecendo a informação oportuna para tomada de decisões operacionais apropriadas (PINHEIRO, 2006 apud MOSTI, 2017).

Com o aumento da automação nos processos industriais existe a necessidade de gerenciamento das informações geradas pelo processo, é neste contexto que os sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados, ou abreviadamente SCADA surgem. Dessa forma, com o advento da *Internet of Things* (IoT), novas tecnologias e protocolos de comunicação sem fio surgem de forma crescente e impulsionam ainda mais as formas de comunicação e controle. Neste cenário a tecnologia Bluetooth é uma das mais difundidas, por permitir uma conexão sem fio de baixo custo, baixa potência e curta distância (Ferreira, *et al*, 2005). Com taxa de transferência de dados atualmente na faixa de 1 MBPS, atuando em um raio que varia de 10 m até 100 m, utilizando uma frequência de 2,4 GHz (IEEE 802.15.4, 2006).

Sendo assim, os sistemas de supervisão local e remotos são de grande utilidade tendo em vista que seu funcionamento consiste no modelo mestre-escravo, onde um dispositivo da malha conectada é considerado o principal e os demais seguem seu padrão de configuração, é determinado um padrão de comunicação para que seja possível a transmissão de dados. (GALINDO, *et al*, 2019). Dessa forma, os sistemas de supervisão, sejam eles locais ou remotos, caracterizam-se por serem implementados com baixo custo, por fornecerem dados confiáveis e serem de fácil instalação.

3 A DISCIPLINA DE MÁQUINAS ELÉTRICAS

A disciplina de Máquinas Elétricas do curso de graduação em Engenharia de Controle e Automação do IFPB Campus Cajazeiras possui um conteúdo amplo e uma carga horária limitada a 60 horas/relógio, sendo quatro horas-aula por semana, incluindo o tempo necessário para a avaliação dos alunos no semestre. Para o ensino da disciplina, o conteúdo foi organizado como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Conteúdo programático da disciplina Máquinas Elétricas.

Semana	Conteúdo
1	Apresentação do curso e da proposta de trabalho aos alunos
2	Revisão de circuitos monofásicos e trifásicos
3-4	Transformadores
5-6	Máquina de corrente contínua
7-8	Experimentação com máquinas de corrente contínua
9-10	Máquina síncrona
11-12	Confecção e validação dos protótipos de geração de energia
13-14	Máquina de Indução
15-16	Experimentação com máquinas de Indução
17-18	Acionamentos de máquinas de indução
19-20	Experimentação em acionamentos de maquinas de indução

Fonte: Autores (2024).

O trabalho proposto aos alunos ajudou no aprendizado da disciplina, suprindo o tempo limitado do curso, facilitando na fixação de conceitos relacionados a eletrônica,

circuitos elétricos, redes digitais, máquinas girantes, sensores inteligentes, programação e gestão de tempo/ recursos.

A avaliação da metodologia de ensino baseada em montagens práticas aconteceu nas semanas 11-12, após a explanação teórica de máquinas síncronas nas semanas 9-10, como atividade da Unidade II. A avaliação dos projetos foi efetuada em três etapas, apresentação técnica, relatório e funcionamento do produto.

Os grupos apresentaram o produto final após integração de todos os dispositivos (sensores e atuadores) que compõe o protótipo, os testes de avaliação consistiram em avaliar o desempenho do microcontrolador em receber e enviar dados de forma precisa e eficiente no controle do protótipo, após apresentação final para uma banca composta por três professores da área, sugestões de melhorias foram apontadas nos protótipos confeccionados.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa realizada é do tipo pesquisa de campo com natureza exploratória e descritiva com abordagem quantitativa. A pesquisa exploratória de acordo com VERGARA (2014), propicia um entendimento melhor da problemática da pesquisa, melhorando a compreensão acerca do fenômeno. As abordagens do problema nas pesquisas científicas são caracterizadas por dois tipos: a pesquisa quantitativa e pesquisa qualitativa. Nesta pesquisa, optou-se por uma abordagem qualitativa, pois segundo MALHOTRA (2012, p. 113) "esse tipo de abordagem proporciona melhor visão e compreensão do problema".

Inicialmente foi feita a revisão bibliográfica nas seguintes plataformas acadêmicas: IEEE Explorer Digital Library, Periódico Capes e Google Acadêmico, dessa pesquisa foram escolhidos alguns artigos que servirão de base do projeto. Em seguida foi elaborado os desenhos 2D e 3D do protótipo, bem como a lista de material com o respectivo orçamento.

Os materiais utilizados para confecção do protótipo experimental estão dispostos na Tabela 2. O custo total do protótipo foi de R$ 631,70.

Tabela 2 – Equipamentos utilizados no protótipo e orçamento.

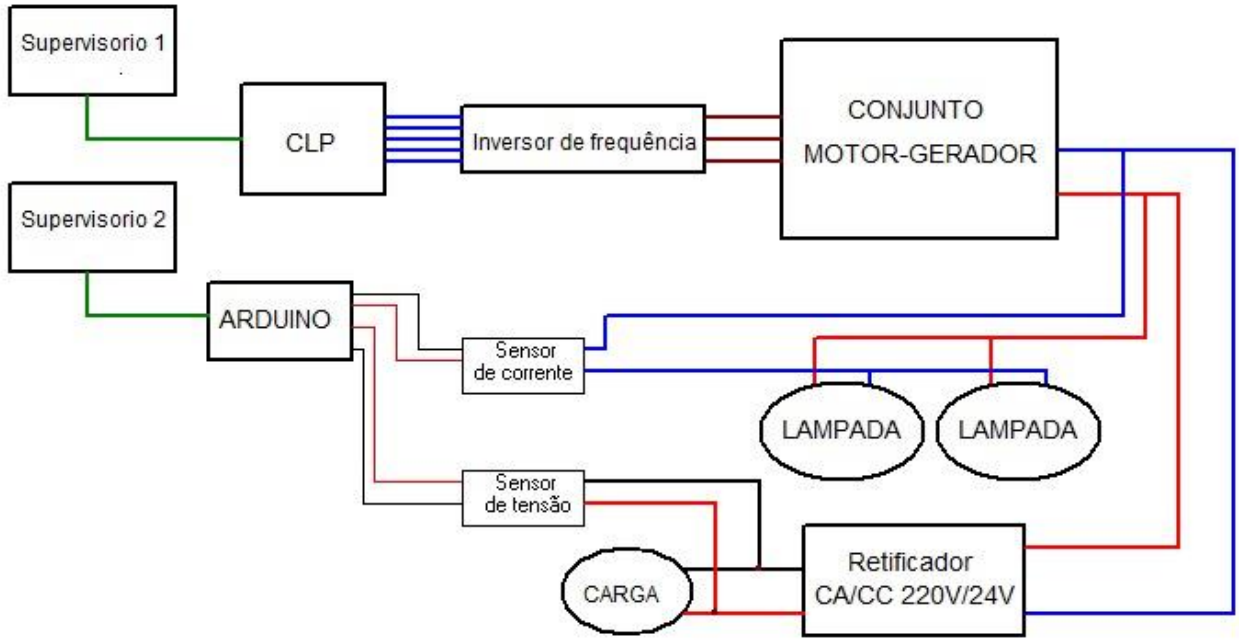
Equipamento	Custo (R$)
Bancada motor-gerador	Disponível no campus
Inversor de frequência CFW11 WEG	Disponível no campus
CLP FX3U 24MR	429,00
Arduino UNO R3 + cabo USB	49,00
2 Sensor de Corrente ACS712 30A	47,90
2 Módulos Sensor De Tensão DC 0-25V	25,80
Notebook	-
2 Lâmpadas fluorescente de 60W	24,60
Fonte Chaveada 220VCA/24VCC 10A	43,50
Ponte Retificadora a diodo RS407 4A	11,90
Custo Total= 631,70 R$	

Fonte: Autores (2024).

O Grupo de alunos (Guiseppe, Heriliany e Fátima- GHF Tecnologia) executou a montagem elétrica, a parametrização do inversor de frequência, a programação do controlador lógico programável (CLP) e desenvolveu duas aplicações de SCADA.

A primeira aplicação SCADA utilizou o software VTScada Ligth da Delta Electronics, para o acionamento do motor de indução, por meio das saídas digitais do CLP, o inversor CW11 WEG, irá operar no ciclo de múltiplas velocidades (08 velocidades definidas), variando de 3-60Hz, o que equivale a uma geração de 0,5-250V_{CA} alimentando as lâmpadas. Já o segundo sistema de supervisão utilizou o software Elipse SCADA DEMO, para monitorar a tensão, a corrente e potência elétrica gerada. Como o sensor de tensão mede apenas em CC, foi montado um retificador CA-CC para alimentar cargas CC (motor de 12V), foi usado um transformador abaixador (220-24V_{CA}) antes do retificador. Na Figura 1 é ilustrado o diagrama sinóptico de comando e supervisão da bancada didática.

Figura 1 – Esquemático geral da supervisão de dados da bancada de geração.



Fonte: Autores (2024).

O protótipo desenvolvido recebe as medições de campo e envia para a aplicação SCADA, onde o monitoramento do processo é realizado localmente. Sendo assim, o microcontrolador Arduino UNO R3 e CLP (controlador lógico programável) modelo FX3U24MR mostraram-se ferramentas muito útil para solucionar o problema que motivou a criação do projeto, já que além de ter um custo baixo e a capacidade de se comunicar via protocolo modbus (RS485), onde a programação do Arduino foi feita através do Arduino Software (IDE) que é uma plataforma eletrônica *Open Source* e a programação do CLP foi feita usando o software GX-Works 3 da Mitsubishi Electric, tornando possível uma grande customização para que se atenda a todos os pré-requisitos do projeto.

Além do protótipo desenvolvido foi confeccionado um guia descrevendo o passo-passo da programação e ligação dos sensores ao microcontrolador para uso por outros alunos e/ ou Instituições de Ensino, o guia está disponível na página eletrônica do Orientador do Trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 2 ilustra a bancada de geração confeccionada e validada pela equipe GHF Tecnologia, o produto é composto por um motor de indução trifásico de 2CV, usado como

máquina primária, que está acoplado ao gerador síncrono de 1,5kVA, 220V_{CA} monofásico, bem como as cargas CA e CC, o acionamento é feito via CLP e inversor de frequência CFW11 WEG, já a instrumentação das grandezas elétricas é feita pelos sensores de tensão e corrente.

Figura 2 (a) – Vista superior do conjunto motor-gerador, do inversor e do CLP FX3U24MR.

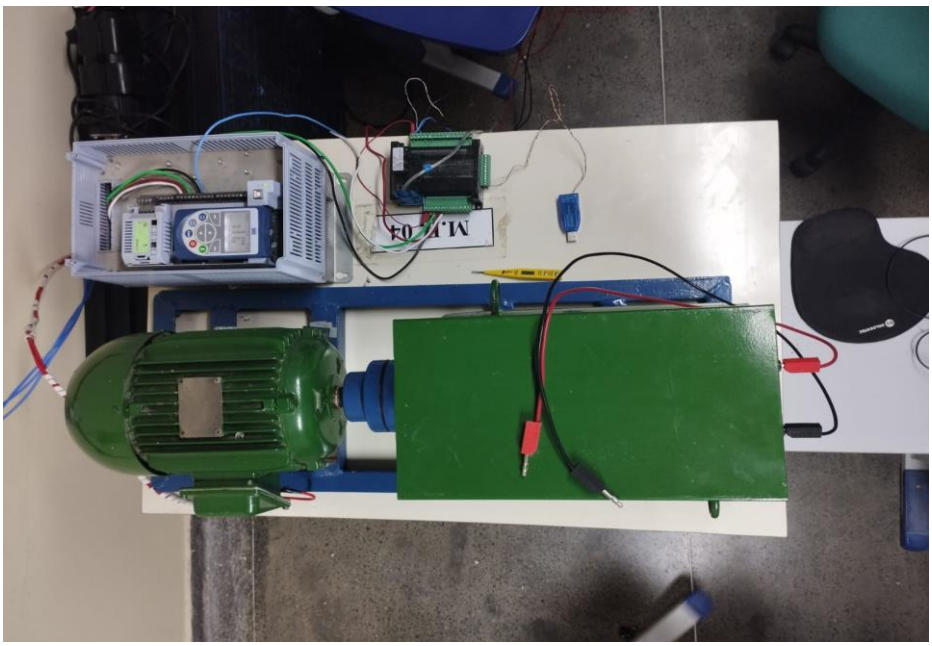
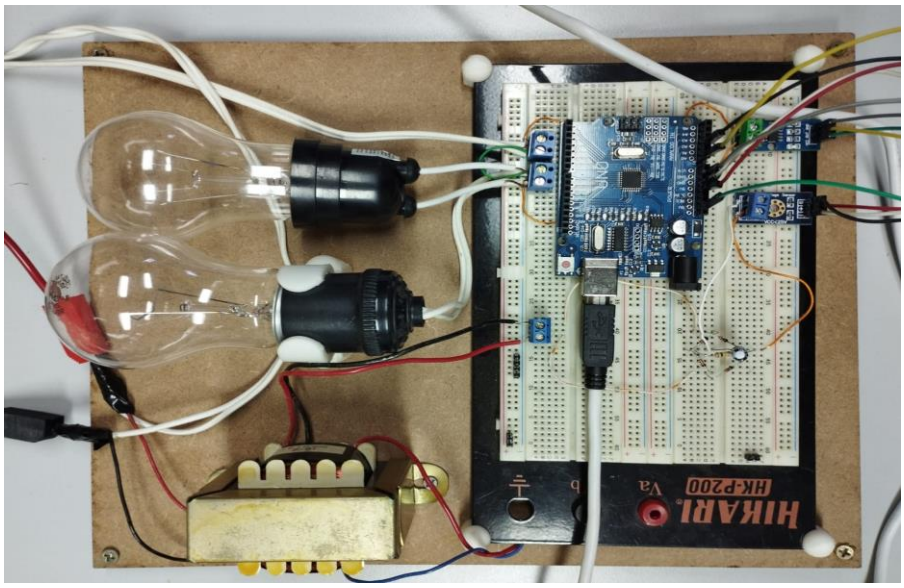


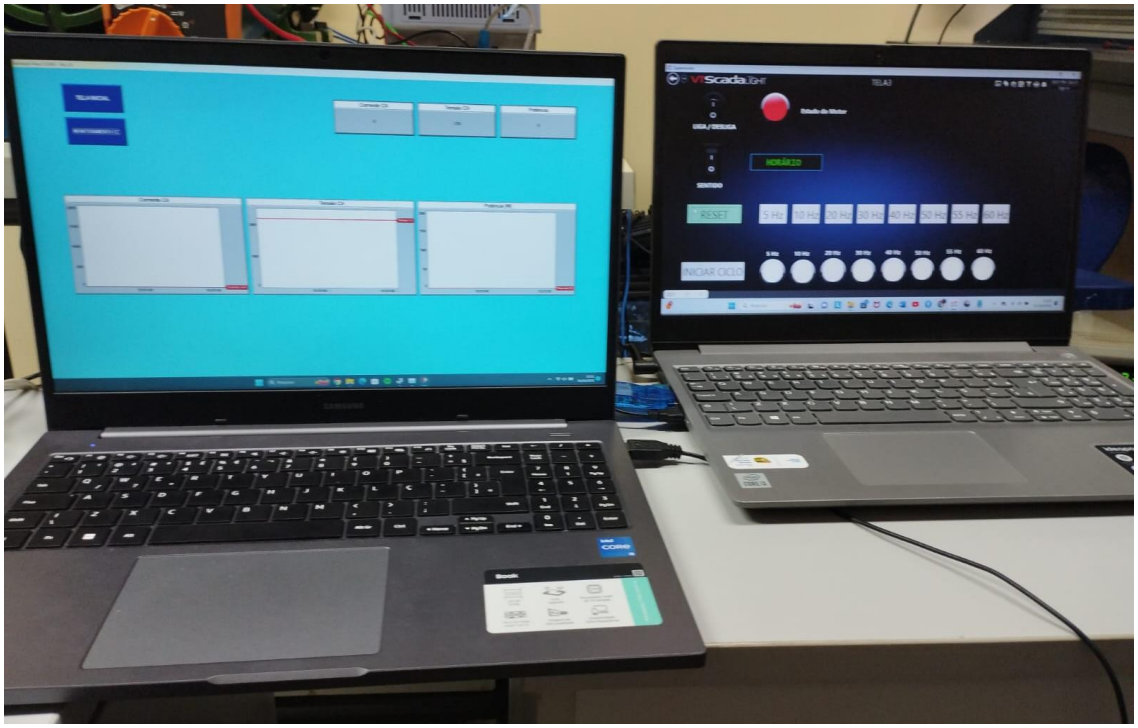
Figura 2 (b) – Detalhes da instrumentação, do transformador abaixador e das cargas CA.



Fonte: Autores (2024).

Na Figura 3 é ilustrada as telas SCADA desenvolvidas para o comando e a supervisão local do protótipo didático. Na tela de comando (computador a esquerda), o usuário escolhe: (a) sentido de giro (horário e anti-horário), (b) ligar e desligar o motor de indução, (c) escolher a velocidade desejado, (d) o motor operar no ciclo em *loop* de múltiplas velocidades. Já na tela de supervisão (computador a direita), o usuário visualiza as grandezas elétricas em formato de gráficos ao longo do tempo, bem como os valores instantâneos. Ambas as telas foram desenvolvidas em softwares versão demonstrativa, o Elipse SCADA Demo com 25 tag's e o VTScada Ligth com 50 tag's.

Figura 3 – Telas de comando (esquerda) e supervisão (direita) da bancada de geração.



Fonte: Autores (2024).

Durante os testes experimentais de validação das aplicações SCADA na operação do processo didático foi observado um atraso no envio / recebimento dos dados de aproximadamente 4 (quatro) segundos, sendo um tempo insignificante quando comparado com a dinâmica da planta de geração elétrica.

A função *multispeed* presente no inversor permite ajustar a velocidade do motor para diferentes configurações pré-definidas. Isso significa que o inversor pode operar o motor em várias velocidades pré-programadas, oferecendo flexibilidade para adaptar o desempenho do motor às necessidades específicas da aplicação. Quando esta configuração foi selecionada na tela de comando, o CLP gerencia as entradas digitais do inversor (S1, S2 e S3), impondo que o inversor CFW11 WEG forneça oito velocidades pré-estabelecidas, os resultados experimentais da potência gerada para este cenário estão ilustrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Produção de energia quando o conjunto motor-gerador opera no modo de múltiplas velocidades.

S1	S2	S3	f	Vel.	V	I	P
0	0	0	5 Hz	150 rpm	0,724 V	2,3 A	1,66 W
0	0	1	40 Hz	1200 rpm	7,95 V	2,6 A	20,67 W
0	1	0	20 Hz	600 rpm	3,66 V	2,6 A	9,52 W
0	1	1	55 Hz	1650 rpm	186,2 V	2,7 A	502 W
1	0	0	10 Hz	300 rpm	1,75 V	2,5 A	4,38 W
1	0	1	50 Hz	1500 rpm	12,35 V	2,6 A	31,11 W
1	1	0	30 Hz	900 rpm	5,98 V	2,6 A	15,55 W
1	1	1	60 Hz	1800 rpm	243 V	2,7 A	656,1 W

Fonte: Autores (2024).

A Tabela 3 ilustra os valores das entradas digitais S1, S2 e S3 (“0” indica o estado desligada e “1” indica o estado ligado), os valores da frequência (f), da velocidade (Vel.), da tensão na saída do gerador (V), da corrente na saída do gerador (I) e da potência (P) gerada. Para esse experimento as cargas utilizadas foram duas lâmpadas CA de 15W cada.

Ao término do componente curricular foi solicitado o preenchimento de um questionário *web* para aferir a satisfação dos discentes para avaliar a metodologia de ensino baseada em projetos. Os resultados da pesquisa de opinião feita com os alunos do 7º período de Engenharia de Controle e Automação do IFPB estão ilustrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Respostas dos alunos ao questionário Web.

Respostas	A%	B%	C%	D%	E%
A execução do projeto contribuiu em minha motivação para a conclusão do curso.	80,0	20,0	0,0	0,0	0,0
O trabalho possui vínculo com o conteúdo teórico da disciplina.	75,0	20,0	5,0	0,0	0,0
A execução do trabalho me motivou no estudo da disciplina.	65,0	30,0	5,0	0,0	0,0
Eu recomendaria a outros discentes cursar a disciplina com a metodologia adotada.	80,0	20,0	0,0	0,0	0,0
O período para a execução dos trabalhos foi adequado.	30,0	35,0	10,0	25,0	0,0
O trabalho contribuiu no desenvolvimento de habilidades para minha formação profissional.	70,0	25,0	5,0	0,0	0,0

A= Concordo Plenamente, B = Concordo, C = Neutro, D = Discordo, E = Discordo Totalmente.

Observando a Tabela 4, percebe-se a metodologia PBL (do inglês, *Problem Based Learning*) foi satisfatória no processo de ensino-aprendizagem. Onde a turma, composta por 12 alunos, experimentou problemas reais do futuro engenheiro, antecipando vivências, houve motivação e desenvolvimento de habilidades, contudo a turma traz que seis meses é um curto período de tempo para a montagem e validação dos protótipos. Certamente é justificável por ser a primeira experiência dos alunos com as metodologias ativas no curso.

6 CONCLUSÕES

A bancada didática de geração de energia (conjunto motor-gerador) desenvolvida possibilitou explorar conceitos de dinâmica de máquinas elétrica, de programação (linguagem C e Ladder) e de sistemas de supervisão SCADA usados nas indústrias. O protótipo construído e validado apresentou dados confiáveis e precisão nas medições, apesar de serem utilizados sensores de baixo custo; sendo uma ferramenta didática de apoio ao ensino-aprendizagem no ensino da Graduação em Engenharia de Controle e Automação.

Os protótipos foram concluídos com sucesso por todas as equipes, que enxergaram aplicações reais da disciplina, um dos desafios da realidade do futuro engenheiro. Pode-se afirmar que a experimentação foi repleta de novas experiências, levando consigo um trabalho em equipe e com segurança, leitura de manuais, elaboração de diagramas elétricos, a experiência ao falar em público, aprendizagem no uso de manuais de equipamentos elétricos, aprendizagem em organização e a guarda de materiais elétricos.

Como trabalhos futuros sugere-se: (a) Construção da supervisão remota dos dados, por meio de website; (b) desenvolver um sistema mestre-escravo para integração das quatro bancadas didáticas de geração; (c) divulgação do produto nas feiras de tecnologias locais; (d) implementar nas aplicações SCADA sistema de alarmes caso haja um mal funcionamento operacional, com envio de mensagem ao operador.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal da Paraíba Campus Cajazeiras.

REFERÊNCIAS

Apresentadas em ordem alfabética e de acordo com a ABNT NBR 6023.

Livros:

Um autor:

MALHOTRA, Naresh. **Pesquisa de marketing: foco na decisão**. 3ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2012.

MARTINS, G. M. **Princípios de automação industrial**. Santa Maria: UFSM, 2012.

NATALE, Ferdinando. **Automação Industrial**. 8ª Edição. São Paulo: Editora Érica, 2006.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 15ª Edição. Atlas, 2014.

Artigos de periódicos:

GOLDBERG, D. E., The Missing Basics & Other Philosophical Reflections for the Transformation of Engineering Education, in **PhilSciArchive**, 2009. Disponível em: <http://philsci-archive.pitt.edu/4551/>; Acesso em 09 de maio de 2024.

GALINDO, J. M. S., *et. al*. Experiências de Aprendizagem Baseado em Projetos no Ensino da Graduação em Engenharia Elétrica. **Revista de Ensino de Engenharia**. Vol. 01, 2019. Disponível em: http://revista.educacao.ws/revista/index.php/abenge/article/view/1753/958. Acesso em: 12/05/2024.

Monografias, dissertações e teses:

MOSTI, L. G. L. **Desenvolvimento de Um Sistema Supervisório SCADA para Controle de Processo de uma Graxaria**. Trabalho de Tecnologia em Mecatrônica Industrial. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

PAULA, V. R. **Aprendizagem baseada em projetos: Estudo de caso em um curso de Engenharia de Produção**. Dissertação de Mestrado, Itajubá, 2017. Disponível em: https://repositorio.unifei.edu.br/xmlui/handle/123456789/679. Acesso em:10/05/2024.

Trabalhos em eventos

FERREIRA, S. A., *et. al*. Projeto Tecnologia Wireless – Bluetooth. **Anais**, II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Rio de Janeiro. 2005. Disponível em: https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos05/16_artigo_Bluetooth.pdf.

Acesso em:14/05/2024.

Internet:
Arduino. **Download IDE Arduino**. Disponível em: https://www.arduino.cc/en/software. Acesso em:10/05/2024.

Elipse Software. **Download Elipse SCADA DEMO**. Disponível em: https://www.elipse.com.br/downloads/?cat=69&key=&language=ptbr. Acesso em:12/06/2024.

Mitsubishi Electric. **Download GX-Works 3**. Disponível em: https://www.mitsubishifa.co.th/en/Software-Detail.php?id=MQ==&vs=update. Acesso em:10/06/2024.

VTScada by Trihedral. **Download do VTScada Ligth**. Disponível em: https://www.vtscada.com/download-vtscada/. Acesso em: 08/05/2024.

Normas:
IEEE Standards**. IEEE 802.15.4: Bluetooth Technology**. New York, 2006.

PROJECT BASED LEARNING IN THE DISCIPLINE OF ELECTRICAL MACHINES IN THE UNDERGRADUATE DEGREE IN CONTROL AND AUTOMATION ENGINEERING

Abstract: *The paper reports the experiences acquired by students in the discipline of Electrical Machines when applying the project-based learning methodology The class was divided into four groups to develop four real prototypes on a laboratory scale throughout the 2023.2 semester, where the evaluation was based on the experimental results obtained during the assemblies. The activity consisted of the creation and validation of a didactic power generation plant with a local command and supervision system. Taking the synchronous alternator as the generator. The instrumentation used voltage and current sensors and the Arduino UNO R3 board as the digital acquisition system. The primary machine was activated using the CFW11 WEG inverter, operating in multispeed mode, managed by the FX3U24MR PLC. The experimental results demonstrate the effectiveness of the developed SCADA systems, with a latency rate of 4 seconds. As well as a power generation curve proportional to the inverter frequency (V/f control). The proposed methodology can be used as a tool to combat student dropout/retention in undergraduate students, where the student becomes the active agent in the teaching-learning process.*

Keywords: *Didactic prototype, Active learning, SCADA systems, Power generation.*