

Aprendizagem baseada em projetos (ABP) aplicada à reciclagem de cavacos para manufatura aditiva sob a perspectiva da economia circular

PROJECT-BASED LEARNING (PBL) APPLIED TO CHIP RECYCLING FOR ADDITIVE MANUFACTURING FROM A CIRCULAR ECONOMY

Francisco de Assis Toti*; José Josimar de Oliveira*; Eliza Yoshiko Tokunaga*; Amilton Joaquim Cordeiro de Freitas*

**Centro Paula Souza – Faculdade de Tecnologia de Sorocaba*

Introdução

A crescente utilização de laminados compósitos termoplásticos reforçados com fibras contínuas de carbono (CFRPs) na indústria deve-se às vantagens dos polímeros termoplásticos, como a possibilidade de reconsolidação por temperatura e pressão e a maior vida útil. Em setores como o aeronáutico e o automobilístico, esses materiais passam por processos de usinagem, especialmente a furação, gerando cavacos que podem causar impactos ambientais relevantes. Nesse contexto, a reciclagem dos resíduos de CFRPs, alinhada aos princípios da manufatura sustentável e da economia circular, torna-se fundamental para a redução de desperdícios, reutilização desses materiais em aplicações industriais (CHATZIPARASKEVA, et al., 2022).

O setor acadêmico tem contribuído de forma crescente para o enfrentamento dos desafios ambientais por meio de ações integradas de ensino, pesquisa e extensão, nas quais a metodologia da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) se destaca pelo envolvimento dos alunos de forma inter e transdisciplinar, no contexto da curricularização da extensão. Diante disso, o presente estudo tem como objetivo analisar a aplicação da metodologia ABP, evidenciando suas contribuições para a promoção de uma aprendizagem ativa, interdisciplinar e alinhada às práticas extensionistas, no âmbito das disciplinas de Desenho Técnico Mecânico II e Metrologia Industrial, no curso superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica. Para isso, foi desenvolvido o estudo de um sistema de moagem de rolos de bancada voltado à reciclagem de cavacos (MARINESCU et al., 2016; PACINI et al., 2023).

Curricularização da extensão e aprendizagem baseada em projetos

No projeto pedagógico do curso superior de tecnologia em fabricação mecânica, do Centro Paula Souza, destaca-se a curricularização da extensão, cuja finalidade é integrar o ensino tecnológico às atividades de pesquisa e extensão, possibilitando que o aluno se aproxime e compreenda os problemas vivenciados pela comunidade em geral. O foco desse projeto corresponde às escolas de ensino fundamental e médio, feiras de Profissões e associações que tenham seu foco no atendimento de jovens e adolescentes, igrejas e órgãos públicos ou particulares que atendam um público interessado envolvendo processos de fabricação. Neste ciclo de palestras e atividades, busca-se explorar como a inovação tecnológica no setor metal mecânico impacta diretamente o desenvolvimento social e econômico. Aliado a isso, temos como objetivo principal de promover o engajamento dos alunos do curso de Fabricação Mecânica em discussões sobre os impactos da ciência, tecnologia e inovação no setor metal mecânico, enfatizando a importância da cidadania e da responsabilidade social, com o objetivo de formar profissionais conscientes, capazes de aliar suas competências técnicas à contribuição para uma sociedade mais justa e sustentável. Nas disciplinas do 2º semestre do curso de desenho técnico mecânico II e metrologia industrial são destinadas 80 horas/aula para cada uma, considerando para cada disciplina 12 horas/aula para projeto de extensão, totalizando 24 horas/aula no semestre para as atividades.

Nesse contexto, a aprendizagem baseada em projetos (ABP) surge como uma estratégia eficaz para o desenvolvimento de soluções sustentáveis aplicadas a desafios tecnológicos contemporâneos. Em revisão sobre a aplicação da metodologia ABP, Lavado-Anguera et al. (2024) concluíram que essa abordagem se mostra adequada para a implementação de um modelo pedagógico holístico no ensino superior, ao integrar conhecimentos técnicos a aspectos sociais, emocionais, éticos e ambientais. De forma complementar, Toti et al. (2021) observaram que o uso da ABP proporcionou aos alunos maior autonomia, favorecendo a apresentação de ideias, o desenvolvimento do senso criativo e investigativo e o fortalecimento de competências individuais e socioemocionais.

Resultados semelhantes foram observados por Hinostroza et al. (2025), que apontam a aprendizagem baseada em projetos como uma metodologia educacional consolidada e eficaz para o desenvolvimento de habilidades nos estudantes. Nessa abordagem, os alunos são incentivados a desenvolver projetos que apresentem aplicação prática e benefícios à sua realidade, promovendo a integração significativa da tecnologia (BASER et al., 2017).

Conforme argumentam Noordin et al. (2011), o ensino em tecnologia necessita de constantes atualizações para formar profissionais qualificados para o mercado de trabalho, uma vez que os métodos tradicionais têm se mostrado insuficientes para o desenvolvimento das competências demandadas pela indústria, cuja dinâmica está em permanente transformação. Nesse sentido, Zhang e Ma (2023) destacam que a metodologia ABP tem como objetivo o desenvolvimento de habilidades do século XXI, com ênfase na resolução de problemas con-

textualizados em situações do mundo real, promovendo o pensamento crítico e a autonomia dos estudantes.

Economia circular e reciclagem

No curso de Fabricação Mecânica, destaca-se a área de usinagem de materiais, desenvolvida em práticas de laboratório, que tradicionalmente adota métodos convencionais de descarte dos cavacos metálicos. Contudo, no caso da usinagem de materiais poliméricos e compósitos, o reaproveitamento dos resíduos ainda é praticamente inexistente. Segundo Shen et al. (2025), a expressiva geração anual de resíduos de polímeros reforçados com fibras de carbono (CFRP) representa um grave desafio ambiental, uma vez que a maior parte desse material é destinada a aterros sanitários.

Diante desse cenário, a economia circular busca estratégias voltadas à seleção e à integração de materiais compósitos, à manufatura aditiva e ao desenvolvimento de rotas de reciclagem (KANTI et al., 2026). As instituições de ensino superior desempenham um papel duplo e valioso na disseminação da economia circular (EC) como um novo paradigma de sustentabilidade, pois ensinam os alunos sobre este tema e preparam os futuros professores para incorporar a sustentabilidade em outros níveis de ensino (BUGALLO-RODRÍGUEZ e VEGA-MARCOTE, 2020). Para acelerar a transição para a economia circular, torna-se necessário que os docentes compreendam como integrar esse conceito de forma holística aos currículos, contribuindo para a formação de profissionais capacitados a atuar segundo os princípios da sustentabilidade (RENFORS, 2024).

Nos últimos anos, a manufatura aditiva com fibra de carbono reciclada tem despertado grande interesse, principalmente pelo enorme potencial de reaproveitamento de resíduos provenientes de CFRPs (HUROL et al., 2022). Para Vogiantzi e Tserpes (2025) são três técnicas principais de reciclagem para CFRP: reciclagem mecânica, térmica e química. O processo de reciclagem mecânica envolve a moagem de componentes de CFRP em fragmentos menores e, em seguida, a moagem até obter um pó fino.

Métodos de reciclagem eficazes são essenciais para enfrentar desafios ambientais e econômicos, destacando-se a reciclagem mecânica pelo seu baixo consumo energético e reduzido impacto ambiental (ALDOSARI et al., 2024). Nesse modelo, a manufatura de produtos deve gerar o mínimo possível de resíduos, a fim de reduzir os impactos ambientais e contribuir para a melhoria dos ambientes urbanos, uma das metas associadas ao conceito de cidades inteligentes (TOTI, 2025). Aliado a isso, a transição de uma economia linear para uma economia circular no contexto dos materiais compósitos, considerando especificamente as implicações econômicas, tecnológicas e ambientais das práticas sustentáveis, mostra-se imprescindível (CHEN et al., 2023).

DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

O estudo foi desenvolvido no âmbito das ações de extensão vinculadas ao curso de Tecnologia em Fabricação Mecânica, com o objetivo de difundir e tornar acessíveis conhe-

cimentos técnicos próprios da área, articulados a demandas contemporâneas de mercado, tecnologia e sustentabilidade. A proposta considera dimensões como comunicação e cultura, tecnologia, educação étnico-cultural, direitos humanos e meio ambiente, em consonância com os princípios da curricularização da extensão.

As disciplinas de desenho técnico mecânico II e metrologia industrial compõem a estrutura curricular do segundo semestre do curso. Nesse contexto, o projeto de curricularização da extensão visa divulgar a área metal mecânica por meio de palestras e apresentações relacionadas a processos de fabricação, tais como usinagem, conformação, soldagem e montagem, destinadas à comunidade em geral.

No desenvolvimento do projeto, o objetivo principal consistiu na modelagem tridimensional (3D) dos elementos de máquinas e na elaboração de seus respectivos desenhos de fabricação, objetivando à futura construção de uma bancada de acionamento mecânico. Adicionalmente, foram avaliadas as tolerâncias dimensionais e geométricas dos elementos projetados, bem como dos componentes que integrarão a bancada, considerando as condições de montagem do sistema de moagem de rolos destinado ao processamento de cavacos oriundos da usinagem de laminados compósitos termoplásticos reforçados com fibras contínuas de carbono (PPS-CFRP).

Cabe ressaltar que o presente estudo se concentra nas etapas de concepção e detalhamento do projeto, não contemplando, neste momento, a construção do protótipo nem a realização de testes experimentais. A Figura 1 mostra a bancada de acionamento mecânico do laboratório de elementos de máquinas.

Figura 1- Bancada de acionamento mecânico.



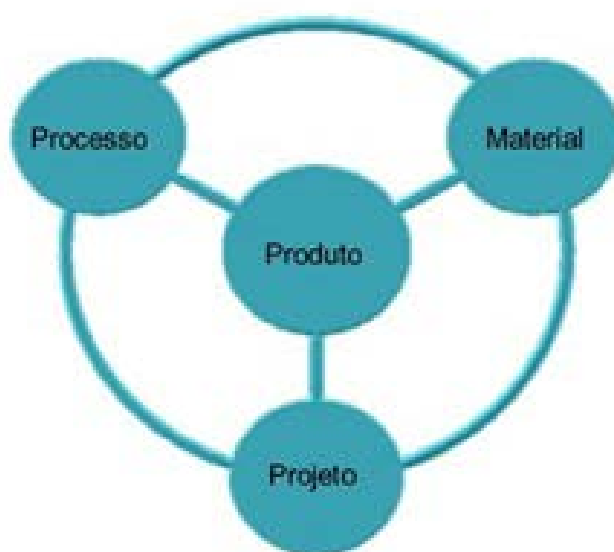
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A metodologia da aprendizagem baseada em projetos (ABP) envolveu a participação de quatro (4) professores e vinte (20) alunos das disciplinas mencionadas, considerando três

áreas no desenvolvimento de um produto, neste caso, um sistema de moagem de rolos. A área de projeto compreende as etapas de análise da necessidade que pode ser atual ou futura do produto, seguida da avaliação das soluções capazes de atender ao maior número possível de requisitos e variáveis do projeto. Posteriormente, comunica-se a solução proposta e, por fim, o detalhamento do produto.

Esse processo é viabilizado pela inter-relação com as áreas de processos e de materiais, uma vez que a seleção adequada do material e a definição do respectivo processo de fabricação são etapas essenciais, pois sem elas, o desenvolvimento do produto torna-se inviável. A Figura 2 apresenta as três áreas integradas no processo de desenvolvimento do produto.

Figura 2 - Três áreas integradas no desenvolvimento de produto.



Fonte: Toti (2025).

As etapas desenvolvidas na metodologia ABP pelos alunos são apresentadas a seguir:

- a. a) apresentação do projeto - foram avaliados e definidos os elementos de máquinas da bancada de acionamento que serão utilizados no sistema de moagem de rolos. Um dos pontos fortes do projeto é que além da moagem dos cavacos, o sistema fará parte das atividades práticas de montagem e montagem de sistema de acionamento da disciplina de elementos de máquinas.
- b. b) avaliação das soluções - os alunos participaram na avaliação das informações que poderiam ser obtidas pelas tecnologias do computador auxiliando o projeto (CAD) e do computador auxiliando a manufatura (CAM) dos elementos de máquinas que serão fabricados para posterior montagem na bancada de acionamento. Para isso, foi avaliado quais frentes de trabalho que poderiam ser criadas e quais poderiam atuar.
- c. c) Comunicação da solução - nessa etapa foi amplamente discutida pelos alunos, destacando o desenvolvimento da autonomia deles com uma visão crítica da reali-

dade e das soluções propostas. Segundo Paiva et al. (2016), na revisão integrativa das metodologia ativas constataram seus benefícios no ensino-aprendizagem, destacando o desenvolvimento da autonomia do aluno com uma visão crítica da realidade. Para Toti et al. (2023), na aprendizagem no ensino superior são aplicadas metodologias ativas objetivando que os alunos desenvolvam o senso crítico e investigativo na busca pelo conhecimento científico para aplicá-lo na resolução e comunicação de problemas.

- d. d) Definição das frentes de trabalho - após reuniões entre professores e alunos, foram estabelecidas três frentes de trabalho e a definição da atuação de cada integrante do grupo, ressaltando-se que todas as informações geradas ao longo do projeto deveriam ser compartilhadas entre os participantes. A primeira frente de trabalho teve como objetivo a realização de atividades no laboratório de Elementos de Máquinas, visando ao conhecimento da bancada de acionamento mecânico e de seus componentes. A segunda frente de trabalho envolveu o controle dimensional dos elementos mecânicos disponíveis na bancada de acionamento selecionados para a montagem do sistema de moagem de rolos, sendo as atividades desenvolvidas no laboratório de Metrologia Industrial. Foram utilizados os equipamentos: paquímetro, micrometro e projetor de perfil. Já as atividades da terceira frente de trabalho foram realizadas no Laboratório Multidisciplinar II, com o uso de tecnologias CAD/CAM para a modelagem e análise dos componentes do sistema. Para isso foi utilizado o software Inventor da Autodesk, versão educacional 2025.

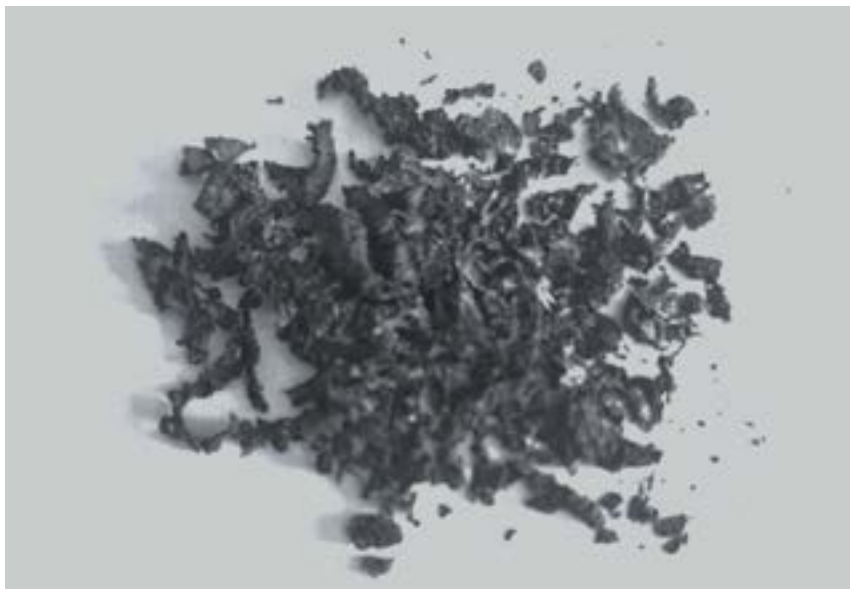
As atividades ocorreram de forma sincronizada ao longo do segundo semestre de 2025, período em que os alunos também tiveram contato com o material doado do laminado compósito de grau aeronáutico utilizado na usinagem, bem como com o tipo de cavaco gerado no processo (TOTI, 2023). As Figuras 3 e 4 apresentam, respectivamente, a placa do laminado compósito PPS-C e os cavacos obtidos durante a usinagem.

Figura 3 – Placa do laminado compósito.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Figura 4 – Cavacos do laminado compósito.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Destaca-se que o tema manufatura aditiva foi apresentado aos alunos, bem como será o processo de produção experimental do filamento obtido a partir da reciclagem dos cavacos. Em etapa futura, o filamento terá diâmetro nominal de 1,75 mm, com tolerância de $\pm 0,05$ mm, e será posteriormente produzido em uma extrusora de bancada disponível no laboratório de Polímeros. Esse material será submetido à análise de uniformidade, densidade e caracterização de suas propriedades físico-mecânicas, conforme a norma ASTM D638-14, proporcionando aos alunos uma compreensão objetiva do processo de reciclagem dentro do contexto da economia circular. Essa abordagem vai ao encontro de estudos anteriores que apontam a urgência da avaliação ambiental e econômica de compósitos sob a perspectiva da economia circular como fator essencial para o crescimento sustentável do uso de CFRP, além de orientar estratégias voltadas à minimização de seus impactos ambientais (ABBATE et al., 2022).

Resultados

Os resultados apresentados neste estudo referem-se predominantemente ao processo de ensino-aprendizagem proporcionado pela aplicação da metodologia ABP, sendo o sistema de moagem de rolos utilizado como recurso didático para integração dos conteúdos, e não como um produto técnico validado. Na primeira frente de trabalho, após o reconhecimento da bancada de acionamento mecânico e o manuseio de seus componentes, foi definido o conjunto de acionamento, composto por um motor elétrico associado a um inversor de frequência. Esse conjunto é responsável pelo controle da velocidade, do torque e da eficiência do sistema. Para a conexão entre os eixos, foi selecionado um acoplamento flexível, considerando sua facilidade de montagem e desmontagem, bem como sua capacidade de compensar desalinhamentos.

O sistema de transmissão de potência foi projetado a partir de um par de engrenagens cilíndricas de dentes retos, responsável por garantir a transmissão do torque do eixo motriz para o eixo movido. O eixo movido foi modelado em ambiente tridimensional (3D), e seu desenho de fabricação foi desenvolvido, conforme detalhado na descrição da outra frente de trabalho.

Para o suporte e alinhamento dos eixos, foram selecionados mancais de rolamento, sendo dois configurados como mancais fixos e os outros dois como mancais livres, assegurando a correta acomodação das dilatações térmicas e o bom funcionamento do conjunto. Esses tópicos foram abordados na disciplina de desenho técnico mecânico II, considerando também o aprendizado das disciplinas do 1º semestre do curso de fabricação mecânica.

Nesse contexto, a metodologia da Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) apresenta caráter interdisciplinar e pode também ser caracterizada como transdisciplinar, uma vez que promove a integração de diferentes áreas do conhecimento no desenvolvimento de projetos voltados à resolução de problemas reais. Segundo Sánchez-García et al. (2025), a metodologia ABP abrange desde a concepção do projeto até as estratégias de avaliação e o alinhamento interdisciplinar, sendo identificados desafios relacionados à consistência entre as práticas pedagógicas e a execução dos procedimentos

Figura 5 – Componentes mecânicos da bancada de acionamento.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Na segunda frente de trabalho, os alunos aplicaram, de forma prática, os conhecimentos teóricos da disciplina de Metrologia Industrial, uma vez que os componentes mecânicos da bancada de acionamento foram avaliados quanto às tolerâncias dimensionais e geométricas. Entretanto, a situação-problema identificada consistiu no fato de que as dimensões nominais disponíveis haviam sido definidas para uma série de montagens de sistemas de acionamento distintos, e não especificamente para o sistema de moagem de rolos.

Dessa forma, tornou-se necessária a realização de uma análise dimensional e geométrica completa, considerando que os ajustes definidos deveriam ser aplicados aos demais

elementos a serem fabricados, de modo a garantir a facilidade de montagem e desmontagem do conjunto, discutida na disciplina de metrologia industrial.

Diante do exposto, a segunda frente de trabalho reuniu-se com a terceira frente de trabalho para a definição do desenho de fabricação. A experiência desenvolvida está alinhada aos achados de estudos anteriores, indicando que a metodologia da aprendizagem baseada em projetos (ABP) desloca o foco da recepção passiva de informações para a aprendizagem ativa, estimulando o protagonismo discente e o trabalho colaborativo (MUTANGA, 2024).

Os grupos de alunos da primeira e da segunda frentes de trabalho relataram ao grupo da terceira frente as dificuldades relacionadas aos ajustes e às tolerâncias entre os componentes. Após análise e discussão coletiva, procedeu-se ao desenvolvimento da modelagem dos elementos da bancada de acionamento, subsidiando a tomada de decisões ocorrida no contexto da disciplina de desenho técnico mecânico II.

Essa etapa foi considerada o fechamento do estudo, uma vez que as decisões foram tomadas por consenso entre todos os alunos, os quais demonstraram elevado nível de motivação do trabalho desenvolvido pela metodologia ABP. De acordo com Sanatbay et al. (2025) essa metodologia muda o foco da recepção passiva de informações para a aprendizagem ativa, onde os alunos assumem a responsabilidade por sua jornada educacional, muitas vezes trabalhando em equipes colaborativas. A relação positiva entre os componentes da ABP e a independência de aprendizagem confirmam que a ABP incentiva a aprendizagem ativa e a autonomia dos alunos (NOVALIA et al., 2025). A Figura 6 mostra a modelagem 3D de um dos componentes estudados no sistema de moagem por rolos.

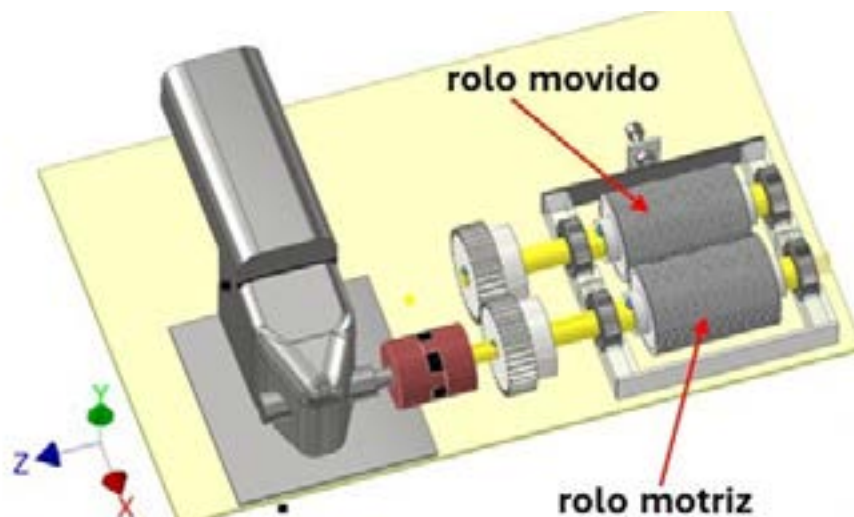
Figura 6 – Modelo 3D do eixo motriz do sistema de moagem de rolos.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

A Figura 7 mostra a versão 01 da modelagem em 3D do sistema de moagem de rolos para cavacos que ainda sofrerá outras alterações até a versão final para fabricação e montagem.

Figura 7 – Modelagem em 3D do sistema de moagem de rolos versão 01.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo permitem evidenciar, sob uma perspectiva qualitativa, que a aplicação da metodologia de Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) favorece o desenvolvimento da aprendizagem ativa, da autonomia e da integração interdisciplinar no contexto da formação do discente. A utilização do desenvolvimento de um sistema de moagem de rolos de cavacos como elemento estruturador das atividades possibilitou aos estudantes do curso de Fabricação Mecânica a articulação entre conhecimentos teóricos e práticos, especialmente nas áreas de metrologia industrial e desenho técnico mecânico.

É importante ressaltar que os resultados apresentados devem ser compreendidos como parte do processo de ensino-aprendizagem, não tendo como objetivo central a validação de um produto, mas sim a promoção de experiências formativas alinhadas aos princípios da economia circular e da curricularização da extensão. Dessa forma, o estudo contribui ao evidenciar o potencial da ABP como estratégia pedagógica no ensino tecnológico, especialmente quando associada a temas contemporâneos como sustentabilidade e inovação. Como perspectivas futuras, recomenda-se o aprofundamento das análises quantitativas relacionadas ao desempenho do sistema de moagem de rolos.

Por fim, os resultados alcançados foram apresentados pelos alunos durante a 35ª Semana de Tecnologia da Fatec Sorocaba, contribuindo para a motivação dos estudantes ingressantes do curso de Fabricação Mecânica, bem como da comunidade em geral participante do evento.

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não têm quaisquer conflitos de interesse.

- ABBATE, E.; MIRPOURIAN, M.; BRONDI, C.; BALLARINO, A.; COPANI, G. **Environmental and economic assessment of repairable carbon-fiber-reinforced polymers in circular economy perspective**. *Materials*, v. 15, n. 9, e2986, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15092986>.
- ALDOSARI, S. M. et al. **Mechanical recycling of carbon fiber-reinforced polymer in a circular economy**. *Polymers*, v. 16, n. 10, e1363, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym16101363>.
- ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D638-14: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**. West Conshohocken, PA: ASTM, 2014.
- BASER, D.; OZDEN, M. Y.; KARAARSLAN, H. **Collaborative project-based learning: an integrative science and technological education project**. *Research in Science & Technological Education*, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/02635143.2016.1274723>.
- BUGALLO-RODRÍGUEZ, A.; VEGA-MARCOTE, P. **Circular economy, sustainability and teacher training in a higher education institution**. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, v. 21, n. 7, p. 1351–1366, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJSHE-02-2020-0049>.
- CHATZIPARASKEVA, G. et al. **End-of-life of composite materials in the framework of the circular economy**. *Microplastics*, v. 1, p. 377–392, 2022.
- CHEN, K. et al. **Long-term aged fibrous polypropylene microplastics promote nitrous oxide, carbon dioxide, and methane emissions from a coastal wetland soil**. *Science of the Total Environment*, v. 896, e166332, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166332>.
- HINOSTROZA, J. E. et al. **Phases and activities of technology-integrated project-based learning in K-12: findings from a systematic literature review**. *Education Sciences*, v. 15, n. 8, e1021, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci15081021>.
- HUROL, K. et al. **A new approach for the reuse of scrap carbon fiber in high-added-value continuous fiber reinforced composite structures**. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 163, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2022.107272>.
- KANTI, D. et al. **Advancing sustainability: circular economy strategies for fibrous polymer composites**. *Cleaner Materials*, v. 19, 2026.
- LAVADO-ANGUERA, S.; VELASCO-QUINTANA, P.-J.; TERRÓN-LÓPEZ, M.-J. **Project-based learning (PBL) as an experiential pedagogical methodology in engineering education: a review of the literature**. *Education Sciences*, v. 14, n. 6, e617, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci14060617>.
- MARINESCU, I. D. et al. **Handbook of machining with grinding wheels**. Boca Raton: CRC Press, 2006.
- MUTANGA, M. B. **Students' perspectives and experiences in project-based learning: a qualitative study**. *Trends in Higher Education*, v. 3, p. 903–911, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/higheredu3040052>.
- NOORDIN, M. K.; MD. NASIR, A. N. **Problem-based learning (PBL) and project-based learning (PjBL) in engineering education: a comparison**. In: IETEC'11 CONFERENCE, 2011, Kuala Lumpur. *Proceedings...* Kuala Lumpur: IETEC, 2011.
- NOVALIA, R. et al. **Project-based learning for higher education students' learning independence**. *Social Sciences & Humanities Open*, v. 11, e101530, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101530>.
- PAIVA, M. R. F. et al. **Metodologias ativas de ensino-aprendizagem: revisão integrativa**. *Sanare*, v. 15, n. 2, p. 145–153, 2016.
- PACINI, A. et al. **Direct recycling of WC-Co grinding chip**. *Materials*, v. 16, e1347, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma16041347>.
- RENFORS, S. **Education for the circular economy in higher education: an overview of the current state**. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, v. 25, n. 9, p. 111–127, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJSHE-07-2023-0270>.
- RIORDAN, R. **Project-based learning engages students in meaningful work**. *Middle School Journal*, v. 43, n. 2, p. 18–23, 2011. DOI: <https://doi.org/10.2307/23024494>.
- SANATBAY, P. et al. **Problem-oriented learning as a method of developing soft skills among students**. *Education Sciences*, v. 15, art. 861, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci15070861>.

- SÁNCHEZ-GARCÍA, R.; REYES-DE-CÓZAR, S. **Enhancing project-based learning: a framework for optimizing structural design**. Sustainability, v. 17, art. 4978, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17114978>.
- SHEN, M.-Y.; GUO, Z.-H.; LIU, W.-L. **A critical study on high-performance regenerated carbon fiber composites**. Advanced Composites and Hybrid Materials, v. 8, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42114-025-01382-2>.
- TOTI, F. A. **Reciclagem do cavaco de laminado CFRP: uma abordagem para a manufatura sustentável**. Sorocaba: Tech City Summit, 2025.
- TOTI, F. A. **Estudo comparativo do comportamento em usinagem por furação**. 2023. 132 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.
- TOTI, F. A. et al. **Metodologia por aprendizagem baseada em projetos (ABP) em disciplina de ensino superior**. In: CONEMI, 21., 2021, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, 2021.
- TOTI, F. A. et al. **Aplicação das tecnologias CAD/CAM/CAE no estudo da usinabilidade de polímeros utilizando ABP**. In: SIMPÓSIO DOS PROGRAMAS DE MESTRADO PROFISSIONAL, 18., 2023, São Paulo. Anais... São Paulo, 2023.
- VOGIANZI, C.; TSERPES, K. A. **Comparative environmental and economic analysis of CFRP recycling processes**. Journal of Composites Science, v. 9, n. 1, p. 39, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcs9010039>.
- ZHANG, L.; MA, Y. **Impact of project-based learning on student learning effects: a meta-analysis**. Frontiers in Psychology, v. 14, e1202728, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1202728>.