



TECNOLOGIA 3D NO ENSINO DE MÁQUINAS DE CORRENTECONTÍNUA: MODELAGEM E IMPRESSÃO DE MODELOS DIDÁTICOSPARA MELHORAR O PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6171

Autores: ENZO MANDELLI PINHEIRO RODRIGUES, ROSIANE RIBEIRO ROCHA, ÍCARO LESSA SECCHIN, GABRIEL TOZATTO ZAGO

Resumo: Este artigo explora o uso da tecnologia 3D no ensino de máquinas de corrente contínua (CC). O texto aborda os desafios do ensino tradicional de motores CC devido à complexidade de seus componentes e princípios de funcionamento. Propõe a modelagem e impressão 3D de modelos didáticos como uma ferramenta inovadora para superar essas dificuldades. A pesquisa discute como a visualização concreta da estrutura interna dos motores CC através de modelos físicos pode melhorar a compreensão e o engajamento dos alunos. Detalha o processo de modelagem e impressão 3D, desde o projeto digital até o pós-processamento, e destaca os benefícios pedagógicos de abordagens de aprendizado mais ativas que modelos físicos proporcionam. O objetivo final é demonstrar como o uso de modelos 3D pode otimizar a eficácia do processo de ensino-aprendizagem em engenharia elétrica.

Palavras-chave: Ensino-Aprendizagem, Impressão 3D, Máquinas Elétricas

TECNOLOGIA 3D NO ENSINO DE MÁQUINAS DE CORRENTE CONTÍNUA: MODELAGEM E IMPRESSÃO DE MODELOS DIDÁTICOS PARA MELHORAR O PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM

1 INTRODUÇÃO

O ensino de máquinas elétricas, particularmente os motores de corrente contínua (CC), frequentemente apresenta desafios para os estudantes devido à complexidade de seus componentes internos, princípios de funcionamento e a abstração envolvida na visualização dos processos eletromagnéticos Nuno and Marques (2009). Métodos tradicionais de ensino, como diagramas esquemáticos e modelos estáticos, podem não ser suficientes para proporcionar uma compreensão intuitiva e completa desses equipamentos, limitando a assimilação do conhecimento e o desenvolvimento de habilidades práticas Maiz et al. (2007).

Nesse contexto, a tecnologia de modelagem e impressão 3D emerge como uma ferramenta pedagógica inovadora com o potencial de transformar o processo de ensino-aprendizagem, (Huang et al. 2015). A capacidade de criar modelos físicos tridimensionais detalhados permite aos estudantes visualizarem concretamente a estrutura interna dos motores CC, facilitando a compreensão da disposição de seus elementos, como o rotor (armadura), estator (campo), escovas, comutador e enrolamentos Zombori and Kuczmann (2017). Esta abordagem tátil e visual demonstra um avanço significativo em relação aos recursos bidimensionais estáticos, promovendo uma percepção espacial mais apurada e uma conexão mais profunda com os conteúdos.

Este artigo explora a aplicação da tecnologia 3D no ensino de máquinas de corrente contínua, com foco na modelagem e impressão de modelos didáticos. O objetivo principal é discutir como a criação de representações físicas tangíveis pode melhorar significativamente a visualização dos conceitos teóricos, o engajamento dos alunos e, consequentemente, a eficácia do processo de ensino-aprendizagem. Serão abordados os benefícios pedagógicos da utilização de modelos 3D, o processo de modelagem e impressão, e o potencial dessa tecnologia para superar as limitações dos métodos de ensino convencionais, Estevez et al. (2010).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Máquinas de Corrente Contínua: Princípios e Componentes

As máquinas de corrente contínua (CC) operam sob o princípio fundamental da indução eletromagnética, um fenômeno físico onde um campo magnético variável induz uma força eletromotriz (FEM) em um condutor elétrico Fitzgerald et al. (2003); Chapman (2005). Nos motores CC, esse princípio é aplicado para converter energia elétrica em energia mecânica. Ao aplicar uma tensão contínua aos terminais do motor, uma corrente elétrica flui através de seus enrolamentos, gerando campos magnéticos que interagem para produzir torque. Nos geradores CC, o processo é inverso: uma força mecânica externa é aplicada para girar o rotor dentro de um campo magnético, induzindo uma FEM nos enrolamentos e, consequentemente, gerando corrente elétrica.

Um motor CC básico é composto por dois conjuntos principais de componentes magnéticos: o estator e o rotor (armadura) Sen (1997). Estator (Campo) O estator é a parte estacionária do motor e sua função primordial é estabelecer um campo magnético fixo no espaço. Esse campo pode ser criado de duas maneiras principais: utilizando ímãs permanentes, que oferecem um campo magnético constante sem a necessidade de alimentação externa, sendo comuns em motores menores e de menor potência; ou empregando bobinas de campo (eletroímãs), que consistem em enrolamentos de fio condutor ao redor de núcleos ferromagnéticos. Ao passar corrente elétrica por essas bobinas, um campo magnético é gerado, cuja intensidade e polaridade podem ser controladas pela corrente de excitação, permitindo variar as características do motor Theraja and Theraja (2005).

Rotor (Armadura), é a parte rotativa do motor, montada sobre um eixo e posicionada dentro do campo magnético estabelecido pelo estator. É na armadura que as forças eletromagnéticas são induzidas e onde a conversão de energia efetivamente ocorre. A armadura é tipicamente construída com um núcleo de ferro laminado para minimizar as perdas por correntes parasitas (correntes de Foucault) e possui enrolamentos condutores, geralmente feitos de fio de cobre isolado, cuidadosamente dispostos em ranhuras ao longo de sua superfície. Esses enrolamentos são o circuito através do qual a corrente elétrica flui e interage com o campo magnético do estator para gerar a força motora Rashid (2004).

Comutador e Escovas, O comutador é um anel cilíndrico segmentado, feito de material condutor e isolado entre os segmentos, montado no mesmo eixo do rotor e conectado eletricamente aos diferentes enrolamentos da armadura. As escovas são contatos estacionários, geralmente feitos de carvão ou grafite, que deslizam sobre a superfície do comutador à medida que ele gira. A principal função do comutador e das escovas é inverter a direção da corrente elétrica nos enrolamentos da armadura Hughes (2008). Essa inversão sincronizada da corrente garante que a polaridade do campo magnético gerado pela armadura se mantenha sempre orientada de forma a produzir um torque contínuo na mesma direção, impulsionando a rotação do motor.

Enrolamentos, tanto no estator quanto no rotor, são os caminhos condutores essenciais para a criação dos campos magnéticos e para a condução da corrente elétrica. Os enrolamentos do estator (bobinas de campo) são responsáveis por estabelecer o campo magnético principal. Os enrolamentos do rotor (armadura) são onde a corrente interage com esse campo para produzir o torque (nos motores) ou onde a FEM é induzida pelo movimento através do campo (nos geradores). A maneira como esses enrolamentos são projetados e conectados influencia diretamente as características de desempenho da máquina, como a relação entre torque e velocidade, a capacidade de partida e a eficiência Nagrath and Kothari (2003).

A compreensão da disposição espacial dos componentes de um motor CC como o estator envolve o rotor, como as escovas fazem contato com o comutador e como os enrolamentos estão distribuídos e da interação funcional entre eles como a corrente flui, como os campos magnéticos se influenciam e como o comutador e as escovas garantem a continuidade do torque é absolutamente fundamental para o entendimento completo do funcionamento dessas máquinas versáteis e amplamente utilizadas Theraja and Theraja (2005).

2.2 Tecnologia de Modelagem e Impressão 3D no Ensino

A tecnologia 3D revolucionou diversas áreas, incluindo a educação. A modelagem 3D permite a criação de representações digitais tridimensionais de objetos. Já a impressão 3D transforma esses modelos digitais em objetos físicos tangíveis. No contexto educacional, essa tecnologia oferece diversas vantagens como é descrito no artigo "Lets get Fisical" Meacci et al. (2013), tornando o processo de ensino-aprendizagem em algo mais ativo. Isso no ramo da pedagogia é amplamente reconhecido por ser um método mais eficaz do que o ensino passivo, sendo analisar e aplicar hierarquizado por Bloom et al. (1956) como mais eficiente do que ouvir e entender. São algumas vantagens de modelos físicos:

- **Visualização Concreta:** Modelos 3D proporcionam uma representação física de conceitos abstratos, facilitando a compreensão.
- **Engajamento Aprimorado:** Objetos físicos interativos podem aumentar o interesse e o engajamento dos estudantes com o material de aprendizado.
- **Aprendizagem Ativa:** A manipulação de modelos físicos permite uma aprendizagem mais ativa e experimental.
- **Personalização do Aprendizado:** Modelos podem ser adaptados para diferentes níveis de aprendizado e necessidades específicas.
- **Redução de Custos:** Em alguns casos, a impressão 3D pode ser uma alternativa mais econômica à aquisição de modelos comerciais.

A aplicação da tecnologia 3D no ensino pode superar as dificuldades de visualização de equipamentos complexos como os motores CC.

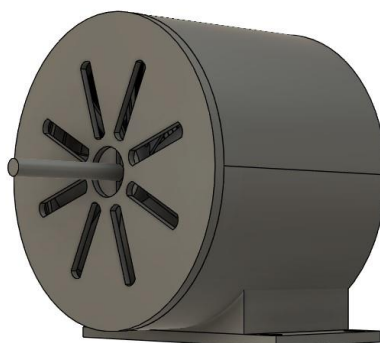
3 MODELAGEM 3D DE MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA

O processo de criação de modelos didáticos de motores CC utilizando tecnologia 3D envolve as seguintes etapas:

3.1 Projeto e Modelagem Digital

A primeira etapa consiste na criação de um modelo digital tridimensional do motor CC utilizando softwares de modelagem CAD (Computer-Aided Design). Existem diversas opções de softwares, desde ferramentas gratuitas e de código aberto até softwares profissionais. O projeto do modelo deve considerar: O modelo em si serve como uma ferramenta de ensino por já se tratar de uma representação mais real, e mais próxima do aluno já permitindo um certo nível de interação e assim tornando mais fácil a compreensão do aluno. (figura 1) Sobre o nível de detalhe O modelo pode variar em complexidade, desde representações

Figura 1: Imagem de um modelo 3D de um motor CC.



Fonte: Autoria Própria

simplificadas dos componentes principais até modelos altamente detalhados, mas para fins didáticos, é um modelo que permita a visualização clara dos componentes e de suas interações. A escala do modelo deve ser adequada para manipulação em sala de aula e para que seja perceptível os elementos do motor e suas interações.

O projeto inclui cortes e seções transversais que revelam a estrutura interna do motor e a disposição dos componentes de forma a facilitar a visualização do modelo (figura 2)

Figura 2: Imagem de um modelo 3D de um motor CC.



Fonte: Autoria Própria

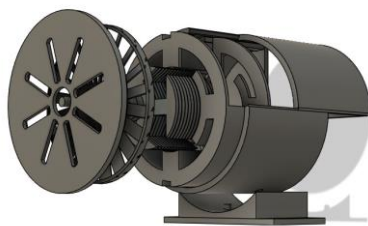
O projeto do modelo foi feito de forma que alguns componentes possam ser removidos ou montados de forma a auxiliar na compreensão do funcionamento de um motor real, e de forma a se tornar simples para um educador mostrar as peças que compõem o motor. (figura 3)

Durante a modelagem, é crucial garantir a precisão dimensional dos componentes para que o modelo impresso seja uma representação fiel do motor real, dentro das limitações e da escala escolhida.

3.2 Preparação para Impressão

Após a conclusão do modelo digital, o arquivo é exportado para um formato compatível com um software de "slicing" que é utilizado para preparar o arquivo para a impressão. Este software divide o modelo 3D em finas camadas horizontais e define os parâmetros de impressão que envolvem os materiais de impressão que são diversos, como PLA (ácido polilático) e ABS (acrilonitrila butadieno estireno), cada um com suas

Figura 3: Imagem de uma vista explodida de um modelo 3D de um motor CC.



Fonte: Autoria Própria

propriedades e custos. Para modelos didáticos, o PLA é frequentemente preferido por ser de mais fácil impressão e menos tóxico. Envolver também a altura da camada é o que define a espessura de cada camada impressa. Camadas menores resultam em maior qualidade superficial, mas aumentam o tempo de impressão. Outro parâmetro importante é o preenchimento, que controla a densidade interna do objeto impresso. Um preenchimento maior torna o modelo mais resistente, mas aumenta o consumo de material e o tempo de impressão, e os suportes são estruturas temporárias impressas para apoiar partes do modelo que estão suspensas durante a impressão. Devem ser removidas após a conclusão da impressão.

3.3 Impressão 3D e Pós-Processamento

A etapa final envolve a impressão do modelo 3D utilizando uma impressora 3D. O tempo de impressão pode variar significativamente dependendo da complexidade, tamanho e parâmetros de impressão do modelo. Após a conclusão da impressão, pode ser necessário realizar um pós-processamento, que pode incluir:

- **Remoção de Suportes:** Remoção cuidadosa das estruturas de suporte impressas.
- **Limpeza:** Remoção de quaisquer resíduos ou imperfeições da impressão.
- **Montagem:** Montagem das partes separadas do modelo.

O resultado é um modelo físico tridimensional do motor CC que pode ser utilizado como ferramenta didática em sala de aula.

4 BENEFÍCIOS PEDAGÓGICOS DA UTILIZAÇÃO DE MODELOS 3D

A utilização de modelos 3D impressos no ensino de máquinas de corrente contínua oferece diversos benefícios pedagógicos que podem melhorar significativamente o processo de ensino-aprendizagem. O ensino-aprendizado ativo é amplamente reconhecido na pedagogia que se caracteriza por alguns elementos como interagir, analisar, avaliar, criar, é mais eficaz do que um passivo que consiste em ouvir e entender. e isso é amplamente explorado em obras como as de Bloom et al. (1956) e Freeman et al. (2014) e, com o avanço em tecnologias como a manufatura aditiva, máquinas como impressoras 3D começam a se tornar acessíveis e podem ser utilizadas como ferramentas no ensino. A melhoria da visualização de Modelos 3D e físicos permitem que os estudantes visualizem a estrutura interna complexa do motor de forma tangível, superando a dificuldade de compreensão através de diagramas bidimensionais. A capacidade de manipular o modelo,

observar diferentes ângulos e até mesmo desmontar partes facilita a compreensão da disposição dos componentes e suas interconexões. Essa vantagem da manipulação física sobre representações bidimensionais é reforçada por estudos que mostram que "modelos físicos podem ter uma vantagem significativa sobre recursos de aprendizagem alternativos no aprimoramento da compreensão viso espacial e 3D de arquiteturas anatômicas complexas" Meacci et al. (2013).

Aumento do engajamento e motivação seriam consequências da novidade e o caráter interativo dos modelos 3D podem aumentar o interesse e a motivação dos estudantes. A possibilidade de "tocar" e "explorar" o objeto de estudo torna o aprendizado mais dinâmico e menos passivo. A experiência tátil proporcionada pelos modelos físicos contribui para um engajamento mais profundo com o material de aprendizado.

Facilitação da Compreensão de Conceitos Abstratos: Conceitos como o fluxo magnético, a comutação da corrente e a interação entre os campos magnéticos tornam-se mais concretos quando visualizados em um modelo físico. A representação espacial dos enrolamentos e do comutador, por exemplo, pode ajudar os alunos a entenderem o processo de inversão da corrente. A capacidade de visualizar e manipular um modelo físico pode traduzir conceitos abstratos em algo tangível e compreensível, um benefício destacado na aprendizagem de anatomia com modelos físicos.

A utilização de modelos 3D promove uma aprendizagem mais ativa, onde os estudantes podem explorar, questionar e construir seu conhecimento de forma mais independente. A possibilidade de montar e desmontar modelos permite uma experiência de aprendizado mais hands-on, o que, segundo Meacci et al. (2013), leva a um melhor desempenho na identificação de estruturas complexas.

A combinação da visualização concreta com a manipulação física pode levar a uma melhor retenção do conhecimento a longo prazo. A experiência multissensorial proporcionada pelos modelos 3D fortalece a memória e a compreensão. A interação física com modelos, como demonstrado no estudo de Meacci et al. (2013), pode contribuir para uma codificação mais eficaz das informações na memória.

A Redução da barreira de aprendizagem para estudantes com diferentes estilos de aprendizagem, os modelos 3D podem oferecer uma via alternativa para a compreensão, especialmente para aqueles que se beneficiam de recursos visuais e cinestésicos. A natureza tridimensional e manipulável dos modelos atende a diferentes modalidades de aprendizado, potencialmente superando as limitações de abordagens puramente textuais ou imagéticas como visto no trabalho de Bloom et al., 1956.

Preparação para a prática profissional, a familiaridade com modelos físicos detalhados pode preparar melhor os estudantes para lidar com máquinas reais em ambientes industriais. A visualização da disposição dos componentes e das possíveis áreas de manutenção torna-se mais intuitiva. A compreensão espacial aprimorada pelo uso de modelos físicos pode facilitar a transição para a prática profissional, permitindo uma melhor interpretação de equipamentos reais.

5 O MODELO:

Com todos os benefícios vistos foi projetado um modelo didático de motor DC do qual junta aspectos como um detalhamento que traz de forma simplificada os componentes do motor DC, assim foi se recriado os componentes que facilitam a visualização de forma a se focar na didática. (figura 4).

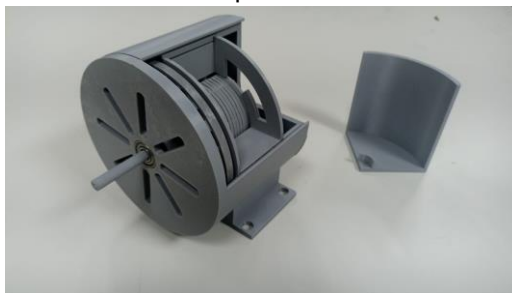
Figura 4: Foto de um motor CC impresso em 3D.



Fonte: Autoria Própria

A forma seccionada do motor foi feita para que suas partes internas possam ser vistas de forma a não ser necessário desmontá-lo assim sendo possível ver também como uma peça interage com outra. (figuras 5, 6).

Figura 5: Foto de um motor impresso em 3D seccionado na lateral.



Fonte: Autoria Própria

Figura 6: Foto da traseira de um motor impresso em 3D seccionado na lateral.



Fonte: Autoria Própria

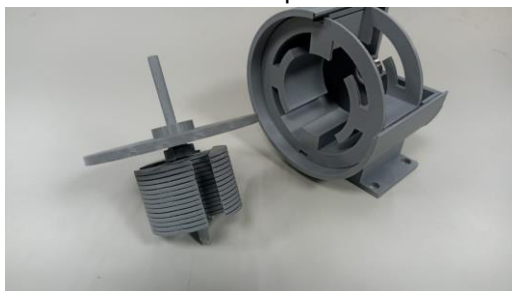
O modelo foi criado de modo que também pode ser desmontado e remontado facilmente sendo assim possível interagir com cada componente isoladamente tornando mais fácil não só o entendimento de peças individuais como facilitando o ensino delas. (figuras 7, 8, 9).

Figura 7: Foto de um motor impresso em 3D sem sua tampa frontal.



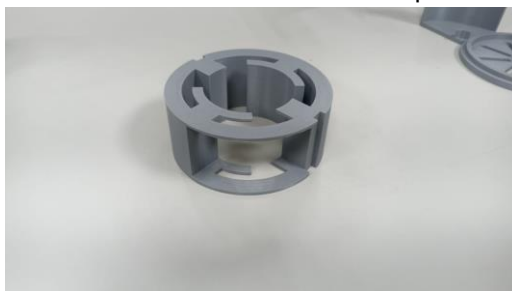
Fonte: Autoria Própria

Figura 8: Foto de um motor impresso em 3D desmontado



Fonte: Autoria Própria

Figura 9: Foto da armadura do motor impresso em 3D.



Fonte: Autoria Própria

6 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A tecnologia de modelagem e impressão 3D apresenta um potencial significativo para revolucionar o ensino de máquinas de corrente contínua. A capacidade de criar modelos didáticos tridimensionais detalhados oferece uma abordagem pedagógica inovadora que supera as limitações dos métodos tradicionais. Ao proporcionar uma visualização concreta dos componentes internos e do funcionamento dos motores CC, os modelos 3D podem aumentar o engajamento dos estudantes, facilitar a compreensão de conceitos abstratos, promover a aprendizagem ativa e, conseqüentemente, melhorar a eficácia do processo de ensino-aprendizagem.

A implementação dessa tecnologia requer um investimento inicial em impressoras 3D e materiais, além do tempo dedicado ao projeto e impressão dos modelos. No entanto, os benefícios a longo prazo para a qualidade da educação justificam esse investimento. À medida que a tecnologia 3D se torna mais acessível e as ferramentas de modelagem se tornam mais intuitivas, espera-se uma adoção cada vez maior dessa abordagem inovadora

no ensino de máquinas elétricas e em outras áreas da engenharia. A exploração contínua das potencialidades da tecnologia 3D no ensino pode abrir novas fronteiras para a formação de profissionais mais capacitados e com uma compreensão mais profunda dos princípios de engenharia.

Os trabalhos futuros previstos envolvem, primordialmente, a aplicação e avaliação do modelo desenvolvido, tanto em sua representação física quanto em sua versão tridimensional digital, no contexto do processo de ensino-aprendizagem. O objetivo central é analisar e relatar os impactos e a eficácia dessas abordagens inovadoras na compreensão e assimilação de conceitos.

REFERÊNCIAS

- Bloom, B. S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., and Krathwohl, D. R. (1956). ***Taxonomy of educational objectives, handbook I: cognitive domain***. David McKay Co Inc, New York.
- Chapman, S. J. (2005). ***Electric Machinery Fundamentals***. McGraw-Hill, 4th edition.
- Estevez, M. E., Echeverria, J. C., Chiva, J. P., Escrivá, M. J., Guisasola, A., Carrascosa, J. M., Garcia-Sanz, M., and Fernandez-Pajin, J. F. (2010). **A novel three-dimensional tool for teaching human neuroanatomy**. *Anatomical Sciences Education*, 3(6):273–278.
- Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., and Umans, S. D. (2003). ***Electric Machinery***. McGraw-Hill, 6th edition.
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., and Wenderoth, M. P. (2014). **Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics**. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23).
- Huang, Y. H., Chen, C. H., and Wu, Y. S. (2015). **Enhancing Learning Effectiveness by Using 3D Printing Technology in Engineering Education**. *International Journal of Modern Education and Computer Science*, 7(6):1–8.
- Hughes, E. (2008). ***Hughes' Electrical and Electronic Technology***. Pearson Education, 10th edition.
- Maiz, A. D., Kothari, D. P., and Dhaliwal, N. S. (2007). **Role of Laboratory in Electrical Engineering Education**. In *2007 IEEE International Conference on Telecommunications and Malaysia International Conference on Communications*, pages 1–6.
- Meacci, F., Vannucci, A., and Talina, R. (2013). **Let's get physical: advantages of a physical model over 3D computer models and textbooks in learning imaging anatomy**. *BMC medical education*, 13(1):104.
- Nagrath, I. J. and Kothari, D. P. (2003). ***Electric Machines***. Tata McGraw-Hill, 3rd edition.
- Nuno, S. and Marques, M. (2009). **An Innovative Teaching Approach in Electrical Machines**. In *2009 39th IEEE Frontiers in Education Conference*, pages 1–6.
- Rashid, M. H. (2004). ***Power Electronics Handbook***. Academic Press, 2nd edition.
- Sen, P. C. (1997). ***Principles of Electric Machines and Power Electronics***. John Wiley Sons, 2nd edition.

Theraja, B. L. and Theraja, A. K. (2005). **A Textbook of Electrical Technology: Volume II - AC DC Machines**. S. Chand Company, 23rd edition.

Zombori, Z. and Kuczmann, M. (2017). **Application of 3D printed models in teaching electromagnetic phenomena**. *Procedia Computer Science*, 109:458–464.

3D TECHNOLOGY IN THE TEACHING OF DIRECT CURRENT MACHINES: MODELING AND PRINTING OF DIDACTIC MODELS TO IMPROVE THE TEACHING- LEARNING PROCESS

Abstract: *This article explores the use of 3D technology in teaching direct current (DC) machines. The text addresses the challenges of traditional DC motor education due to the complexity of their components and operating principles. It proposes the 3D modeling and printing of didactic models as an innovative tool to overcome these difficulties. The research discusses how the concrete visualization of the internal structure of DC motors through physical models can improve student comprehension and engagement. It details the 3D modeling and printing process, from digital design to post-processing, and highlights the pedagogical benefits of more active learning approaches that physical models provide. The ultimate goal is to demonstrate how the use of 3D models can optimize the effectiveness of the teaching-learning process in electrical engineering.*

Keywords: *Teaching-Learning, 3D Printing, Electrical Machines.*

