DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPOS COMO FERRAMENTA DE APRENDIZAGEM EM PROCESSOS DE FUNDIÇÃO

Valmir Torres de Oliveira[1]
Janaina da Costa Pereira Torres de Oliveira[2]
João Henrique Brandenburger Hoppe[3]
Yuri Neville Costa Rodrigues[4]

Dados de Identificação

Disciplina: Fundição
Período: 8º período
Curso: Engenharia Mecânica

Objetivo(s) da Ação

Desenvolver protótipos como ferramenta de aprendizagem para aprimorar o entendimento e a aplicação prática dos processos de fundição, proporcionando aos alunos do oitavo período do curso de engenharia mecânica uma experiência educacional integrada e multidimensional. Essa ação visa:

- Fortalecer a compreensão teórica e prática dos processos de fundição por meio da construção e análise de protótipos funcionais.
- Estimular a criatividade e a capacidade de inovação dos alunos ao enfrentar desafios técnicos reais relacionados à fabricação e à otimização de processos de fundição.
- Promover o desenvolvimento de competências técnicas, como projeto,

[1] Mestre em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal Fluminense (UFF), docente do UGB-FERP.
[2] Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Universidade de São Paulo (USP), docente do UGB-FERP.
[3] Engenheiro Mecânico pós-graduado em Segurança do Trabalho (UniFOA), docente do UGB-FERP.
[4] Graduando do curso de Engenharia Mecânica (UGB-FERP).

modelagem, análise e validação de protótipos, utilizando metodologias modernas e ferramentas de engenharia.

- Proporcionar um ambiente colaborativo que valorize o trabalho em equipe e a resolução de problemas, aproximando os alunos das práticas e exigências do mercado de trabalho.
- Conectar o aprendizado acadêmico à realidade industrial, capacitando os alunos a aplicar soluções técnicas em contextos reais, com foco na eficiência e sustentabilidade dos processos de fundição.

Conteúdos Trabalhados

Conforme Garbin *et al*. (2017, p. 9) “a prototipagem é relevante pois tem por objetivo proporcionar aos alunos diferentes perspectivas sobre o processo de projeção e maturação de soluções para que sejam relevantes no contexto analisado”. Por meio do desenvolvimento de protótipos, os estudantes obtêm experiências práticas que integram conhecimentos teóricos e aplicados, promovendo uma compreensão mais profunda dos princípios e desafios envolvidos nesses processos (Elverum; Welo, 2015). A importância do aprendizado baseado em protótipos está na capacidade de conectar a aprendizagem acadêmica às realidades industriais, permitindo que os estudantes de engenharia explorem conceitos como transferência de calor, solidificação e propriedades dos materiais (Kaminski; da Silva, 2015). Como enfatizam Kalpakjian e Schmid (2014), o engajamento prático com processos de fabricação fortalece a compreensão teórica e aprimora as habilidades de resolução de problemas.

Neste relato é utilizado o conceito de prototipagem na disciplina de fundição. A fundição é um dos processos mais antigos e versáteis na transformação de metais em produtos de diferentes tamanhos, formas e aplicações. Sua utilização remonta a milhares de anos, com registros datados de antes de 3000 a.C., quando se iniciaram os primeiros trabalhos em cobre. Desde então, avanços significativos permitiram que a fundição deixasse de ser apenas uma arte artesanal para se tornar um campo tecnológico altamente especializado. Este processo consiste essencialmente em aquecer um metal até seu estado líquido e vertê-lo em moldes que reproduzam o

formato desejado. Hoje, é um dos pilares da indústria moderna, especialmente em setores como o automotivo, aeroespacial e de infraestrutura (Bar–Meir, 2009; Soares, 2000). A seguir é apresentado cada processo de fundição utilizado na construção dessa prática pedagógica.

A fundição em areia destaca-se por sua simplicidade, flexibilidade e baixo custo. Este método utiliza moldes feitos de areia combinada com aglomerantes que proporcionam estabilidade e resistência mecânica. É uma técnica amplamente utilizada na produção de peças de grande porte e geometria complexa, compatível com materiais como ferro fundido, aço e ligas de alumínio. Apesar de sua simplicidade, apresenta desafios como o controle de parâmetros térmicos e a prevenção de defeitos como trincas e porosidade (Tâmega, 2017, p. 97; Campbell, 2011). O processo de fundição em cera perdida é amplamente reconhecido por sua precisão e capacidade de reproduzir detalhes complexos. Ele envolve a criação de um modelo em cera que é recoberto por um revestimento cerâmico. Após a remoção da cera por aquecimento, o molde resultante é preenchido com metal líquido. Este método é especialmente valorizado na indústria aeroespacial e na produção de joias, onde a precisão é fundamental (Groover, 2016).

A fundição em moldes metálicos, também conhecida como fundição permanente, utiliza moldes de metal reutilizáveis. Este método é ideal para produções em larga escala devido à sua eficiência e capacidade de produzir peças com excelente uniformidade dimensional. Com aplicações que vão desde componentes automotivos até dispositivos médicos, esta técnica se destaca também pela redução do desperdício de material (Groover, 2016).

A fundição por centrifugação utiliza forças centrífugas para distribuir o metal líquido uniformemente dentro do molde, criando peças de alta densidade e resistência mecânica. Este processo é comumente aplicado na produção de tubos, anéis e outras formas circulares. Sua capacidade de minimizar defeitos internos torna-o indispensável em aplicações industriais críticas (Campbell, 2011).

A fundição sob pressão é caracterizada pelo uso de máquinas que injetam metal líquido em moldes metálicos a alta pressão. Este método permite a produção de peças complexas com tolerâncias rigorosas e excelente acabamento superficial. A indústria automotiva é uma das maiores usuárias deste processo devido à necessidade de componentes leves e duráveis (Bar–Meir, 2009).

Na fundição contínua, o metal líquido é vertido continuamente em moldes refrigerados, onde solidifica em forma de tarugos, chapas ou fios. Este processo é amplamente utilizado em siderúrgicas devido à sua alta produtividade e eficiência no uso de recursos (Rundman, 2008).

A fundição por gravidade é uma técnica tradicional onde o metal líquido preenche o molde apenas pela força da gravidade. Este processo é economicamente viável para a produção de peças menos complexas, mas com boa resistência estrutural (Soares, 2000).

Procedimentos

A aplicação de protótipos é essencial para o aprendizado e inovação nos processos de fundição. Os protótipos permitem a validação de designs e a detecção precoce de problemas, economizando tempo e recursos (Carvalho; Cameira, 2016). O desenvolvimento de protótipos nos diversos métodos de fundição permite que os estudantes obtenham *insights* práticos sobre as particularidades de cada processo. Como observado por Childs (2021), a experiência prática em processos de fabricação estimula a inovação e uma compreensão mais profunda das complexidades da engenharia.

A construção de protótipos em processos de fundição é uma etapa essencial para validar conceitos, verificar especificações e preparar soluções eficientes antes da produção em larga escala. Cada processo de fundição apresenta especificidades que influenciam as etapas de construção do protótipo, considerando os materiais, ferramentas e métodos aplicados. A seguir, descrevem-se os procedimentos gerais:

- *Divisão dos grupos e dos temas*: foram sugeridos sete temas, que são: fundição em areia, fundição em cera perdida, fundição em moldes metálicos, fundição por centrifugação, fundição sob pressão, fundição contínua, e fundição por gravidade. Cada grupo com cinco alunos em média.
- *Definição de objetivos e requisitos do protótipo*: determinam-se os parâmetros técnicos, como forma, dimensões, tolerâncias, acabamento e propriedades mecânicas desejadas.
- *Escolha dos materiais*: os materiais para o protótipo e o molde são

selecionados com base nas propriedades mecânicas e térmicas necessárias. Exemplos incluem metais como alumínio, ferro fundido e aço, bem como materiais refratários para moldes.

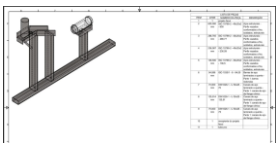
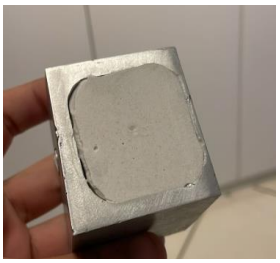
- *Modelagem e design digital*: utiliza-se software de modelagem CAD (*Computer-Aided Design*) para criar representações tridimensionais precisas do protótipo.
- *Fabricação do molde ou modelo*: dependendo do processo, o molde ou modelo é criado usando técnicas específicas, como impressão 3D, usinagem ou conformação manual.
- *Fusão e vazamento*: o metal é aquecido até atingir o estado líquido e, em seguida, vertido no molde sob condições controladas.
- *Solidificação e resfriamento*: após o vazamento, o metal solidifica no molde, formando a peça desejada.
- *Acabamento e inspeção*: incluem-se processos como rebarbação, polimento e controle dimensional para garantir que o protótipo atenda às especificações.
- *Apresentação*: apresentação final.

Resultados

A construção de protótipos em processos de fundição exige um planejamento detalhado e a aplicação de técnicas específicas adaptadas a cada método. O Quadro 1 apresenta os protótipos desenvolvidos por cada grupo.

Quadro 1 – Protótipos desenvolvidos pelos alunos do 8º período do curso de Engenharia Mecânica

Fundição em areia			
Fundição em cera perdida			

Fundição em moldes metálicos			
Fundição por centrifugação			
Fundição sob pressão			
Fundição por gravidade			

Fonte: Os autores (2025)

A seguir, são destacados os principais resultados:

- *Compreensão prática dos processos de fundição*: o desenvolvimento de protótipos permite que os alunos vivenciem na prática os conceitos teóricos apresentados em sala de aula. Eles têm a oportunidade de aplicar princípios de engenharia de materiais no manuseio de metais e ligas; compreender as etapas do ciclo de fundição, desde a criação do molde até o acabamento; e identificar as variáveis críticas, como controle de temperatura, tempo de resfriamento e comportamento dos materiais durante a solidificação.
- *Desenvolvimento de habilidades técnicas*: Ao trabalhar com protótipos, os

alunos desenvolvem competências técnicas relevantes, como: uso de ferramentas de modelagem computacional (CAD) para criar projetos detalhados; operação de equipamentos, como máquinas de fundição; e realização de testes de qualidade, como inspeção dimensional, análise metalográfica e testes de resistência mecânica.

- *Incentivo à solução de problemas*: o processo de construção de protótipos apresenta desafios reais que exigem que os alunos: diagnostiquem falhas nos moldes e nos processos de fundição; adotem métodos analíticos para solucionar problemas como porosidade, trincas ou descontinuidades; e aprendam a tomar decisões baseadas em dados experimentais e simulações computacionais.
- *Estímulo à criatividade e inovação*: os alunos são incentivados a explorar diferentes materiais e técnicas para criar protótipos inovadores. Este ambiente experimental promove: a busca por soluções originais para problemas práticos; a integração de tecnologias emergentes, como impressão 3D, em processos tradicionais; e a proposição de melhorias em processos de fundição existentes.
- *Desenvolvimento de trabalho colaborativo*: o trabalho em equipe é fundamental no desenvolvimento de protótipos, permitindo que os alunos: aprendam a trabalhar em grupos multidisciplinares, onde cada membro contribui com conhecimentos específicos; melhorem suas habilidades de comunicação técnica e coordenação; e compreendam a importância da colaboração em projetos industriais.
- *Consolidação da aprendizagem ativa*: o desenvolvimento de protótipos incorpora princípios da aprendizagem ativa, na qual os alunos se tornam protagonistas do processo educacional. Eles: refletem sobre suas práticas, identificando erros e áreas de melhoria; relacionam o aprendizado teórico com a prática experimental; e desenvolvem autonomia para planejar, executar e avaliar projetos técnicos.
- *Preparação para o mercado de trabalho*: os resultados metodológicos também impactam diretamente a empregabilidade dos alunos, pois: eles adquirem experiência prática que os diferencia no mercado de trabalho; desenvolvem habilidades essenciais para atuar em indústrias de manufatura e fundição; e

aprendem a documentar processos e apresentar resultados, competências valorizadas por empregadores.

O desenvolvimento de protótipos como ferramenta de aprendizado em processos de fundição transforma o ensino superior ao unir teoria e prática de maneira integrada. Este método fortalece o aprendizado técnico, incentiva a criatividade e prepara os alunos para desafios reais do mercado, consolidando a educação como um pilar essencial para a inovação industrial.

Referências

BAR–MEIR, G. **Fundamentals of die casting design.** Minneapolis: 2009.

CAMPBELL, J. **Complete casting handbook:** metal casting processes, metallurgy, techniques and design. Birmingham: Elsevier, 2011.

CARVALHO, J. G. G.; CAMEIRA, R. F. **O desenvolvimento de protótipos nas indústrias: uma visão geral e perspectivas futuras**. XXXVI Encontro Nacional De Engenharia de Produção. João Pessoa, 2016.

CHILDS, T. H. C. **Practical Manufacturing Processes.** 2nd ed. London: CRC Press, 2021.

ELVERUM, C. W.; WELO, T. On the use of directional and incremental prototyping in the development of high novelty products: Two case studies in the automotive industry. **Journal of Engineering and Technology Management**, 2015.

GARBIN, *et al*. **Prototipagem como estratégia de aprendizagem ativa em cursos de graduação**. 23º Congresso Internacional ABED de Educação a Distância. Foz do Iguaçu, 2017.

GROOVER, M. P. **Fundamentals of Modern Manufacturing:** Materials, Processes, and Systems. 6th ed. Hoboken: Wiley, 2016.

KALPAKJIAN, S.; SCHMID, S. R. **Manufacturing engineering and technology.** 7th ed. Boston: Pearson, 2014.

KAMINSKI, P. C.; DA SILVA, G. C. Selection of virtual and physical prototypes in the

product development process. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 2015.

RUNDMAN, Karl B. **Metal casting.** Michigan Tech. University, 2008.

SOARES, G. A. **Fundição:** mercado, processos e metalurgia. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000.

TÂMEGA, F. **Fundição de processos siderúrgicos.** Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017.