



TECNOLOGIA 3D NO ENSINO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS: MODELAGEM E IMPRESSÃO DE MODELOS DIDÁTICOS PARA MELHORAR O PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM.

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6172

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

Resumo: Este trabalho propõe o uso da modelagem e impressão 3D como recurso didático no ensino de motores de indução trifásicos, enfrentando as dificuldades de compreensão e acesso a equipamentos reais em cursos técnicos e de engenharia. Foram desenvolvidos modelos físicos desmontáveis utilizando o software Fusion 360 e impressos em ABS, permitindo visualização interna e manipulação segura dos componentes. A proposta visa facilitar a assimilação de conceitos eletromagnéticos complexos, aumentar o engajamento dos alunos e reduzir a evasão. Os resultados preliminares demonstram forte potencial pedagógico, acessibilidade e aplicabilidade em diversos contextos educacionais.

Palavras-chave: Modelagem 3D, Motores de Indução, Educação Técnica

TECNOLOGIA 3D NO ENSINO DE MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS: MODELAGEM E IMPRESSÃO DE MODELOS DIDÁTICOS PARA MELHORAR O PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM

1 INTRODUÇÃO

A formação em engenharia e áreas técnicas no Brasil enfrenta desafios significativos, resultando na escassez de profissionais qualificados. A natureza complexa e multidisciplinar destas disciplinas, aliada à rápida evolução tecnológica, dificulta a compreensão de conceitos abstratos, como as relações eletromagnéticas em máquinas elétricas, contribuindo para altos índices de evasão (ABENGE). Neste contexto, as máquinas de corrente alternada (CA), incluindo motores síncronos e de indução trifásicos, são cruciais pela sua vasta aplicação industrial em virtualmente todos os setores, tornando a compreensão de seus princípios operacionais vital para futuros profissionais.

Diante das limitações de abordagens puramente teóricas ou animações 2D na elucidação de fenômenos tridimensionais (SUN; LI, 2017), modelos físicos emergem como materiais didáticos inovadores. Sua representação tangível e tátil permite que estudantes visualizem e manipulem componentes, explorando a interação entre diferentes partes de um sistema de maneira intuitiva e direta (Universo *STEM*, 2024). A facilidade de transporte de modelos impressos em 3D diretamente para a sala de aula revoluciona o ensino, tornando acessível a demonstração de conceitos que seriam extremamente complexos ou inviáveis em situações normais. Essa interação física não apenas facilita a compreensão de conceitos abstratos, mas também reforça a retenção e memorização, tornando o aprendizado mais envolvente e motivador.

Este trabalho propõe uma solução transformadora para o ensino de motores CA: o desenvolvimento de modelos didáticos inovadores utilizando tecnologias da Indústria 4.0, com foco na modelagem e impressão 3D (Selbetti, 2022). Ao criar representações físicas interativas de máquinas síncronas e motores de indução trifásicos, o projeto visa aprimorar a visualização e a compreensão, aumentar o engajamento dos estudantes e, conseqüentemente, auxiliar na redução da evasão. Representa um avanço na superação das barreiras do ensino técnico, conectando teoria e prática de forma inovadora.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O ensino em engenharia e nas áreas técnicas enfrenta desafios significativos na atualidade. A complexidade e a natureza multidisciplinar destas formações exigem uma base sólida em ciências fundamentais como a matemática, a física e a química. Somado a isso, a rápida e contínua evolução tecnológica impõe uma constante necessidade de atualização curricular e de métodos pedagógicos. Este cenário complexo, por vezes, contribui para a dificuldade na assimilação de certos conteúdos e pode impactar a motivação dos estudantes.

Esses fatores, combinados com outros, culminam em índices consideráveis de evasão nos cursos tecnológicos. A busca por métodos de ensino mais eficazes e envolventes é, portanto, essencial para a formação de profissionais qualificados e para suprir a demanda do mercado de trabalho nestas áreas estratégicas para o desenvolvimento do país.

Neste contexto, as máquinas elétricas desempenham um papel central, sendo componentes cruciais em praticamente todos os setores da indústria moderna (Grupo JAV, 2020). Dentre elas, as máquinas de corrente alternada (CA) se destacam, englobando máquinas síncronas, fundamentais em aplicações de alta potência e controle preciso como geração de energia, e motores de indução trifásicos, a força motriz por trás de inúmeros processos industriais e sistemas automatizados. Apesar de sua fundamental importância e vasta aplicação, a complexidade e o porte dessas máquinas, bem como seus custos, frequentemente tornam seu acesso direto em ambientes educacionais um desafio considerável. Exemplos destas máquinas estão presentes nos laboratórios do Ifes Campus Serra, representando a realidade dos equipamentos industriais. Contudo, sua mobilidade é restrita ao ambiente laboratorial.

Além da limitação de acesso físico, a visualização de detalhes internos essenciais para a compreensão, como a estrutura da gaiola de esquilo em motores de indução (frequentemente oculta por uma capa metálica irremovível), pode ser comprometida mesmo em modelos de laboratório didáticos. Essa combinação de fatores de dificuldade de acesso à sala de aula e limitações na visualização interna justifica a busca por abordagens didáticas alternativas. Para ilustrar a aparência destas máquinas reais disponíveis no campus, apresentamos as Figura 1 e 2, mostrando exemplos de peças um motor de indução trifásico próprio para o ensino. Compreender a fundo seus princípios construtivos e de funcionamento é, portanto, essencial, e a dificuldade de acesso a modelos reais que permitam a exploração de seus detalhes físicos robustece a necessidade de alternativas didáticas eficazes.

Figura 1: Foto do estator de um motor de Corrente Alternada (CA).



Fonte: Autoria Própria.

Tradicionalmente, o ensino de conceitos relacionados a máquinas elétricas frequentemente recorre a diagramas bidimensionais ou animações. Embora possuam valor, estas ferramentas podem não capturar totalmente a complexidade tridimensional e as

interações físicas e eletromagnéticas inerentes a estas máquinas de forma plenamente eficaz. Em contrapartida, modelos físicos despontam como ferramentas pedagógicas de grande potencial, capazes de proporcionar uma compreensão mais profunda de conceitos abstratos. A principal vantagem de um modelo físico reside em sua representação tangível e tátil. Sendo objetos tridimensionais, eles podem ser manipulados, observados de múltiplos ângulos, permitindo ao estudante uma interação direta e intuitiva com o objeto de estudo. Essa capacidade tátil, possibilita alcançar um nível mais profundo de compreensão do que o proporcionado por representações bidimensionais. A interação física inerente aos modelos reforça conceitos-chave, facilitando sua memorização e aplicação prática (Universo *STEM*, 2024).

Figura 2: Foto do rotor de um motor de Corrente Alternada (CA).



Fonte: Autoria Própria.

Adicionalmente, modelos físicos permitem a visualização clara da interação entre as diferentes partes de um sistema. Podem, ainda, incorporar detalhes intrincados, como partes móveis ou mecanismos internos, ilustrando o funcionamento de maneira que as animações simplificadas podem não ser capazes de apresentar. Esta abordagem manipulável e intuitiva oferece uma forma mais natural de explorar e experimentar o conceito, configurando-se como uma ferramenta valiosa para desmistificar complexidades.

Neste cenário promissor, a modelagem e a impressão 3D consolidam-se como tecnologias com potencial transformador no campo da educação. A modelagem 3D auxilia estudantes na compreensão de conceitos complexos e na visualização de ideias abstratas, oferecendo uma experiência prática que aprimora as habilidades de resolução de problemas (PINGER; GEIGER; SPENCE, 2020). Estudos reforçam que modelos 3D podem melhorar significativamente a compreensão dos alunos de tópicos difíceis, incluindo conceitos científicos e matemáticos. Ao criar ou interagir com modelos 3D, virtuais ou físicos, os alunos exploram propriedades, estrutura e funcionalidade de forma única, compreendendo o objeto de estudo de uma maneira que métodos tradicionais podem não alcançar. A impressão 3D, especificamente, viabiliza a materialização desses modelos virtuais de forma relativamente

rápida e econômica, superando a dificuldade de obtenção de modelos físicos detalhados e acessíveis (Selbetti, 2022). A integração dessas tecnologias no ensino não apenas alinha a formação com as ferramentas da Indústria 4.0, mas oferece um meio eficaz e engajador de apresentar conteúdos complexos, tornando-os mais acessíveis e compreensíveis.

Considerando a realidade dos equipamentos presentes nos laboratórios do Ifes Campus Serra, como o motor trifásico industrial e suas partes ilustradas nas Figuras 1 e 2, a diferença na facilidade de manuseio para fins didáticos torna-se evidente. Enquanto mesmo uma parte isolada, como o estator visível na Figura 1, pesa cerca de 30 quilogramas e exige esforço e cuidado para ser movido dentro do ambiente laboratorial, um modelo didático impresso em 3D do mesmo componente ou do motor completo oferece uma vantagem logística e pedagógica inestimável, como na Figura 3 que pesa apenas 275 gramas. A leveza e o tamanho adequado de uma réplica em escala permitem que o modelo seja facilmente transportado para qualquer sala de aula, manipulado diretamente pelos alunos em suas carteiras, e explorado em detalhes sem os riscos e as dificuldades associadas ao manuseio de equipamentos pesados e energizados. Essa portabilidade e facilidade de interação física transformam a dinâmica do ensino, tornando conceitos complexos mais acessíveis e a experiência de aprendizagem mais prática e segura em qualquer ambiente de aprendizagem.

Figura 3: Foto do estator do motor de Corrente Alternada (CA) impresso.



Fonte: Autoria Própria.

3 OBJETIVOS DO PROJETO

O presente projeto de pesquisa tem como Objetivo Geral o desenvolvimento e a implementação de modelos didáticos tridimensionais, fabricados via impressão 3D, para aprimorar o processo de ensino-aprendizagem de conceitos complexos em máquinas de indução trifásicas.

Para alcançar este objetivo principal, foram estabelecidos os seguintes Objetivos Específicos:

- Realizar um levantamento das dificuldades de aprendizagem e lacunas conceituais de máquinas elétricas em cursos técnicos e superiores.
- Projetar modelos 3D de componentes internos e externos de motores de indução trifásicos, com foco na clareza e representatividade didática.
- Fabricar os modelos projetados utilizando tecnologia de impressão 3D, otimizando os parâmetros de produção para durabilidade e fidelidade.

- Elaborar um protocolo para a aplicação inicial dos modelos didáticos em ambiente de sala de aula, incluindo sugestões de atividades práticas.
- Coletar percepções iniciais de estudantes e educadores sobre a contribuição dos modelos para a compreensão dos temas abordados e o engajamento em sala de aula.
- Propor diretrizes para a replicação e disseminação da metodologia de desenvolvimento e aplicação dos modelos didáticos em outros contextos educacionais.

4 METODOLOGIA

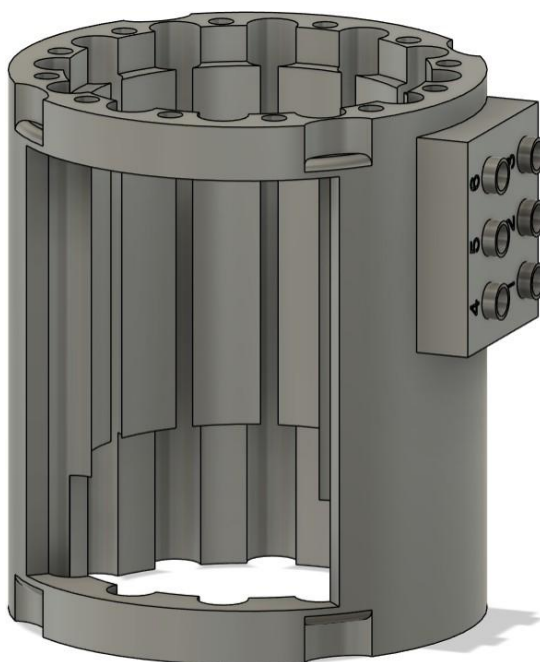
A construção de materiais didáticos que transcendam as abordagens tradicionais e cativem o interesse dos estudantes, especialmente em áreas de alta complexidade como as máquinas elétricas, exige uma metodologia de desenvolvimento criteriosa e flexível. O ponto de partida para a criação dos modelos 3D didáticos de componentes de motores CA foi imergir na realidade dos equipamentos que se deseja ensinar. Isso envolveu não apenas o estudo teórico aprofundado dos princípios construtivos e de funcionamento, mas, crucialmente, a análise detalhada e a observação *in loco* das partes do motor disponíveis nos laboratórios, como estatores e rotores, a fim de identificar as características construtivas e funcionais essenciais que precisariam ser representadas fielmente no modelo virtual. Também foram utilizados materiais textuais, como *Máquinas Elétricas* de Fitzgerald e Kingsley (UMANS, 2014) e *Large A.C. Machines* (BOGUSLAWSKY; KOROVKIN; HAYAKAWA, 2017).

Essa fase inicial de estudo permitiu identificar as características físicas e estruturais mais relevantes para a compreensão didática, determinando quais elementos seriam essenciais representar nos modelos virtuais e, posteriormente, nas peças impressas em 3D. A precisão na representação desses elementos, como o intrincado arranjo das bobinas no estator ou a estrutura de gaiola do rotor, é fundamental para que o modelo didático seja uma ferramenta de aprendizagem eficaz e não apenas uma representação simplificada.

Com os requisitos de representação bem definidos, a etapa seguinte concentrou-se na escolha e domínio do software de modelagem 3D. A seleção do *Autodesk Fusion 360* para este projeto não foi aleatória. Pesou consideravelmente a familiaridade prévia dos responsáveis pelo projeto com a plataforma, o que agilizou o início dos trabalhos. Contudo, a decisão foi validada pela sua reputação no mercado e pela robustez de suas ferramentas, que oferecem a precisão paramétrica necessária para modelar componentes mecânicos detalhados e suas interconexões, essenciais para modelos didáticos que podem ser desmontados e remontados pelos estudantes.

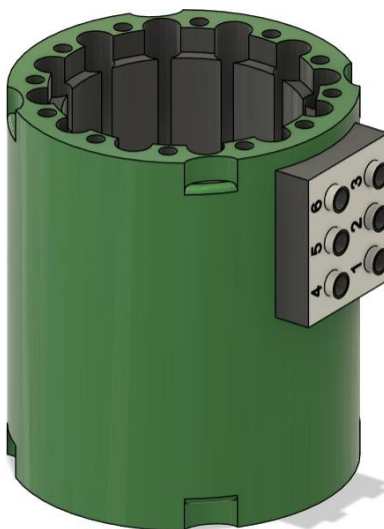
A criação dos modelos 3D virtuais baseou-se, portanto, nas observações da realidade dos motores do laboratório e nos dados técnicos levantados. Cada componente, do estator ao rotor, foi meticulosamente modelado no ambiente virtual do *Fusion 360*, buscando fidelidade às proporções e à representação das partes didaticamente relevantes. Este processo de modelagem é onde a abstração teórica começa a ganhar forma visual e tridimensional. As Figuras 5 e 6 apresentam visualizações dos modelos 3D virtuais do estator e do rotor, ilustrando o nível de detalhe alcançado nesta fase do projeto. Desde o início foi pensado na modulação do projeto, já que foi feito um estator aberto para visualização interna do motor (Figura 4), e encaixes nas laterais para sua desmontagem e apresentação de peça a peça, para que assim tenha melhor entendimento sobre cada detalhe de cada peça, algo que seria impossível nos modelos reais.

Figura 4: Estator com parte aberta do motor de (CA) modelado em 3D pelo Fusion 360.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 5: Estator do motor de (CA) modelado em 3D pelo Fusion 360.



Fonte: Autoria Própria.

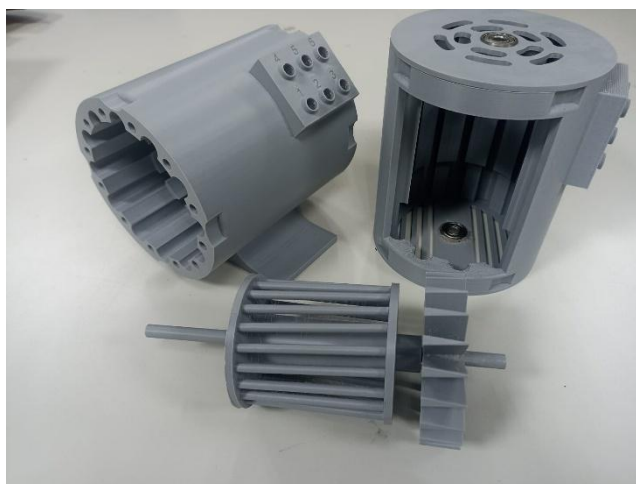
Figura 6: Rotor do motor de (CA) modelado em 3D pelo Fusion 360.



Fonte: Autoria Própria.

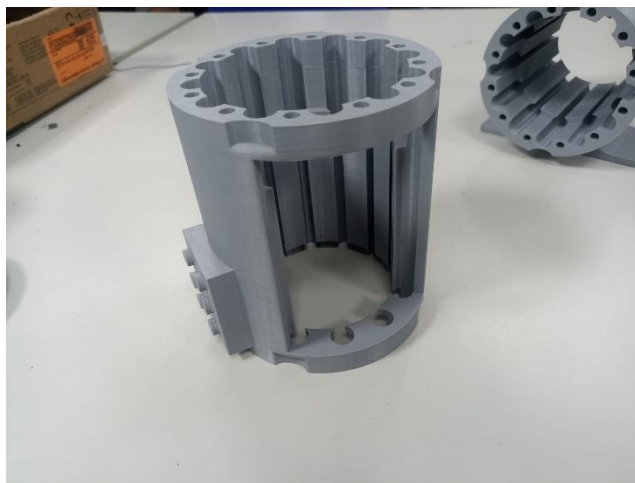
Uma vez finalizados os modelos virtuais e revisados para garantir a acuracidade e a viabilidade de impressão, procedeu-se à etapa de manufatura aditiva (impressão 3D). As peças foram fatiadas utilizando software específico e impressas em impressoras 3D disponíveis no espaço *Maker* da instituição (Figura 7). A escolha do material de impressão é um fator determinante para a durabilidade e a funcionalidade do modelo didático no ambiente de uso. Optou-se pelo filamento de ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) para a confecção dos modelos. O ABS é amplamente reconhecido por suas propriedades de resistência mecânica e durabilidade, características indispensáveis para garantir que as peças resistam ao manuseio constante e à interação direta por parte dos estudantes em ambiente de sala de aula e laboratório.

Figura 7: Peças impressas na impressora 3D do motor CA.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 8: Estator aberto do motor de (CA) impresso em 3D.



Fonte: Autoria Própria.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

É importante salientar que este projeto encontra-se em fase de desenvolvimento. Os modelos atuais representam uma etapa inicial robusta que valida a aplicação da modelagem e impressão 3D como ferramentas viáveis e promissoras para a criação de materiais didáticos no contexto das máquinas elétricas (SELBETTI, 2022; HANSEN *et al.*, 2020). A utilização de materiais duráveis como o ABS e a concepção para montagem e desmontagem visam garantir a longevidade e a funcionalidade dos modelos em ambiente educacional.

Os resultados esperados com a implementação completa destes modelos incluem uma melhoria significativa na visualização e compreensão dos conceitos relacionados aos motores CA (SUN; LI, 2017; UNIVERSO *STEM*, 2024), um aumento no engajamento e na motivação dos estudantes através da interação física com os modelos (PORTAL CONTEÚDO ABERTO, 2025), e um potencial apoio à instrução diferenciada. A portabilidade e a segurança dos modelos impressos em 3D superam as limitações logísticas e de segurança do manuseio de motores reais pesados em sala de aula, tornando o aprendizado prático mais acessível.

Como trabalhos futuros, prevê-se a integração de funcionalidades interativas adicionais aos modelos, a realização de testes de efetividade pedagógica com grupos de alunos e professores para coleta de *feedback* e validação dos impactos esperados, e o refinamento contínuo dos modelos com base nessa avaliação. A disseminação dos resultados em eventos científicos e a disponibilização online dos modelos e guias didáticos complementarão o ciclo do projeto, visando ampliar seu alcance e contribuição para a área de educação técnica e tecnológica.

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

O presente trabalho abordou a proposição e o desenvolvimento inicial de modelos didáticos inovadores para o ensino de máquinas de corrente alternada (CA), com foco em motores síncronos e de indução trifásicos, utilizando tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, notadamente a modelagem e impressão 3D. Partindo da constatação dos desafios inerentes ao ensino de conceitos complexos em disciplinas técnicas e de engenharia, e da dificuldade de acesso e manuseio de equipamentos industriais reais em ambiente de sala de aula, o projeto buscou oferecer uma alternativa tangível e interativa para aprimorar o processo de ensino-aprendizagem.

A metodologia empregada, que envolveu o estudo das máquinas reais, a modelagem detalhada em *software* 3D paramétrico (*Autodesk Fusion 360*) e a manufatura aditiva utilizando filamento plástico, permitiu a criação de modelos físicos que representam fielmente as características construtivas essenciais dos motores CA. A modularidade dos modelos, como a possibilidade de desmontagem e a visualização interna de componentes cruciais como o estator aberto, demonstra o potencial didático desta abordagem para facilitar a compreensão de estruturas e princípios de funcionamento que seriam de difícil observação em equipamentos reais ou mesmo em modelos de laboratório convencionais.

É fundamental ressaltar que o projeto encontra-se em fase de desenvolvimento. Os modelos apresentados representam uma etapa inicial robusta que valida a aplicação da modelagem e impressão 3D como ferramentas viáveis e promissoras para a criação de materiais didáticos no contexto das máquinas elétricas. A utilização de materiais duráveis como o ABS e a concepção para montagem e desmontagem visam garantir a longevidade e a funcionalidade dos modelos em ambiente educacional.

Os resultados esperados com a implementação completa destes modelos incluem uma melhoria significativa na visualização e compreensão dos conceitos relacionados aos motores CA, um aumento no engajamento e na motivação dos estudantes através da interação física com os modelos, e um potencial apoio à instrução diferenciada. A portabilidade e a segurança dos modelos impressos em 3D superam as limitações logísticas e de segurança do manuseio de motores reais pesados em sala de aula, tornando o aprendizado prático mais acessível.

Como trabalhos futuros, prevê-se a integração de funcionalidades interativas adicionais aos modelos, a realização de testes de efetividade pedagógica com grupos de alunos e professores para coleta de *feedback* e validação dos impactos esperados, e o refinamento contínuo dos modelos com base nessa avaliação. A disseminação dos resultados em eventos científicos e a disponibilização online dos modelos e guias didáticos complementarão o ciclo do projeto, visando ampliar seu alcance e contribuição para a área de educação técnica e tecnológica.

REFERÊNCIAS

RORIZ, L. A. C. M.; SANTOS, F. A. D. C. P. A evasão no ensino de engenharia: o caso CEFET/RJ. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE)**, 35., 2007, Curitiba. Anais [...]. Brasília: **ABENGE**, 2007.

APS SOLUÇÕES. Motores elétricos e aplicações industriais: por que são indispensáveis para a sociedade? Disponível em: <https://apssolucoes.com/fique-ligado/motores-eletricos-e-aplicacoes-por-que-sao-indispensaveis-para-a-sociedade/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

ASSANTE, D.; CENNAMO, G. M.; PLACIDI, L. 3D printing in education: an European perspective. In: IEEE GLOBAL ENGINEERING EDUCATION CONFERENCE – EDUCON, 2020. Anais. [S.l.]: IEEE, 2020.

AUTODESK FUSION 360. Autodesk Fusion | Software CAD, CAM, CAE 3D e PCB em nuvem. Disponível em: <https://www.autodesk.com/br/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>. Acesso em: 26 abr. 2025.

BOGUSLAWSKY, I.; KOROVKIN, N.; HAYAKAWA, M. Large A.C. machines: theory and investigation methods of currents and losses in stator and rotor meshes including operation with nonlinear loads. Springer, 2017.

GRUPO JAV. A importância dos motores elétricos para a indústria. 2020. Disponível em: <https://www.jav.com.br/sustentabilidade-2/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

HANSEN, A. K. et al. Exploring the potential of 3D-printing in biological education: a review of the literature. *Integrative and Comparative Biology*, v. 60, n. 4, 2020.

ONISAKI, H. H. C.; VIEIRA, R. M. B. Impressão 3D e o desenvolvimento de produtos educacionais. In: **CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFAM (CONIC)**, 14.; **ENCONTRO DE TECNOLOGIA E INOVAÇÃO PARA A INDÚSTRIA (ETII)**, 10., 2019, Manaus. Anais [...]. Manaus: Editora IFAM, 2019.

PINGER, C. W.; GEIGER, M. K.; SPENCE, D. M. Applications of 3D-printing for improving chemistry education. *Journal of Chemical Education*, v. 97, n. 1, 2020.

PORTAL CONTEÚDO ABERTO. Educação STEAM: como a interdisciplinaridade transforma a aprendizagem. 2025. Disponível em: <https://portalconteudoaberto.com.br/colunista/educacao-steam/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

SELBETTI. Impressão 3D na educação: como aplicar e quais são os benefícios. 2022. Disponível em: <https://selbetti.com.br/blog/impressao-3d-na-educacao/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

SUN, Y.; LI, Q. The application of 3D printing in mathematics education. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER SCIENCE AND EDUCATION (ICCSE)**, 12., 2017, Houston. Anais [...]. Houston: IEEE, 2017.

UMANS, S. D. Máquinas elétricas de Fitzgerald e Kingsley. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014.

UNIVERSO STEM. Explorando *STEM* com materiais modulares. 2024. Disponível em: <https://universo-stem.com/titulo-explorando-stem-com-materiais-modulares/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

3D TECHNOLOGY IN THE TEACHING OF THREE-PHASE INDUCTION MOTORS: MODELING AND PRINTING OF DIDACTIC MODELS TO IMPROVE THE TEACHING-LEARNING PROCESS

Abstract: *This work proposes the use of 3D modeling and printing as a didactic resource in the teaching of three-phase induction motors, addressing the difficulties in understanding and accessing real equipment in technical and engineering courses. Disassembled physical models were developed using Fusion 360 software and printed in ABS, allowing for internal visualization and safe manipulation of components. The proposal aims to facilitate the assimilation of complex electromagnetic concepts, increase student engagement, and reduce dropout rates. Preliminary results demonstrate strong pedagogical potential, accessibility, and applicability in various educational contexts. This work proposes the use of 3D modeling and printing as a didactic resource in the teaching of three-phase induction motors, addressing the difficulties in understanding and accessing real equipment in technical and engineering courses. Dismountable physical models were developed using Fusion 360 software and printed in ABS, allowing for internal visualization and safe manipulation of components. The proposal aims to facilitate the assimilation of complex electromagnetic concepts, increase student engagement, and reduce dropout rates. Preliminary results demonstrate strong pedagogical potential, accessibility, and applicability in various educational contexts.*

Keywords: 3D Modeling, Induction Motors, Technical Education, 3D Printing, Didactic Models, Electrical Machines, Engineering Education.

