

Submetido: 02/12/2024 Revisado: 10/02/2025 Aceito: 12/02/2025 Publicado: 17/02/2025

DESENVOLVIMENTO E IMPRESSÃO 3D DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS PARA
VISUALIZAÇÃO E SIMULAÇÃO DE PROCESSOS NA EXTENSÃO
UNIVERSITÁRIA

DEVELOPMENT AND 3D PRINTING OF INDUSTRIAL EQUIPMENT FOR
VISUALIZATION AND SIMULATION OF PROCESSES IN UNIVERSITY EXTENSION

DESARROLLO E IMPRESIÓN 3D DE EQUIPOS INDUSTRIALES PARA
VISUALIZACIÓN Y SIMULACIÓN DE PROCESOS EN LA EXTENSIÓN
UNIVERSITARIA.

Autor Orientador Felipi Luiz de Assunção Bezerra <https://orcid.org/0000-0002-4292-5410> ¹

Autora Orientadora Sidmara Bedin <https://orcid.org/0000-0003-0147-4956> ²

Autor Orientador Lucas Bonfim Rocha <https://orcid.org/0000-0002-2617-2607> ³

Autora Orientadora Larissa Maria Fernandes Gatti <https://orcid.org/0009-0005-3960-6960> ⁴

Autora Orientadora Pricila Marin <https://orcid.org/0000-0003-0105-4556> ⁵

Autora Orientadora Ana Maria da Cruz Ferrari <https://orcid.org/0000-0002-4156-5644> ⁶

Autora Orientadora Silvia Priscila Dias Monte Blanco <https://orcid.org/0000-0002-1323-8187> ⁷

Myrtis Katille de Assunção Bezerra <https://orcid.org/0000-0002-4315-9623> ⁸

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas

² Instituição de vinculação: Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pós-doutora em Engenharia Civil

³ Universidade Tecnológica Federal do Paraná - campus Londrina. Pós-doutorado em Engenharia Química

⁴ Universidade Tecnológica Federal do Paraná - campus Londrina. Doutorado em Engenharia Química

⁵ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá.

⁶ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá

⁷ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Londrina. Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá

⁸ Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de nutrição. Doutorado em Ciências pela Fiocruz de Pernambuco.

DESENVOLVIMENTO E IMPRESSÃO 3D DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS PARA VISUALIZAÇÃO E SIMULAÇÃO DE PROCESSOS NA EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA

Área Temática de Extensão: Tecnologia & Produção.

Resumo: A impressão 3D tem contribuído para o avanço da engenharia química, oferecendo soluções inovadoras para desafios industriais. Além de sua aplicabilidade industrial, ela também é uma ferramenta relevante no ensino. O objetivo deste estudo foi explorar o uso da impressão 3D no desenvolvimento de equipamentos industriais, com foco no treinamento de operadores e na adaptação às novas tecnologias, além de contribuir para o aprimoramento das práticas pedagógicas em engenharia química. O projeto de extensão, desenvolvido na Universidade de Londrina, envolveu alunos do Ensino Médio e da universidade. O processo incluiu a seleção de equipamentos industriais relevantes, modelagem 3D utilizando CAD, otimização para impressão 3D, impressão de protótipos, testes de validação e simulação de operações industriais com realidade aumentada e virtual. O uso de ferramentas como ChatGPT e Consensus auxiliou na correção linguística e precisão das fontes científicas. A impressão 3D mostrou-se eficaz no ensino de engenharia química, proporcionando uma compreensão mais prática e imersiva de equipamentos industriais. Modelos impressos permitiram a visualização de operações unitárias, como troca térmica, e facilitaram o aprendizado de processos industriais por estudantes do Ensino Médio (n=650). A experiência também despertou interesse por carreiras tecnológicas e integrou teoria com prática de forma inovadora. A impressão 3D se revelou uma abordagem eficaz no ensino de engenharia química, promovendo aprendizado ativo e desenvolvimento de habilidades técnicas essenciais, com uma experiência mais concreta e imersiva no aprendizado de conceitos complexos.

Palavras-chave: Impressão 3D. Processos Químicos. Prototipagem de equipamentos. Extensão. Engenharia.

Abstract: 3D printing has been fundamental in advancing chemical engineering, offering innovative solutions to industrial challenges. Beyond its industrial applications, it is also a valuable tool in education. This study aimed to explore the use of 3D printing in the development of industrial equipment, focusing on operator training and adaptation to new technologies while contributing to the enhancement of pedagogical practices in chemical engineering. The extension project, developed at the University of Londrina, involved high school and university students. The process included selecting relevant industrial equipment, 3D modeling using CAD, optimization for 3D printing, prototype printing, validation testing, and simulating industrial operations with augmented and virtual reality. Tools like ChatGPT and Consensus supported linguistic accuracy and the reliability of scientific sources. 3D printing proved effective in chemical engineering education, providing a more practical and immersive understanding of industrial equipment. Printed models enabled the visualization of unit operations, such as heat exchange, and facilitated the learning of industrial processes for high school students (n=650). The experience also sparked interest in technological careers and innovatively integrated theory with practice. 3D printing emerged as an effective approach in chemical engineering education, promoting active learning and the development of essential technical skills. It offered a more tangible and immersive experience in mastering complex concepts.

Keywords: 3D Printing. Chemical Processes. Equipment Prototyping. Extension. Engineering.

Resumen: La impresión 3D ha desempeñado un papel fundamental en el avance de la ingeniería química, ofreciendo soluciones innovadoras a los desafíos industriales. Además de su aplicabilidad industrial, también es una herramienta relevante en la enseñanza. El objetivo de este estudio fue explorar el uso de la impresión 3D en el desarrollo de equipos industriales, con enfoque en la capacitación de operadores y la adaptación a las nuevas tecnologías, además de contribuir al mejoramiento de las prácticas pedagógicas en ingeniería química. El proyecto de extensión, desarrollado en la Universidad de Londrina, involucró a estudiantes de nivel secundario y universitario. El proceso incluyó la selección de equipos industriales relevantes, modelado 3D utilizando CAD, optimización para impresión 3D, impresión de prototipos, pruebas de validación y simulación de operaciones industriales con realidad aumentada y virtual. El uso de herramientas como ChatGPT y Consensus ayudó en la corrección lingüística y en la precisión de las fuentes científicas. La impresión 3D demostró ser eficaz en la enseñanza de la ingeniería química, proporcionando una comprensión más práctica e inmersiva de los equipos industriales. Los modelos impresos permitieron visualizar operaciones unitarias, como el intercambio térmico, y facilitaron el aprendizaje de procesos industriales por parte de los estudiantes de nivel secundario (n=650). La experiencia también despertó interés por las carreras tecnológicas e integró la teoría con la práctica de manera innovadora. La impresión 3D resultó ser un enfoque eficaz en la enseñanza de la ingeniería química, promoviendo un aprendizaje activo y el desarrollo de habilidades técnicas esenciales, con una experiencia más concreta e inmersiva en el aprendizaje de conceptos complejos.

Palabras clave: Impresión 3D. Procesos Químicos. Prototipado de equipos. Extensión. Ingeniería

INTRODUÇÃO

A evolução das tecnologias de manufatura, especialmente a impressão 3D, tem contribuído no avanço da construção de protótipos para engenharia química, oferecendo soluções inovadoras para desafios industriais. A impressão 3D se destaca por sua precisão, rapidez e personalização, sendo relevante para setores que exigem equipamentos específicos, melhorando a visualização, eficiência e a flexibilidade das operações (Rosen & Stucker, 2015; Su et al., 2021; Gibson).

No ensino de engenharia química, essa tecnologia vai além do ambiente industrial, sendo uma ferramenta importante em atividades de extensão universitária, que facilitam a aplicação prática de conceitos teóricos e a integração com a sociedade (NGO, 2018). A utilização da impressão 3D durante a graduação permite aos estudantes desenvolverem habilidades técnicas e interpessoais, contribuindo para a solução de problemas locais e industriais, e preparando-os para as demandas do mercado (Martínez-Martínez et al., 2021).

Além disso, ao envolver os estudantes nas etapas do projeto, desde o design até a avaliação dos impactos, pode promover a aprendizagem ativa e a resolução de problemas (Prince, 2004), alinhando-se aos objetivos da extensão universitária de unir conhecimento científico e sua aplicação prática voltada para iterações com a sociedade (Batista e Oliveira, 2023).

Este relato tem como objetivo explorar a aplicação da impressão 3D no desenvolvimento de equipamentos industriais, com ênfase no treinamento de operadores e na adaptação a novas tecnologias, através da simulação de operações, contribuindo para o avanço das práticas pedagógicas e para a melhoria dos processos produtivos nas indústrias em um projeto de extensão (Díaz Amores *et al.* 2022).

METODOLOGIA APLICADA

O presente trabalho foi desenvolvido a partir da execução de um projeto de extensão denominado “*Projeto e Prototipagem de Equipamentos Industriais com Impressão 3D e Modelagem Computacional*”. Desenvolvido em uma universidade localizada na cidade de Londrina (Paraná), teve como público alvo de apresentação alunos do Ensino Médio, docentes e discentes da universidade. O período de desenvolvimento da extensão teve

início em agosto de 2022 e previsão para conclusão em julho de 2024. A seguir, descrevem-se as etapas metodológicas detalhadas que compõem a abordagem adotada para a execução do projeto:

Seleção de Equipamentos Industriais: Os equipamentos industriais a serem modelados em 3D foram escolhidos com base nos critérios de complexidade de design, relevância para operações industriais e disponibilidade de dados técnicos. Esses dispositivos representavam operações unitárias e sistemas de processos típicos, desafiando a aplicação de conceitos avançados de engenharia química. A escolha também considerou a viabilidade de adaptação para simulações e seu impacto potencial no treinamento de operadores.

Modelagem 3D: A modelagem foi realizada utilizando softwares de CAD, como AutoCAD e SolidWorks, com base em desenhos técnicos detalhados. Foram criados modelos tridimensionais precisos, contemplando aspectos geométricos, funcionais e estruturais. Os modelos foram adaptados para materiais apropriados à impressão 3D, assegurando durabilidade e funcionalidade no ambiente de apresentação.

Preparação para Impressão 3D: Os modelos digitais foram otimizados com softwares de fatiamento, convertendo-os em arquivos G-code. Parâmetros essenciais como resolução de impressão, espessura da camada e escolha de materiais foram definidos. Os materiais utilizados incluíram resinas de alta resistência, polímeros duráveis e ligas metálicas, garantindo propriedades mecânicas adequadas às simulações industriais.

Impressão 3D: A impressão foi realizada em impressoras 3D de alta precisão, com capacidade para trabalhar com materiais avançados. Foram monitorados parâmetros como temperatura, velocidade e estruturação de suportes, garantindo a integridade dimensional e estrutural dos modelos.

Pós-processamento: Após a impressão, os modelos passaram por processos como remoção de suportes, polimento por retificação e tratamento térmico. Essas etapas corrigiram falhas e melhoraram as propriedades mecânicas, assegurando que os equipamentos estivessem prontos para testes e validação.

Testes e Validação: Os modelos impressos foram submetidos a testes funcionais em ambientes controlados, avaliando precisão dimensional, resistência mecânica e

durabilidade. A validação verificou sua aplicabilidade em condições simuladas, incluindo interações mecânicas e resistência ao desgaste.

Simulação de Operações Industriais: Os equipamentos validados visaram quando possível serem integrados a ambientes de simulação industrial utilizando tecnologias de realidade aumentada e virtual. Essas ferramentas permitiram o estudo de processos industriais e o treinamento prático de operadores em situações que exigem resolução de problemas em tempo real.

Uso da Inteligência artificial: Este estudo usou o ChatGPT como ferramenta de correções linguísticas e o Consensus para auxiliar na consistência e precisão das fontes científicas (Open Ai, 2024; Consensus, 2024).

RESULTADOS

O uso da impressão 3D no ensino de Engenharia Química demonstrou ser uma ferramenta pedagógica transformadora, promovendo uma compreensão mais profunda de conceitos técnicos complexos. O projeto durante o período de execução atendeu cerca de 650 estudantes do ensino médio. Além disso, os discentes da universidade relataram melhorias significativas na assimilação da estrutura interna e funcionamento de equipamentos ao visualizar modelos físicos, o que permitiu análises detalhadas de componentes e fluxos internos, antes abordados apenas teoricamente. Durante o estudo de operações unitárias, os modelos físicos impressos em 3D possibilitaram uma percepção prática do impacto de ajustes nos equipamentos, como exemplificado com equipamentos de troca térmica que ilustraram o fenômeno de troca de transferência de calor de forma tangível e imersiva.

Na Feira de Profissões de visitação à universidade, estudantes do ensino médio também interagiram com esses modelos, facilitando a compreensão de processos industriais, como elutriação, ciclone, absorção e operação de caldeira.

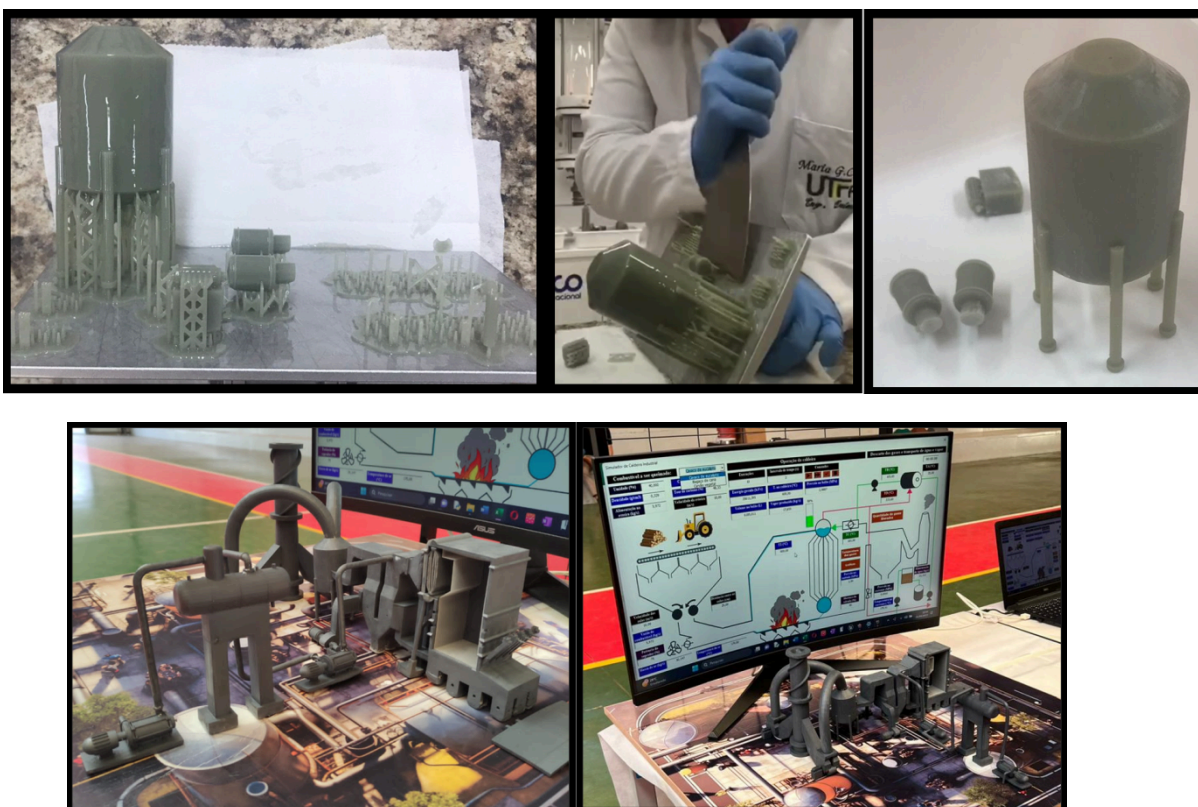
Foram desenvolvidos também 7 equipamentos em miniaturas com a finalidade de visualização ou de operação do processo. Os equipamentos que tinham como finalidade de operação, na apresentação eram operados com ajuda de instrumentos como bombas, sopradores e microcontroladores.

1. Caldeira Aquatubular: visualização e modelo computacional
2. Tubos Aletatos: visualização

3. Tanque encamisado: visualização
4. Vaso de pressão horizontal- visualização
5. Módulo de Reynolds: visualização
6. Elutriador: Visualização e operação
7. Coluna de Absorção: Visualização e operação

A caldeira aquatubular foi desenhada usando o software Blender 4.0 e dados reais de simuladores industriais. O equipamento foi dividido em seções, como câmara de combustão e lavador de gases, permitindo que os estudantes visualizassem suas interações e complexidades. As peças impressas em resina compuseram uma maquete apresentada na Feira de Profissões da UTFPR campus Londrina, as ações desenvolvidas foram capazes de promover uma aproximação e visualização da profissão de engenheiro químico e dando destaque a sua aplicação na indústria (Holzmann et al., 2020; Ullah et al., 2020) (Figura 1).

Figura 1 - Impressões 3D e maquete da caldeira aquatubular em frente ao simulador.

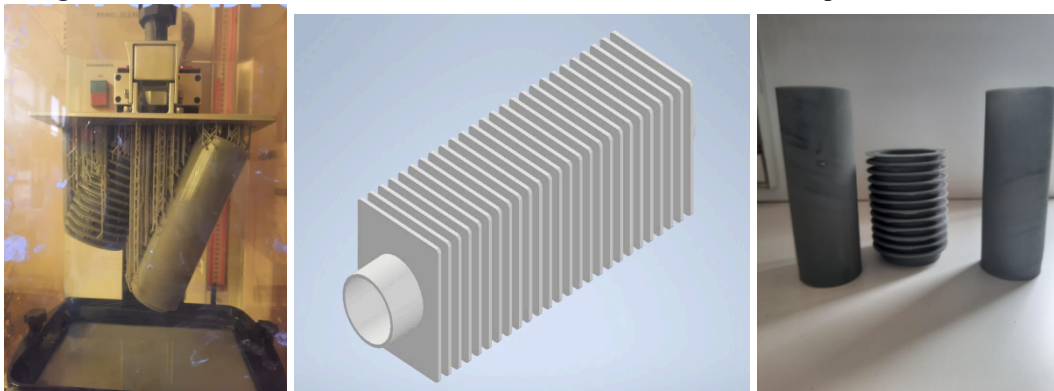


Fonte: autoria própria.

Adicionalmente, os alunos criaram tubos aletados de diferentes geometrias para a disciplina de Transferência de Calor, explorando os efeitos dessas variações no

desempenho térmico e hidráulico. A impressão 3D facilitou a visualização de conceitos como condução e convecção, promovendo aprendizado ativo e desenvolvimento de habilidades técnicas essenciais para o mercado profissional (Figura 2).

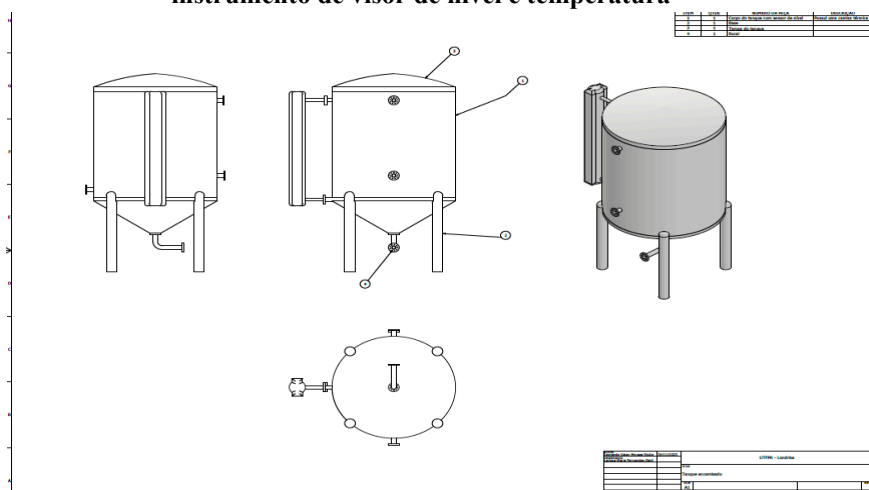
Figura 2 –Modelo de trocador de calor em miniatura, modelo 3D e impressão em resina;



Fonte: autoria própria

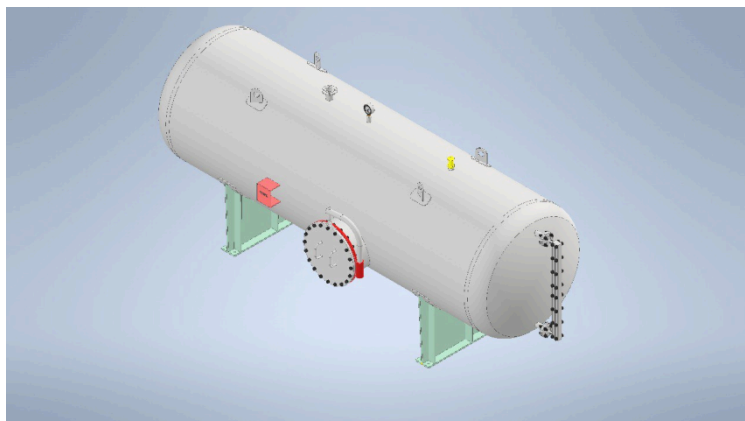
Para o desenvolvimento de um, foram realizadas reuniões periódicas com os alunos para projetar os bocais de entrada e saída de fluido, e sistemas de aquecimento e resfriamento. O tanque também incluiu um visor de nível para monitoramento do conteúdo. Durante as reuniões, foram discutidas as especificações técnicas, como escolha de materiais, dimensionamento e requisitos operacionais, visando integrar teoria e prática em atividades de ensino de Engenharia Química, proporcionando uma experiência imersiva para os estudantes (Figura 3 ,4 e 5)

Figura 3 - Tanque com serpentina, com bocais de entrada e saída de fluido, contemplando bocais de entrada de fluido aquecimento/resfriamento com a respectiva saída, além de instrumento de visor de nível e temperatura



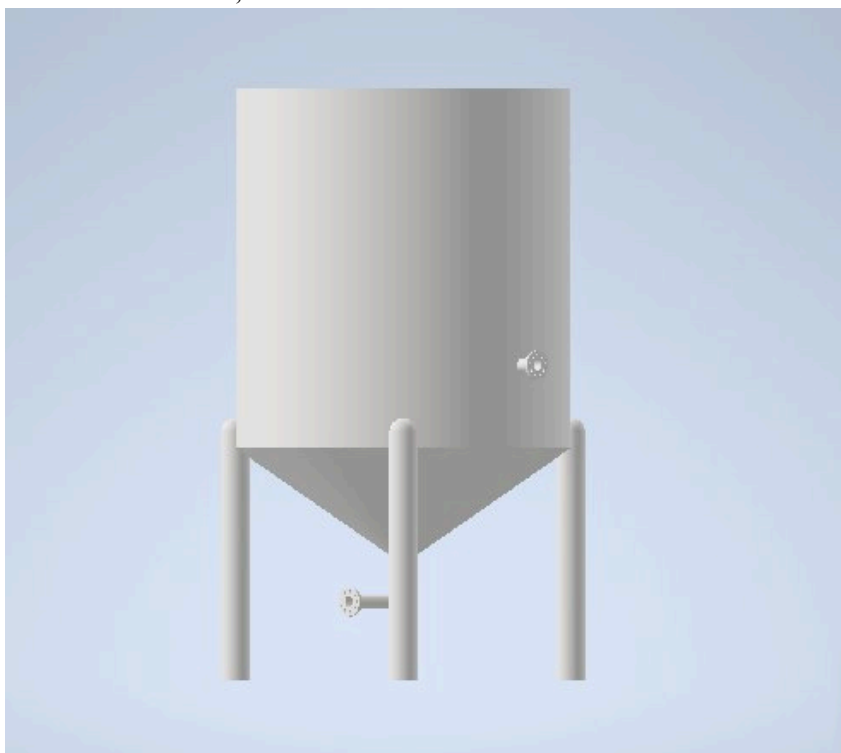
Fonte: autoria própria.

Figura 4 - Vaso de pressão, com válvula de segurança e alívio, visor de nível e indicador de temperatura.



Fonte: autoria própria

Figura 5 - Tanque com camisa de aquecimento, com bocais de entrada e saída de fluido, contemplando bocais de entrada de fluido aquecimento/resfriamento com a respectiva saída, além de instrumento de visor de nível.



Fonte: autoria própria

Para o projeto do módulo de Reynolds, os alunos participaram de reuniões de planejamento onde discutiram a escolha do equipamento, medições necessárias, configuração do modelo e proporção adequada. O processo seguiu as seguintes etapas:

1. **Escolha do equipamento:** Seleção do equipamento com base na sua aplicabilidade educacional.
2. **Medições e referências:** Coleta de medidas e definição da escala do modelo.
3. **Desenho e planejamento:** Criação de desenhos paramétricos e ajustes no modelo.
4. **Geração dos arquivos e impressão:** Planejamento e criação dos arquivos STL para impressão 3D.
5. **Montagem e inspeção:** Montagem das peças impressas e verificação da qualidade do modelo.

Imagens do equipamento de referência (Figura 6) e das etapas da impressão 3D (Figura 7) são apresentadas a seguir.

Figura 6 - Equipamento utilizado como referência



Fonte: autoria própria

O projeto de modelagem e impressão 3D de um ciclone resultou na conclusão do desenho industrial e na produção de uma versão impressa do equipamento, permitindo uma análise prática do design. A impressão revelou pontos de melhoria, que serão implementados para otimizar a funcionalidade e a estrutura do ciclone, destacando a evolução contínua do processo (Figura 10 e 11).

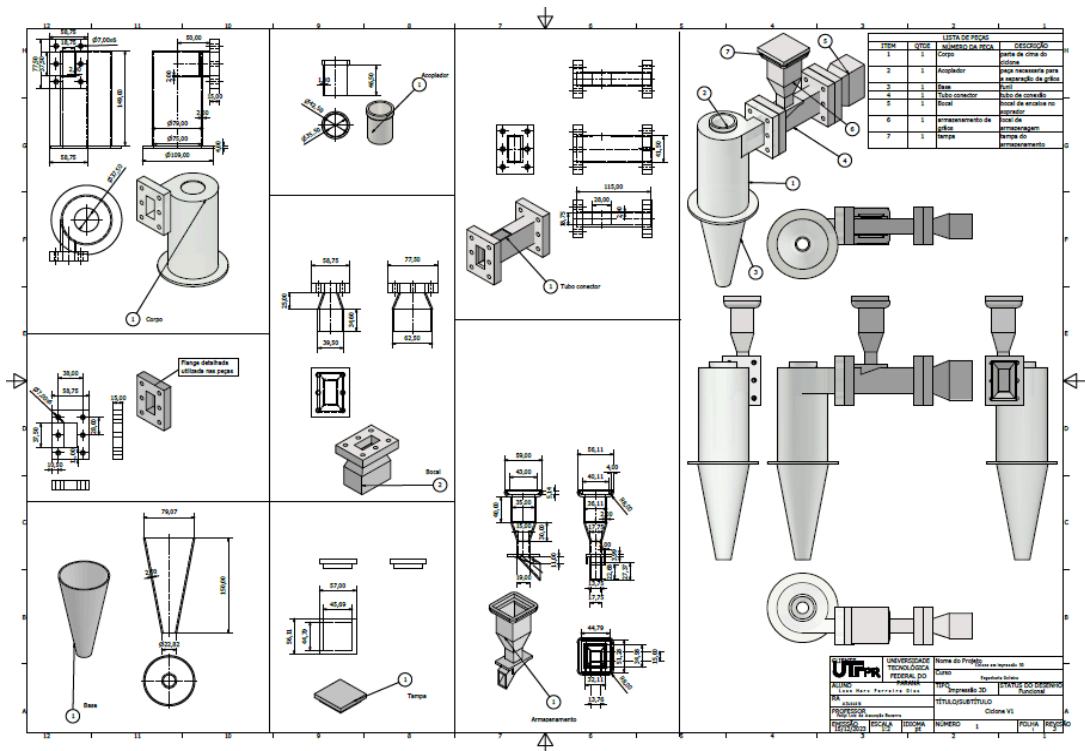
No desenvolvimento da Coluna de Adsorção em Leito Fixo, um planejamento estruturado, com reuniões periódicas, foi essencial para definir materiais, parâmetros de controle e dimensionamento adequado. O desenho detalhado da coluna (Figura 10) e a impressão 3D das partes (Figura 11) foram marcos importantes, conectando teoria e prática, além de estabelecer uma base sólida para as próximas etapas de construção e operação. Finalizada as etapas de concepção do projeto, dimensionamento, desenho do equipamento e impressão em 3D, foram realizados testes para operação da coluna. Nestes testes, foi constatada a necessidade de alguns ajustes, como controle de vazamento em alguns pontos. Realizados os ajustes necessários, o equipamento foi apresentado em pleno funcionamento durante a Feira de Profissões promovida pela UTFPR Londrina (Figura 13).

Figura 9: Impressão 3D do elutriador e apresentação na feira de profissões.



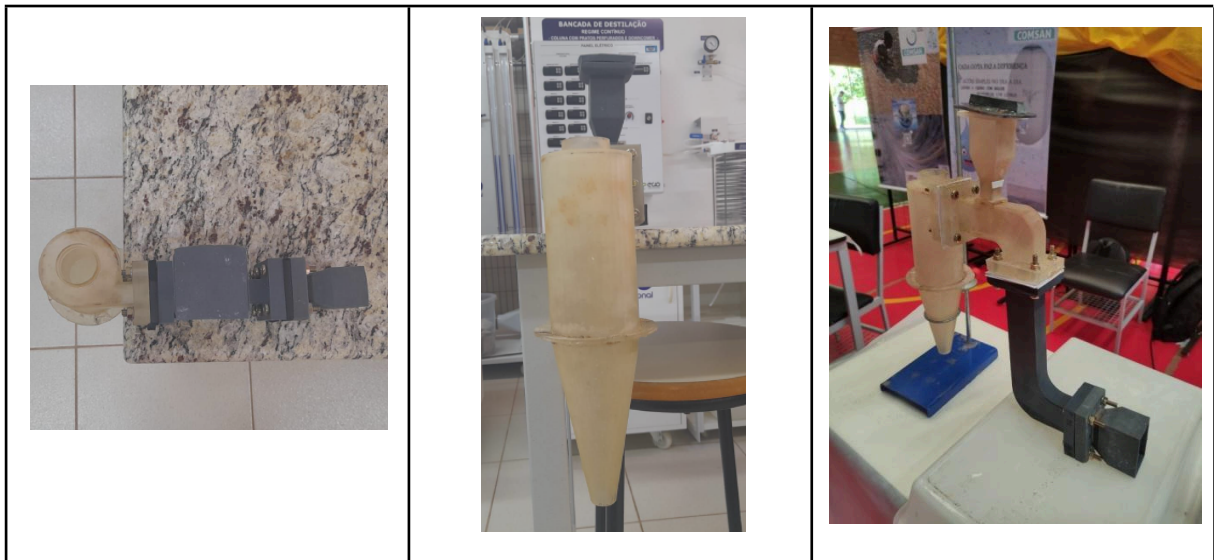
Fonte: autoria própria

Figura 10 – Projeto do ciclone.



Fonte: autoria própria

Figura 11 – Impressão 3D do ciclone.



Fonte: autoria própria

Figura 12: Desenho da coluna de adsorção.



Fonte: autoria própria

Figura 13: Impressão 3D da coluna de Absorção.



Fonte: autoria própria

DISCUSSÃO

A simplicidade dos designs, aliada à possibilidade de observação em tempo real, tornou conceitos abstratos mais acessíveis e despertou interesse por carreiras tecnológicas (Khine et al., 2019; Kefalis et al., 2024). Modelos interativos enriqueceram a experiência educativa e destacaram o potencial da impressão 3D em aproximar teoria e prática, beneficiando tanto o ensino básico quanto o superior (Mishra & Koehler, 2006; Holzmann *et al.*, 2020).

A integração de tecnologias como a impressão 3D no ensino e na extensão universitária tem promovido avanços significativos em áreas como engenharia química,

mecânica e computação. Essa abordagem permite que conceitos complexos sejam representados fisicamente, melhorando a compreensão por meio de visualização e experimentação prática (Díaz Amores et al., 2022; Kefalis *et al.*, 2024).

Entre os benefícios do uso da impressão 3D para simulação de processos destaca-se a “facilitação da aprendizagem ativa” visto que a impressão 3D suporta práticas de aprendizagem ativa ao envolver os alunos na criação de modelos e equipamentos reais. Estudos mostram que a aprendizagem baseada em projetos aumenta o engajamento e a retenção de conhecimento em disciplinas técnicas (Prince, 2004; Singh *et al.*, 2020). A criação de equipamentos impressos para simulação de processos químicos, por exemplo, permite que alunos testem diferentes cenários e compreendam a dinâmica de processos industriais.

Em relação a “visualização e simulação de processos” os modelos 3D físicos oferecem uma representação tátil de sistemas abstratos. Isso é especialmente valioso em engenharia química, onde processos frequentemente envolvem conceitos invisíveis, como reações em microescala. Díaz Amores et al. (2022) apontam que a impressão 3D ajuda a simplificar fenômenos complexos para estudantes, enquanto Su (2021) destaca sua aplicabilidade em equipamentos para análise química funcionalizada.

Quanto ao aspecto da “interdisciplinaridade e integração Curricular”, a impressão 3D promove a interdisciplinaridade ao integrar conhecimentos de design, engenharia de materiais e pedagogia tecnológica. Martínez-Martínez *et al.* (2021) mostram que projetos de impressão 3D incentivam a colaboração entre estudantes de diferentes áreas, como engenharia química e tecnologia da informação, ao mesmo tempo que os capacitam para aplicações práticas no mercado.

Na extensão universitária, a impressão 3D é uma ferramenta importante para troca de conhecimento. Holzmann et al. (2020) destacam que a adoção de novas tecnologias por professores permite aproximar a universidade da comunidade, fornecendo soluções acessíveis e inovadoras para problemas locais, como dispositivos para tratamento de água ou protótipos de processos industriais.

Singh et al. (2020), em uma revisão abrangente sobre a impressão 3D aplicada a materiais de engenharia, detalham os principais aspectos dessa tecnologia emergente e destaca seu impacto na fabricação e simulação de componentes industriais. Embora a impressão 3D ofereça inúmeras vantagens, os autores destacam desafios significativos,

como: custo elevado de materiais e equipamentos avançados; propriedades limitadas dos materiais atualmente disponíveis; falta de padronização em processos industriais. A impressão 3D já está transformando a fabricação em diversos setores, inclusive na área do ensino de engenharia (Ullah, 2020), mas o avanço na inovação e nos usos desses materiais e processos ainda são necessários para atingir todo o seu potencial.

CONSIDERAÇÕES

A integração da impressão 3D no ensino de Engenharia Química tem se mostrado uma abordagem inovadora e eficaz, proporcionando uma compreensão mais concreta de conceitos complexos e tornando o aprendizado mais imersivo. Os modelos impressos facilitaram a visualização de aspectos abstratos, melhorando a assimilação de operações unitárias e despertando o interesse de estudantes do Ensino Médio por áreas tecnológicas, uma ótima janela para o incentivo e divulgação do curso de engenharia química.

Além de aproximar teoria e prática, a impressão 3D incentivou a criatividade e o desenvolvimento de habilidades técnicas essenciais ao permitir que os alunos projetassem e testassem equipamentos reais, como caldeiras e trocadores de calor. Essa experiência reforçou o aprendizado, conectando-o a aplicações do mundo real e preparando os estudantes para desafios profissionais futuros.

REFERÊNCIAS

BATISTA DE OLIVEIRA, D. C.; SOUSA DE OLIVEIRA, A. A extensão como componente curricular obrigatório: análise preliminar sobre a implantação e reflexos da resolução 04/2018/UFAL em cursos de bacharelados na UFAL. *Revista Eletrônica Extensão em Debate*, v. 12, n. 15, 2023. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/extensaoemdebate/article/view/15507>. Acesso em: 1 dez. 2024.

CHENG, L. et al. Exploring the influence of teachers' beliefs and 3D printing integrated STEM instruction on students' STEM motivation. *Computers & Education*, v. 158, p. 103983, 2020.

CONSENSUS. Ferramenta de verificação de consistência e resumos de fontes científicas. Disponível em: <https://www.consensus.app>. Acesso em: 30 nov. 2024.

DIAÑEZ AMORES, I. et al. 3D printing—Present and future—A Chemical Engineering perspective. *Chemical Engineering Research and Design*, v. 187, p. 598-610, 2022.

GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing. 2. ed. New York: Springer, 2015.

HOLZMANN, P.; SCHWARZ, E. J.; AUDRETSCH, D. B. Understanding the determinants of novel technology adoption among teachers: the case of 3D printing. *Journal of Technology Transfer*, v. 45, p. 259-275, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10961-018-9693-1>. Acesso em: 30 nov. 2024.

KEFALIS, C.; SKORDOULIS, C.; DRIGAS, A. The role of 3D printing in science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education in general and special schools. *International Journal of Online & Biomedical Engineering*, v. 20, n. 12, 2024.

KHINE, M. S. et al. Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK): a framework for integrating technology in the classroom. *Journal of Educational Technology & Society*, v. 22, n. 1, 2019. Disponível em: https://one2oneheights.pbworks.com/f/MISHRA_PUNYA.pdf.

MARTÍNEZ-MARTÍNEZ, A.; PONCE, G. R.; ARROYO, F. A. The role of 3D printing in STEM education. *Journal of Engineering Education*, v. 22, n. 2, p. 145–158, 2021.

NGO, T. D. et al. Additive manufacturing (3D printing): a review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, v. 143, p. 172-196, 2018. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.02.012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836817342944>. Acesso em: 30 nov. 2024.

OPENAI. ChatGPT (versão 4): assistente de linguagem para ajustes e correções textuais. Disponível em: <https://chat.openai.com>. Acesso em: 30 nov. 2024.

PRINCE, M. Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education*, v. 93, n. 3, p. 223–231, 2004.

SINGH, T.; KUMAR, S.; SEHGAL, S. 3D printing of engineering materials: a state of the art review. *Materials Today: Proceedings*, v. 28, Part 3, p. 1927-1931, 2020. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.05.334. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320339080>. Acesso em: 30 nov. 2024.

SU, H. K. Review of 3D-Printed functionalized devices for chemical and biochemical analysis. *Analytica Chimica Acta*, v. 1158, p. 338348, 2021. DOI: 10.1016/j.aca.2021.338348. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003267021001744>. Acesso em: 30 nov. 2024.

ULLAH, A. S. et al. Tutorials for integrating 3D printing in engineering curricula. *Education Sciences*, v. 10, n. 8, p. 194, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-7102/10/8/194>.