

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
PAULA SOUZA
ETEC PHILADELPHO GOUVÊA NETTO
Técnico em Mecânica**

**Alisson Henrique Pereira Santos
Marcio Roberto de Freitas
Rafael Fernandes Bruno Bueno
Victor Gabriel Monteiro Arrais
Lucas Santos Guimarães**

Forno de Fundição a Gás de Pequeno Porte

**São José do Rio Preto
2025**

Forno de Fundição a Gás de Pequeno Porte

Categoria do trabalho (Monografia, Trabalho de Conclusão de Curso, Dissertação, Tese) apresentada à Etec Philadelpho Gouvêa Netto - CPS como parte dos requisitos para obtenção do título de técnico em mecânica industrial.

Professor de TCC
Sidnei Cavassana

Nome do orientador
Eduardo Prazias

São José do Rio Preto
2025

FOLHA DE APROVAÇÃO

**Alisson Henrique Pereira Santos
Marcio Roberto de Freitas
Rafael Fernandes Bruno Bueno
Victor Gabriel Monteiro Arrais
Lucas Santos Guimarães**

Forno de Fundição a Gás de Pequeno Porte

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Etec Philadelpho Gouvêa Netto, do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (CPS), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Técnico em Mecânica.

Aprovado em: 26 / 11 /2025.

Banca Examinadora:

Prof. Sidnei Cavassana
Examinador — Etec Philadelpho Gouvêa Netto

Prof. Edson Belon
Examinador — Etec Philadelpho Gouvêa Netto

Prof. Márcio Marques Ribeiro
Examinador — Etec Philadelpho Gouvêa Netto

**São José do Rio Preto
2025**

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho a todos que fizeram parte da nossa trajetória acadêmica e pessoal. Às nossas famílias, pelo apoio constante, pela paciência e por acreditarem em nós mesmo nos momentos mais difíceis. Aos amigos e colegas, pela parceria, pelas trocas de conhecimento e pelo incentivo mútuo que nos fortaleceu ao longo do curso.

Aos professores, pela dedicação e por compartilharem não apenas o saber técnico, mas também valores que levaremos para nossa vida profissional. E, especialmente, a nós mesmos, por termos enfrentado os desafios com determinação, superado obstáculos e chegado até aqui com esforço e união.

Este TCC representa não apenas a conclusão de uma etapa importante, mas também o início de novas conquistas que virão.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, em primeiro lugar, a Deus, por nos conceder força, sabedoria e saúde para enfrentar os desafios dessa jornada acadêmica. Às nossas famílias, pelo apoio incondicional, pela paciência nos momentos difíceis e por acreditarem em nós desde o início. Sem esse suporte, não teríamos chegado até aqui. Aos professores e colaboradores da instituição, pela dedicação, pelo conhecimento compartilhado e pela orientação que foram fundamentais para nossa formação técnica e pessoal. Aos colegas de curso, pela parceria, pelas trocas de experiências e pelo companheirismo que tornaram essa caminhada mais leve e enriquecedora.

“O sucesso é a soma de pequenos esforços
repetidos dia após dia.”

Robert Collier

RESUMO

O presente projeto experimental teve como objetivo o desenvolvimento de um forno para fundição de metais, projetado para possibilitar a fusão de diferentes ligas metálicas de maneira prática, segura e acessível. A proposta surgiu da necessidade de criar um equipamento de baixo custo e fácil construção, que pudesse atender tanto a oficinas de pequeno porte quanto a instituições de ensino técnico, especialmente na área de metalurgia e mecânica industrial. O forno foi concebido com foco na simplicidade de operação, utilizando materiais de fácil aquisição e técnicas de montagem viáveis para estudantes e profissionais em formação. Durante o processo de desenvolvimento, foram considerados aspectos como eficiência térmica, segurança no manuseio, durabilidade dos materiais empregados e a viabilidade de reprodução do projeto em diferentes contextos. Além de permitir a produção de peças metálicas com diversas finalidades, o equipamento também se apresenta como uma ferramenta didática de grande relevância, pois possibilita a aplicação prática de conceitos teóricos relacionados à fundição, ligas metálicas, transferência de calor e processos industriais em escala reduzida. Dessa forma, contribui para a formação de futuros profissionais, aproximando-os da realidade do setor produtivo e estimulando a experimentação e a inovação. O projeto, portanto, alia caráter educacional e aplicabilidade prática, oferecendo uma solução que pode ser utilizada tanto no ambiente acadêmico quanto em atividades produtivas de menor escala. Espera-se que sua implementação favoreça o aprendizado, incentive a pesquisa aplicada e fortaleça a integração entre teoria e prática no campo da mecânica industrial.

Palavras-chave: Forno de fundição. Ligas metálicas. Metalurgia. Educação técnica. Mecânica industrial.

ABSTRACT

This experimental project aimed to develop a metal casting furnace designed to enable the melting of different metallic alloys in a practical, safe, and accessible way. The proposal arose from the need to create low-cost equipment with simple construction, capable of serving both small workshops and technical education institutions, especially in the fields of metallurgy and industrial mechanics. The furnace was conceived with a focus on ease of operation, the use of readily available materials, and assembly techniques suitable for students and professionals in training. During the development process, aspects such as thermal efficiency, handling safety, durability of the materials employed, and the feasibility of reproducing the project in different contexts were carefully considered. In addition to enabling the production of metallic parts with various applications, the equipment also stands out as a highly relevant didactic tool, as it allows the practical application of theoretical concepts related to casting, metallic alloys, heat transfer, and industrial processes on a reduced scale. Thus, it contributes to the training of future professionals by bringing them closer to the reality of the productive sector and encouraging experimentation and innovation. Therefore, the project combines educational value and practical applicability, offering a solution that can be used both in academic environments and in small-scale productive activities. Its implementation is expected to enhance learning, encourage applied research, and strengthen the integration between theory and practice in the field of industrial mechanics.

Keywords: Casting furnace. Metallic alloys. Metallurgy. Technical education. Industrial mechanics.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Contextualização do Tema	12
1.2 Justificativa	13
1.3 Objetivo Geral	14
1.4 Objetivos Específicos	15
1.5 Metodologia do Estudo	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Fundição de Metais	16
2.2 Tipos de Fornos de Fundição	17
2.3 Materiais Refratários e Cadinhos	17
2.4 Fundição como Recurso Didático	18
3 PROCESSO DE FUNDIÇÃO	18
3.1 Fundição em Areia	19
3.2 Fundição em Molde Permanente	19
3.3 Fundição por Centrifugação	19
4 MODELOS DE FUNDIÇÃO	20
4.1 Modelos Soltos	20
4.2 Modelos Emplacados	21
4.3 Modelos em Cera	21
4.4 Modelos em Madeira	21
4.5 Modelos em Isopor	21
4.6 Modelos em Resina	22
4.7 Modelos Metálicos	22
5 MOLDES DE FUNDIÇÃO	22
5.1 Tipos de Molde	23
5.1.1 Molde de Areia	23
5.1.2 Molde Permanente	23
5.1.3 Molde de Cerâmica	24
5.1.4 Molde de Shell	25
5.1.5 Molde de Grafite	25
6 FUSÃO	26
7 VAZAMENTO	27
7.1 Tipos de Vazamento	28
8 SOLIDIFICAÇÃO	29
9 DESMOLDAGEM	31
10 ACABAMENTO	32

11 TIPOS DE FORNOS DE FUNDIÇÃO.....	33
11.1 Forno a Cadinho.....	34
11.2 Forno Cubilô.....	35
11.3 Forno de Indução.....	35
11.4 Forno Elétrico a Arco.....	36
11.5 Forno a Gás ou Óleo.....	37
11.6 Forno Rotativo.....	38
12 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE GÁS.....	38
12.1 Componentes do Sistema.....	39
12.2 Eficiência e Tipos de Combustível.....	39
12.3 Avanços Tecnológicos.....	41
13 PROTÓTIPO DE FORNO.....	42
14 ORÇAMENTO	43
15 MATERIAIS UTILIZADOS.....	44
16 CONCLUSÃO.....	47
17 REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

A fundição é um dos processos de fabricação mais antigos e fundamentais para o desenvolvimento da humanidade. Trata-se de uma técnica que consiste em vaziar um material líquido geralmente metal fundido em um molde com a forma desejada, permitindo que ele esfrie e se solidifique.

A peça resultante, chamada de peça fundida, pode apresentar geometrias complexas e, em muitos casos, necessita de etapas posteriores de acabamento, como usinagem ou rebarbação, para atingir as especificações finais de uso (CHIAVERINI, 2005).

Segundo Baldam e Vieira (2014), “no período de 5.000 a 3.000 a.C., apareceram os primeiros trabalhos com cobre fundido, sendo os moldes feitos de pedra lascada”. Esse marco histórico representou uma verdadeira revolução tecnológica, pois a descoberta do cobre e sua utilização na produção de ferramentas e instrumentos modificaram profundamente as formas de viver e sobreviver no mundo antigo. Posteriormente, surge a chamada Idade do Bronze, caracterizada pela liga de cobre com estanho, que conferia maior resistência e durabilidade aos materiais produzidos. Esse avanço permitiu a fabricação de armas, utensílios e ferramentas mais eficazes, ampliando as possibilidades de desenvolvimento social e econômico. Por volta de 1000 a.C., inicia-se a Idade do Ferro, quando o ferro forjado passou a ser utilizado em larga escala, apesar de seu manuseio mais complexo.

Esse avanço tecnológico possibilitou a produção de utensílios mais resistentes, impactando diretamente a qualidade de vida das populações e favorecendo o crescimento do comércio e das primeiras organizações urbanas (BALDAM; VIEIRA, 2014).

No âmbito fabril, a fundição consolidou-se como um dos processos mais relevantes da indústria metalúrgica. Baldam e Vieira (2014, p. 27) destacam que “a fundição é considerada o caminho mais curto entre a matéria-prima metálica líquida e a peça semiacabada, já no estado de uso”, o que a torna um método eficiente e amplamente empregado na fabricação de peças metálicas. Além disso, autores como Groover (2012) ressaltam que a fundição é um processo versátil, capaz de produzir desde componentes simples até peças de grande porte e alta

complexidade, sendo aplicada em setores como automotivo, aeronáutico, naval e de bens de capital.

Com o avanço da tecnologia, os processos de fundição foram se modernizando, incorporando novos materiais refratários, técnicas de moldagem e sistemas de controle de temperatura, o que aumentou a eficiência e a segurança das operações. Entretanto, mesmo com tais avanços, a essência do processo permanece a mesma desde a Antiguidade: transformar o metal líquido em peças sólidas, moldadas conforme a necessidade.

Diante dessa relevância histórica, tecnológica e industrial, torna-se fundamental compreender e aplicar os princípios da fundição também em ambientes acadêmicos e de formação técnica. Nesse sentido, o presente projeto experimental tem como objetivo o desenvolvimento de um forno de fundição de metais, projetado para possibilitar a fusão de diferentes ligas metálicas de forma prática, segura e acessível. A proposta busca atender tanto às necessidades de oficinas de pequeno porte quanto ao uso como recurso didático em instituições de ensino técnico, permitindo que estudantes tenham contato direto com processos industriais em escala reduzida.

Assim, este trabalho justifica-se pela importância de aproximar teoria e prática, oferecendo uma ferramenta que contribui para a formação de futuros profissionais da área de mecânica industrial e metalurgia. Além disso, o projeto incentiva a pesquisa aplicada, a inovação e a experimentação em sala de aula, fortalecendo a integração entre conhecimento acadêmico e realidade produtiva.

1.1 Contextualização do Tema

A fundição de metais é um dos processos de fabricação mais antigos e fundamentais para o desenvolvimento da humanidade. Desde a Antiguidade, o domínio da técnica de fundir e moldar metais representou um marco civilizatório, possibilitando a produção de ferramentas, armas, utensílios e estruturas que transformaram a forma de viver e de organizar as sociedades. De acordo com Baldam e Vieira (2014), “no período de 5.000 a 3.000 a.C., apareceram os primeiros trabalhos com cobre fundido, sendo os moldes feitos de pedra lascada”,

evidenciando que a manipulação de metais foi determinante para a evolução tecnológica e cultural.

Com o passar dos séculos, a fundição consolidou-se como um dos pilares da metalurgia e da indústria moderna.

A Revolução Industrial, por exemplo, só foi possível graças ao avanço das técnicas de fundição e ao uso intensivo do ferro e do aço, que permitiram a fabricação de máquinas, locomotivas, navios e estruturas metálicas em larga escala (CHIAVERINI, 2005).

Atualmente, a fundição continua sendo um processo essencial, aplicado em setores estratégicos como o automotivo, o aeronáutico, o naval e o de bens de capital, além de estar presente em produtos do cotidiano.

No contexto educacional e de formação profissional, a fundição também desempenha papel relevante. A prática em laboratório ou em oficinas técnicas possibilita que estudantes compreendam, de forma aplicada, conceitos relacionados à fusão de ligas metálicas, transferência de calor, propriedades dos materiais e segurança no trabalho. Baldam e Vieira (2014) ressaltam que a fundição é “o caminho mais curto entre a matéria-prima metálica líquida e a peça semiacabada, já no estado de uso”, o que reforça sua importância como processo de ensino-aprendizagem na área da mecânica industrial.

Diante desse cenário, o desenvolvimento de um forno de fundição experimental apresenta-se como uma proposta relevante, pois alia aplicabilidade prática e caráter didático. Além de possibilitar a produção de peças metálicas em pequena escala, o equipamento contribui para a formação de futuros profissionais, aproximando-os da realidade industrial e estimulando a pesquisa aplicada, a inovação e a experimentação em sala de aula.

1.2 Justificativa

A escolha do tema deste trabalho justifica-se pela relevância histórica, tecnológica e educacional do processo de fundição de metais. Desde a Antiguidade, a fundição tem desempenhado papel essencial no desenvolvimento das civilizações, permitindo a fabricação de ferramentas, utensílios e estruturas que impulsionaram a evolução social e econômica.

No contexto atual, continua sendo um dos processos mais utilizados na indústria metalúrgica, com aplicações que vão desde a produção de peças simples até componentes de alta complexidade em setores estratégicos, como o automotivo, o aeronáutico e o de bens de capital (GROOVER, 2012).

No âmbito acadêmico e formativo, a fundição apresenta-se como um recurso didático de grande importância, pois possibilita a aplicação prática de conceitos teóricos relacionados à metalurgia, às ligas metálicas, à transferência de calor e à segurança no trabalho. A vivência prática desses processos contribui para a formação de profissionais mais preparados para enfrentar os desafios do mercado, aproximando-os da realidade industrial e estimulando a capacidade de inovação.

O desenvolvimento de um forno de fundição experimental atende, portanto, a uma dupla necessidade: de um lado, oferece uma solução acessível e de baixo custo para oficinas de pequeno porte que necessitam de equipamentos funcionais e eficientes; de outro, constitui um recurso pedagógico que fortalece o ensino técnico, permitindo que estudantes tenham contato direto com processos industriais em escala reduzida.

Além disso, o projeto contribui para a valorização da pesquisa aplicada, incentivando a integração entre teoria e prática, bem como a busca por soluções criativas e sustentáveis no campo da mecânica industrial. Dessa forma, a justificativa deste trabalho está fundamentada não apenas na importância do processo de fundição para a indústria, mas também em seu potencial de transformação no ambiente educacional e profissional.

1.3 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver e implementar um forno de fundição a gás de pequeno porte e baixo custo, utilizando como estrutura base um cilindro de gás para ar-condicionado modelo R410, adaptado para essa finalidade. O projeto prevê a aplicação de concreto refratário como material de isolamento térmico, garantindo maior eficiência energética e segurança operacional, além da utilização de aço inoxidável na confecção do cadinho, devido à sua resistência a altas temperaturas e à corrosão. O forno tem como finalidade possibilitar a fusão de

diferentes ligas metálicas, permitindo a produção de peças em pequena escala. Sua aplicação está voltada tanto para atividades didáticas em instituições de ensino técnico, como recurso pedagógico para a prática de conceitos de metalurgia e mecânica industrial, quanto para oficinas mecânicas de pequeno porte, que necessitam de soluções acessíveis e funcionais para processos de fundição.

1.4 Objetivos Específicos

Selecionar e adquirir os materiais adequados para a construção do forno e dos moldes, considerando critérios de resistência, durabilidade e viabilidade econômica. Em seguida, será realizado o projeto e a confecção de moldes experimentais, destinados à produção de peças metálicas em pequena escala, de modo a avaliar a eficiência do equipamento desenvolvido.

Outro objetivo é construir o forno de fundição, aplicando técnicas de corte, soldagem e montagem, além da correta aplicação do concreto refratário, assegurando o isolamento térmico necessário para atingir as temperaturas adequadas à fusão de ligas metálicas. Após a construção, serão conduzidos testes de fusão e produção de peças, permitindo analisar a qualidade das peças obtidas, o desempenho do forno e seu consumo energético.

Também se busca aplicar técnicas de usinagem e acabamento nas peças fundidas, demonstrando a integração entre os processos de fundição e manufatura mecânica. Por fim, pretende-se integrar os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do curso técnico com a prática do processo de fundição, avaliando a viabilidade do forno como recurso didático em instituições de ensino e como alternativa de baixo custo para oficinas mecânicas de pequeno porte.

1.5 Metodologia do Estudo

A metodologia adotada neste estudo foi de caráter experimental e aplicado, uma vez que buscou desenvolver, construir e testar um forno de fundição de pequeno porte, com foco em sua utilização em atividades didáticas e em oficinas

mecânicas. O trabalho foi estruturado em etapas sequenciais, de modo a garantir a organização do processo e a viabilidade técnica do projeto.

Inicialmente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica em livros, artigos e materiais técnicos relacionados à fundição de metais, propriedades de ligas metálicas, materiais refratários e técnicas de isolamento térmico. Essa etapa teve como objetivo fundamentar teoricamente o projeto, fornecendo subsídios para a escolha dos materiais e para a definição do modelo de forno a ser desenvolvido.

Na sequência, procedeu-se à seleção e aquisição dos materiais necessários, priorizando aqueles de fácil acesso e baixo custo, como o cilindro de gás para ar-condicionado modelo R410, destinado a servir como estrutura base do forno, o concreto refratário (figura 01), para o isolamento térmico e o aço inoxidável para a confecção do cadinho (Figura 02).

Com os materiais em mãos, iniciou-se a etapa de projeto e construção do forno, que envolveu atividades de corte, soldagem, montagem e aplicação do concreto refratário. Essa fase foi conduzida de forma a garantir a resistência estrutural do equipamento, bem como sua capacidade de suportar as altas temperaturas exigidas no processo de fundição.

Figura 1 - Projeto Semi-acabado



Fonte: Próprio Autor

Figura 02 – Projeto Concluído

Fonte. Próprio Autor

Posteriormente, foram confeccionados moldes experimentais para a produção de peças metálicas em pequena escala, permitindo a realização de testes práticos de fusão. Durante essa etapa, buscou-se avaliar a eficiência térmica do forno, o tempo necessário para a fusão das ligas metálicas e a qualidade das peças obtidas. (Figura 03).

Figura 03 – Teste do Projeto

Fonte. Próprio Autor

Após a fundição, as peças produzidas passaram por processos de usinagem e acabamento, com o intuito de demonstrar a integração entre os conhecimentos de

fundição e de manufatura mecânica, além de verificar a aplicabilidade prática dos produtos obtidos.

Por fim, realizou-se uma análise crítica dos resultados, considerando aspectos como desempenho do forno, segurança na operação, custo de construção, aplicabilidade didática e potencial de utilização em oficinas de pequeno porte. Essa avaliação permitiu identificar as vantagens e limitações do projeto, bem como propor melhorias para trabalhos futuros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura tem como objetivo apresentar os fundamentos teóricos que embasam o desenvolvimento do projeto, abordando conceitos relacionados à fundição de metais, aos tipos de fornos utilizados nesse processo, aos materiais empregados na construção de equipamentos de alta temperatura e à importância da prática experimental no ensino técnico.

2.1 Fundição de Metais

A fundição é um dos processos de fabricação mais antigos e amplamente utilizados pela humanidade. Segundo Chiaverini (2005), trata-se de um método que consiste em aquecer o metal até sua fusão e, em seguida, vertê-lo em moldes que conferem a forma desejada à peça. Esse processo permite a obtenção de geometrias complexas, que seriam inviáveis ou economicamente inviáveis por outros métodos de fabricação.

De acordo com Baldam e Vieira (2014), os primeiros registros de fundição datam de 5.000 a 3.000 a.C., com a utilização do cobre em moldes de pedra lascada. Posteriormente, a descoberta do bronze e do ferro consolidou a fundição como um marco no desenvolvimento tecnológico das civilizações, possibilitando a produção de ferramentas, armas e utensílios mais resistentes.

2.2 Tipos de Fornos de Fundição

Os fornos de fundição podem ser classificados de acordo com a fonte de energia utilizada, como fornos a carvão, a gás, a óleo ou elétricos. Groover (2012) destaca que a escolha do tipo de forno depende de fatores como o tipo de liga metálica a ser fundida, a escala de produção e os custos envolvidos.

No caso de fornos a gás, como o proposto neste projeto, a principal vantagem é o baixo custo de operação e construção, além da facilidade de adaptação em oficinas de pequeno porte. Esses fornos utilizam combustíveis como GLP ou gás natural, que, quando combinados com sistemas de isolamento térmico adequados, permitem atingir temperaturas suficientes para a fusão de ligas metálicas comuns, como alumínio, cobre e suas ligas.

2.3 Materiais Refratários e Cadinhos

O desempenho de um forno de fundição está diretamente relacionado à qualidade dos materiais utilizados em sua construção.

O concreto refratário, por exemplo, é amplamente empregado devido à sua capacidade de resistir a altas temperaturas, à abrasão e ao choque térmico (CALLISTER, 2013).

Já o cadinho, recipiente responsável por conter o metal fundido, deve ser confeccionado em materiais resistentes à corrosão e à oxidação, como o aço inoxidável ou grafite, garantindo maior durabilidade e segurança no processo.

2.4 Fundição como Recurso Didático

Além de sua importância industrial, a fundição também possui grande relevância no contexto educacional. A prática experimental em laboratórios e oficinas técnicas possibilita que os estudantes compreendam, de forma aplicada, conceitos relacionados à fusão de ligas metálicas, transferência de calor, propriedades dos materiais e segurança no trabalho. Segundo Baldam e Vieira (2014), a fundição é “o caminho mais curto entre a matéria-prima metálica líquida e a

peça semiacabada, já no estado de uso”, o que reforça sua importância como recurso pedagógico.

Nesse sentido, o desenvolvimento de fornos experimentais de pequeno porte contribui para a formação de profissionais mais preparados, aproximando-os da realidade industrial e estimulando a pesquisa aplicada, a inovação e a integração entre teoria e prática.

3.Processo de fundição

Segundo Chiaverini (2002), o processo de fundição consiste em verter o metal líquido em um molde que reproduz a forma desejada da peça, permitindo sua solidificação e a obtenção de produtos acabados ou semiacabados. Trata-se de uma técnica milenar que possibilita a fabricação de peças metálicas a partir da fusão de diferentes ligas, as quais são submetidas a altas temperaturas até atingirem o estado líquido. Após esse processo, o metal fundido é introduzido em moldes permanentes ou descartáveis, onde ocorre o resfriamento e a consequente solidificação, resultando em peças que podem ser utilizadas diretamente ou que necessitam de etapas adicionais de acabamento, como usinagem ou rebarbação.

A fundição é amplamente utilizada na indústria devido à sua versatilidade, permitindo a produção de peças de diferentes tamanhos, formatos e complexidades. Além disso, é considerada um dos métodos mais econômicos para a fabricação de componentes metálicos, especialmente quando se trata de grandes volumes de produção.

3.1 Fundição em Areia

A fundição em areia é um dos métodos mais tradicionais e difundidos. Nesse processo, a areia é compactada ao redor de um modelo que reproduz a forma da peça desejada. Após a retirada do modelo, o espaço vazio é preenchido com o metal fundido, que, ao solidificar, dá origem à peça.

Vantagens: baixo custo de produção, flexibilidade para fabricar peças de diferentes tamanhos e geometrias complexas.

Desvantagens: acabamento superficial geralmente rugoso e precisão dimensional limitada, exigindo etapas posteriores de usinagem.

3.2 Fundição em Molde Permanente

Nesse processo, utilizam-se moldes metálicos reutilizáveis, que permitem a produção em série de peças fundidas. O metal líquido é vazado no molde, e após a solidificação, o molde é aberto para a retirada da peça.

Vantagens: maior precisão dimensional, melhor acabamento superficial e alta taxa de produção.

Desvantagens: elevado custo inicial para a fabricação dos moldes e limitação quanto ao tamanho das peças, geralmente restritas a dimensões moderadas.

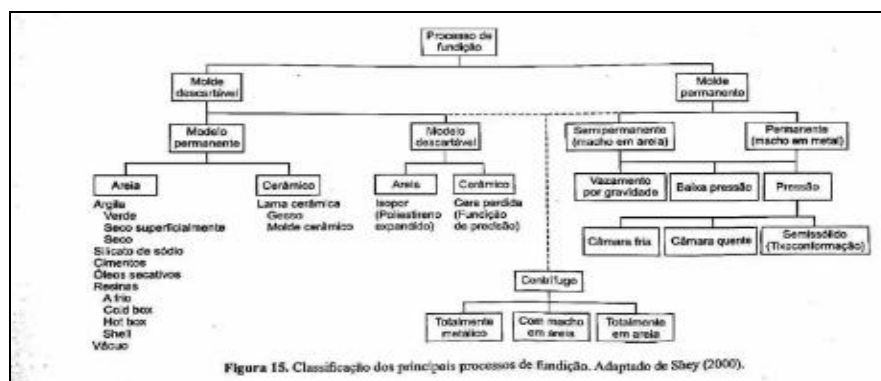
3.3 Fundição por Centrifugação

A fundição por centrifugação consiste em verter o metal líquido em um molde giratório. A força centrífuga distribui o metal uniformemente pelas paredes do molde, garantindo maior densidade e qualidade estrutural da peça.

Vantagens: ideal para a produção de peças cilíndricas ou tubulares, com alta densidade e propriedades mecânicas superiores.

Desvantagens: restrição a geometrias específicas, limitando-se principalmente a peças de formato cilíndrico.

Figura 1 – Representação esquemática do processo de fundição



Fonte - nucleodoconhecimento

4. Modelos de Fundição

Os modelos de fundição são elementos fundamentais no processo de fabricação de peças metálicas, pois servem como base para a confecção dos moldes que receberão o metal líquido. A qualidade, a precisão e a durabilidade da peça final estão diretamente relacionadas ao tipo de modelo utilizado, bem como ao material empregado em sua fabricação. Cada tipo de modelo apresenta características próprias, que influenciam no custo, na complexidade do processo e na aplicabilidade em diferentes contextos produtivos.

4.1 Modelos Soltos

Os modelos soltos são aqueles que não estão fixados em placas, permitindo acesso a todas as suas partes. Podem ser bipartidos ou não, e ainda conter machos, dependendo da complexidade da peça a ser produzida. Embora ofereçam flexibilidade, exigem maior habilidade do operador e demandam mão de obra especializada, o que os torna mais custosos. São indicados para a produção de peças em menor escala ou de geometrias mais complexas.

4.2 Modelos Emplacados

Nesse tipo de modelo, a figura da peça é fixada em uma placa, que pode conter uma ou mais cavidades. Essa configuração garante maior repetibilidade do processo, sendo amplamente utilizada na produção em série. A principal vantagem é a padronização das peças, reduzindo erros e aumentando a produtividade. Contudo, o custo inicial de fabricação pode ser mais elevado em comparação aos modelos soltos.

4.3 Modelos em Cera

Os modelos em cera são empregados principalmente na fundição de precisão, como na produção de joias, próteses odontológicas e peças de pequeno porte que exigem acabamento superficial refinado. Por serem moldados com grande

detalhamento, permitem a obtenção de peças com excelente qualidade dimensional. Entretanto, apresentam custo elevado e não necessitam do uso de machos, já que o próprio processo de cera perdida elimina essa necessidade.

4.4 Modelos em Madeira

A madeira é um dos materiais mais utilizados na confecção de modelos de fundição, devido ao seu baixo custo, facilidade de usinagem e disponibilidade. Os modelos em madeira podem ser fabricados em diferentes tamanhos e oferecem boa resistência mecânica. No entanto, apresentam menor durabilidade quando comparados a modelos metálicos ou em resina, sendo mais indicados para produções de baixa e média escala.

4.5 Modelos em Isopor

Os modelos em isopor (poliestireno expandido) são utilizados principalmente para a fabricação de peças únicas ou protótipos. O processo, conhecido como fundição em modelo perdido, consiste em verter o metal fundido diretamente sobre o modelo de isopor, que se volatiliza com o calor. Sua principal vantagem é o baixo custo e a simplicidade do processo. Contudo, apresenta baixa resistência mecânica e acabamento superficial inferior.

4.6 Modelos em Resina

Os modelos em resina são empregados na produção de peças de média e grande escala. Apresentam boa resistência mecânica, estabilidade dimensional e excelente acabamento superficial. Apesar dessas vantagens, possuem custo elevado, o que restringe sua utilização a situações em que a precisão e a durabilidade justificam o investimento.

4.7 Modelos Metálicos

Os modelos metálicos são os mais duráveis e precisos, sendo amplamente utilizados na produção em série. Fabricados geralmente em aço ou alumínio, oferecem excelente resistência mecânica, alta repetibilidade e ótimo acabamento superficial. No entanto, o custo de fabricação é elevado, o que limita sua aplicação a processos industriais de larga escala, onde a produção em grande volume compensa o investimento inicial.

5. Moldes de Fundição

Os moldes de fundição são componentes essenciais no processo de fabricação de peças metálicas, pois constituem a cavidade onde o metal líquido será depositado para, após o resfriamento e solidificação, dar origem à peça final. Para que o resultado seja satisfatório, os moldes devem reproduzir com fidelidade o formato da peça projetada, levando em consideração fatores como a retração do metal durante a solidificação, a rugosidade superficial e a precisão dimensional.

A escolha do tipo de molde está diretamente relacionada ao material a ser fundido, à complexidade da peça, ao volume de produção e ao custo do processo. Assim, diferentes técnicas e materiais são empregados na confecção de moldes, cada um apresentando vantagens e limitações específicas.

5.1 Tipos de Moldes

5.1.1 Molde de Areia

O molde de areia é um dos mais tradicionais e amplamente utilizados na fundição. Ele é confeccionado a partir da compactação de areia ao redor de um modelo, sendo geralmente misturada a aglutinantes que conferem maior resistência e estabilidade.

Vantagens: baixo custo de produção, flexibilidade para fabricar peças de diferentes tamanhos e geometrias complexas.

Desvantagens: acabamento superficial rugoso e precisão dimensional limitada, exigindo etapas posteriores de usinagem.

Figura 2 – Molde de areia



Fonte: Próprio autor.

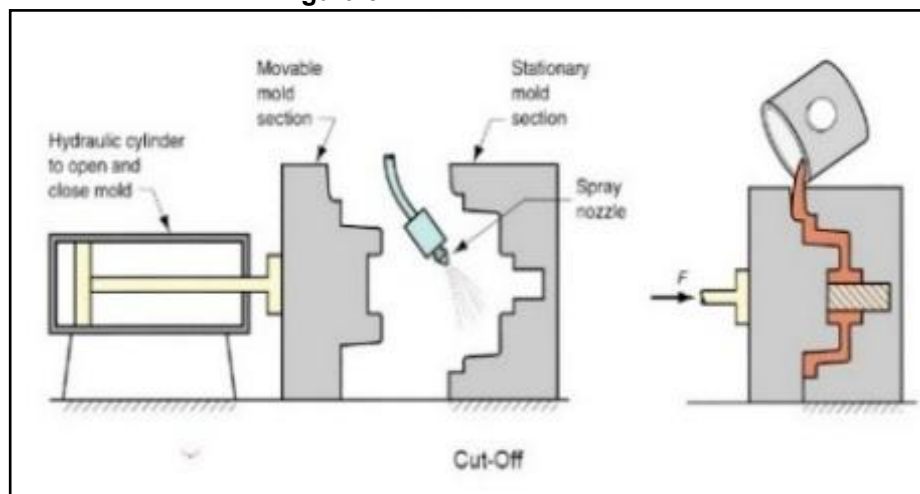
5.1.2 Molde Permanente

Os moldes permanentes são fabricados em metais como aço ou ferro fundido e podem ser reutilizados diversas vezes. O metal líquido é vazado no molde, e após a solidificação, este é aberto para a retirada da peça.

Vantagens: maior precisão dimensional, melhor acabamento superficial e alta taxa de produção.

Desvantagens: elevado custo inicial de fabricação e limitação quanto ao tamanho das peças, geralmente restritas a dimensões moderadas.

Figura 3– Molde Permanente



Fonte: Processo de Fundição

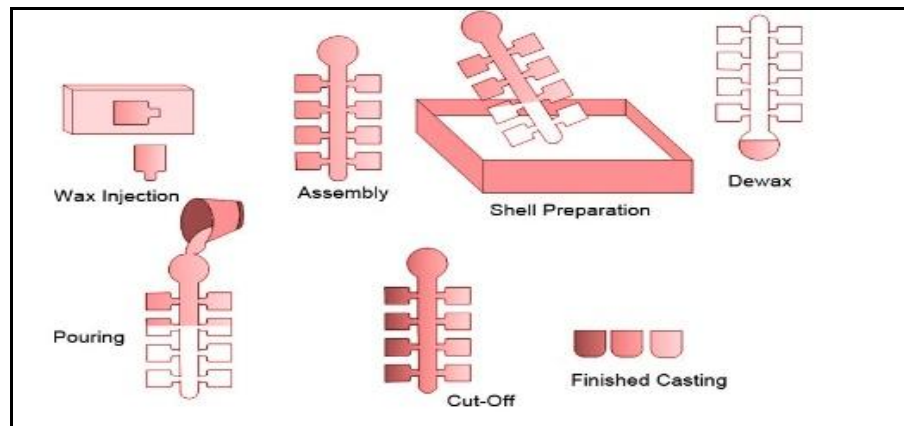
5.1.3 Molde de Cerâmica

Utilizado principalmente na fundição por investimento, esse tipo de molde é produzido a partir do revestimento de um modelo de cera com camadas de material cerâmico. Após a secagem, a cera é derretida e removida, restando a cavidade para o vazamento do metal.

Vantagens: excelente precisão dimensional, ótimo acabamento superficial e capacidade de reproduzir peças com geometrias complexas.

Desvantagens: processo mais caro e demorado, além de ser limitado a peças de porte pequeno ou médio.

Figura 4– Molde de cerâmica



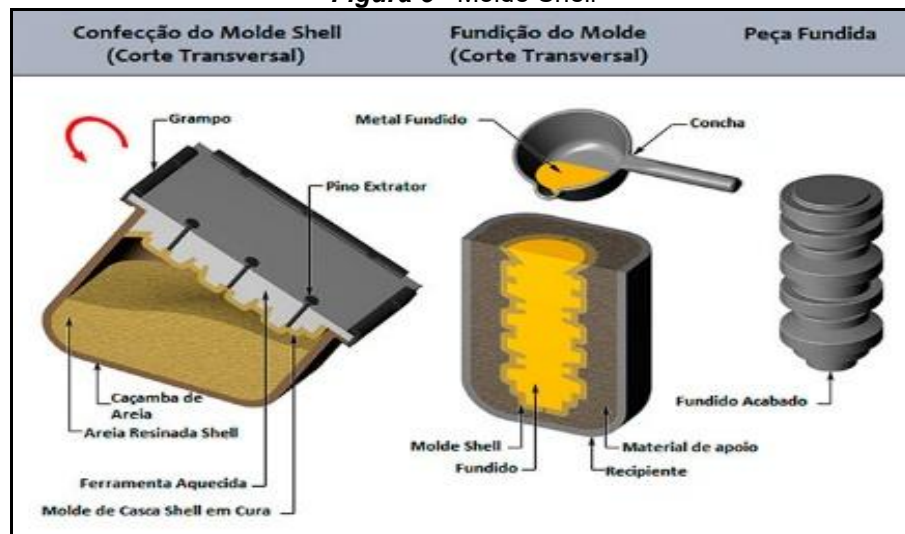
Fonte: Processo de Fundição

5.1.4 Molde de Shell (ou Casca)

Esse tipo de molde é confeccionado a partir de uma fina camada de areia resinada, que forma uma casca resistente ao calor. O metal fundido é vazado nessa casca, que dá origem à peça.

Vantagens: alta precisão dimensional, bom acabamento superficial e possibilidade de produzir peças complexas.

Desvantagens: custo elevado devido ao uso de resinas e ao processo de fabricação mais elaborado.

Figura 5– Molde Shell

Fonte: Fundição Shell Molding

5.1.5 Molde de Grafite

Os moldes de grafite são empregados principalmente na fundição de metais não ferrosos e em peças que exigem alta precisão. O grafite é um material que pode ser facilmente usinado e apresenta excelente resistência ao choque térmico.

Vantagens: elevada precisão dimensional, ótimo acabamento superficial e boa resistência térmica.

Desvantagens: custo elevado do grafite, o que restringe sua aplicação a peças de maior valor agregado.

6 Fusão

A fusão é uma etapa essencial no processo de fundição, pois consiste em transformar metais ou ligas metálicas do estado sólido para o estado líquido, por meio da aplicação de altas temperaturas, de modo a possibilitar o vazamento do material em moldes que reproduzem a forma desejada da peça. Trata-se de um processo industrial de grande relevância, uma vez que permite a fabricação de componentes metálicos com diferentes tamanhos, formatos e aplicações, desde peças simples até estruturas complexas utilizadas em setores estratégicos como o automotivo, o aeronáutico e o de bens de capital.

De acordo com Chiaverini (2002), a fundição pode ser entendida como a operação de verter o metal líquido em um molde, permitindo sua solidificação e a obtenção de produtos acabados ou semiacabados. Nesse contexto, a fusão é a etapa preparatória que garante que o metal atinja as condições adequadas para ser moldado.

Em outras palavras, o processo de fusão corresponde à transformação dos insumos metálicos em ligas de ferro fundido ou em outras composições químicas, ajustadas conforme a aplicação desejada. A matéria-prima é inserida em fornos específicos como os fornos de indução, a gás ou a coque onde é submetida a temperaturas elevadas até atingir o ponto de fusão. No caso do ferro, por exemplo, esse ponto ocorre acima de 1.300 °C, exigindo controle rigoroso da temperatura e da composição química para assegurar a qualidade do metal líquido obtido.

Além de atingir a temperatura adequada, o processo de fusão deve considerar fatores como:

Controle da composição química: adição de elementos de liga para obter propriedades específicas (resistência, dureza, ductilidade).

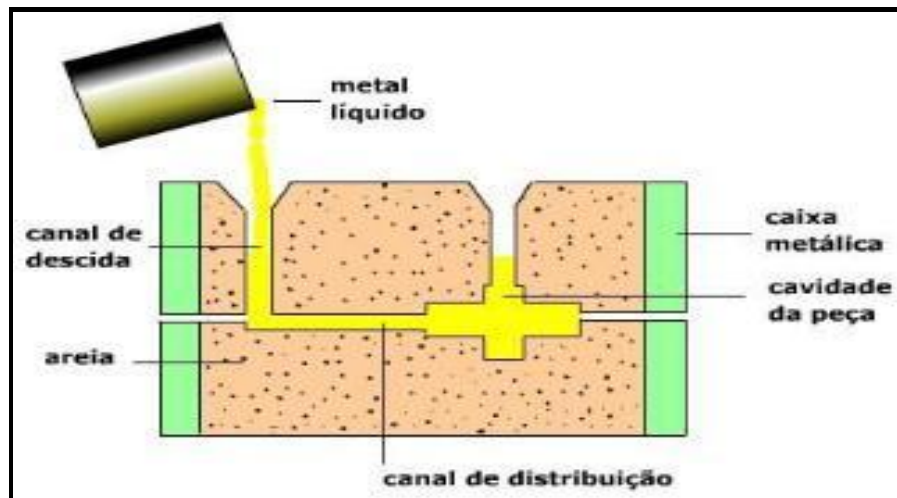
Remoção de impurezas: utilização de escorificantes e fluxos para eliminar óxidos e inclusões indesejadas.

Homogeneização do banho metálico: agitação e controle térmico para garantir uniformidade na liga.

A eficiência da fusão depende diretamente do tipo de forno utilizado. Os fornos de indução, por exemplo, são amplamente empregados devido à sua capacidade de aquecimento rápido, controle preciso da temperatura e menor impacto ambiental em comparação a fornos tradicionais. Já os fornos a gás ou coque, embora mais simples e acessíveis, apresentam menor eficiência energética e maior emissão de poluentes.

Portanto, a fusão não se limita apenas ao aquecimento do metal até seu ponto de liquefação, mas envolve um conjunto de práticas que asseguram a qualidade do material fundido, influenciando diretamente as propriedades mecânicas e o desempenho da peça final.

Figura 6– Representação esquemática do processo de fusão



Fonte.Fundição e moldação

7 Vazamento

No processo de fundição, o vazamento corresponde à etapa em que o metal líquido, previamente fundido em fornos apropriados, é cuidadosamente vertido no interior do molde, preenchendo a cavidade que reproduz a forma da peça desejada.

Essa fase é considerada uma das mais críticas do processo, pois dela depende a qualidade final da peça, já que qualquer falha no preenchimento do molde pode comprometer a integridade estrutural e o acabamento do produto.

Segundo Poliman (2025, s/p, adaptado), o termo “vazamento” também pode assumir um segundo significado, referindo-se a um defeito grave que ocorre quando o metal escapa do molde de forma indesejada. Esse problema resulta na perda de material, na produção de peças defeituosas e, em alguns casos, pode até comprometer a segurança da operação.

Para que o vazamento seja realizado de forma adequada, alguns fatores devem ser rigorosamente controlados:

Temperatura do metal líquido: deve estar dentro da faixa ideal para garantir fluidez suficiente sem comprometer a microestrutura da peça.

Velocidade de vazamento: precisa ser controlada para evitar turbulências, que podem aprisionar gases e gerar porosidades.

Projeto do sistema de canais: canais de alimentação, massalotes e respiros devem ser dimensionados corretamente para permitir o preenchimento uniforme do molde.

Integridade do molde: falhas na compactação, trincas ou porosidades no molde podem provocar o escape do metal, ocasionando o defeito de vazamento indesejado.

Assim, o vazamento pode ser entendido em dois sentidos complementares: como uma etapa essencial do processo de fundição, responsável por dar forma à peça metálica, e como um defeito crítico, que deve ser prevenido por meio de boas práticas de projeto, controle de processo e inspeção dos moldes.

7.1 Tipos de vazamento na fundição

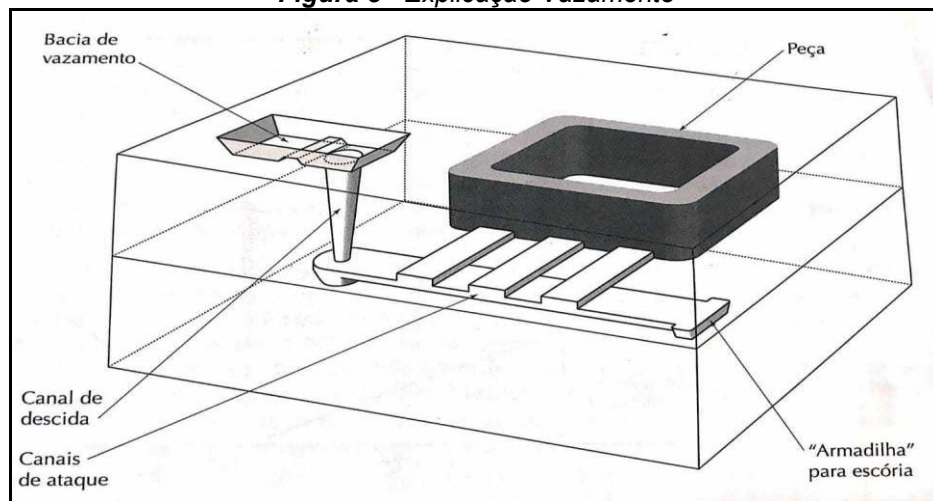
Vazamento propriamente dito: Ocorre quando o metal líquido vaza do molde por fissuras, juntas mal vedadas ou outras falhas na estrutura. Pode causar incêndios, queimaduras e danos ao equipamento, além de resultar em perdas financeiras significativas.

Defeito de rebarba (ou "flash"): Caracterizado pelo escoamento de metal líquido para fora das margens do molde, criando uma fina camada de metal extra que precisa ser removida na fase de acabamento. Embora não seja um vazamento total, é considerado um defeito de vazamento e pode indicar problemas na pressão de injeção ou no fechamento do molde.

Figura 7– Vazamento



Fonte. Metalpoli

Figura 8– Explicação Vazamento

Fonte. Alimentação do sistema

8 Solidificação

A solidificação é uma das etapas mais críticas do processo de fundição, pois influencia diretamente as propriedades finais da peça metálica. Após o vazamento do metal líquido no molde, ocorre a transferência de calor entre o metal e as paredes do molde, iniciando-se o processo de nucleação e crescimento dos grãos metálicos até a completa transformação do material em estado sólido.

Segundo Chiaverini (2018, p. 57), “a solidificação é o processo pelo qual o metal líquido se transforma em sólido, e seu controle é essencial para garantir boas propriedades mecânicas e estruturais às peças fundidas”. Essa transformação não ocorre de maneira uniforme, mas sim em diferentes regiões dentro da peça, que apresentam características microestruturais distintas:

Zona de nucleação: localizada próxima à parede do molde, onde o resfriamento é mais rápido. Nessa região, formam-se grãos finos e equiaxiais, responsáveis por conferir maior resistência mecânica ao material.

Zona columnar: formada por grãos alongados que crescem na direção do fluxo de calor, geralmente em direção ao centro da peça. Essa região é típica de gradientes térmicos elevados.

Zona equiaxial central: localizada no interior da peça, onde a taxa de resfriamento é menor, resultando em grãos maiores e menos uniformes.

A velocidade de resfriamento e o gradiente térmico são fatores determinantes para o tamanho dos grãos e, conseqüentemente, para a qualidade do produto final. Callister (2021, p. 112) destaca que “um resfriamento rápido produz grãos finos e aumenta a resistência mecânica, enquanto um resfriamento lento gera grãos grosseiros e reduz a resistência do material”.

O controle inadequado dessa etapa pode gerar defeitos de solidificação, como:

Porosidade: causada pela retenção de gases ou pela contração do metal durante a solidificação.

Segregação: distribuição desigual dos elementos de liga, que compromete a homogeneidade da peça.

Vazios de retração: cavidades internas formadas pela contração volumétrica do metal ao solidificar.

Esses defeitos comprometem a qualidade dimensional, a integridade estrutural e a durabilidade da peça fundida, podendo inviabilizar sua aplicação em setores que exigem alto desempenho.

Dessa forma, o controle da temperatura de vazamento, do material do molde e das condições de resfriamento é fundamental para se obter uma solidificação uniforme e uma microestrutura homogênea. O domínio dessa etapa garante a produção de componentes metálicos com propriedades mecânicas superiores, maior confiabilidade e vida útil prolongada, aspectos essenciais para aplicações industriais de alta exigência.

9 Desmoldagem

A desmoldagem é a etapa do processo de fundição que consiste em retirar a peça metálica solidificada de dentro do molde, após o resfriamento e a completa transformação do metal líquido em sólido. Essa fase é fundamental, pois garante que a peça seja liberada do molde sem comprometer suas dimensões, detalhes geométricos ou propriedades superficiais.

De acordo com Chiaverini (2018, p. 142), “a desmoldagem deve ser realizada somente após a completa solidificação e resfriamento da peça, a fim de evitar

deformações e trincas”. Isso demonstra a importância do controle do tempo de espera antes da retirada da peça.

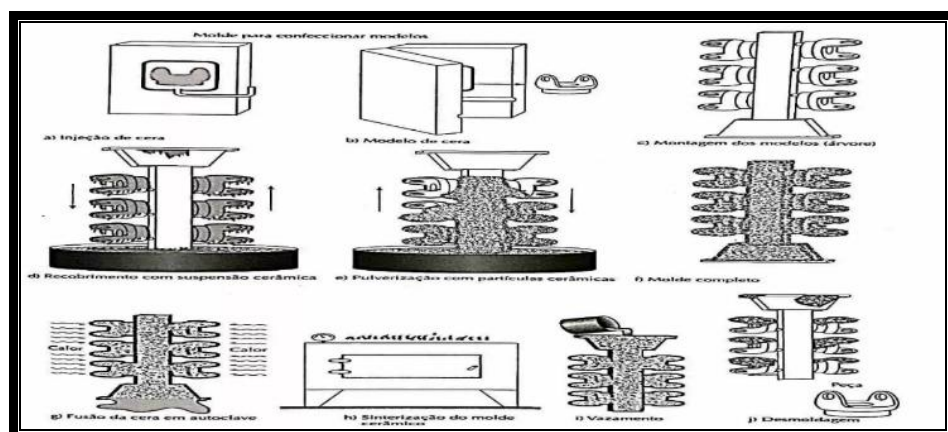
O processo pode ser realizado por diferentes métodos, dependendo do tipo de molde utilizado. Em moldes de areia, por exemplo, a desmoldagem geralmente é feita por meio de vibração mecânica ou impacto com martelos, de modo a quebrar a areia e liberar a peça. Já em moldes permanentes, metálicos ou cerâmicos, a abertura do molde é feita de forma controlada, muitas vezes com auxílio de sistemas hidráulicos ou mecânicos.

Segundo Callister (2021), a escolha da técnica de desmoldagem deve considerar fatores como o tipo de liga metálica, o material do molde e a complexidade da peça, pois “um processo inadequado pode comprometer a integridade da peça fundida, gerando defeitos superficiais ou estruturais” (p. 215).

Além disso, Baldam e Vieira (2014) ressaltam que a desmoldagem é também uma etapa crítica para a produtividade, já que moldes descartáveis precisam ser destruídos a cada ciclo, enquanto moldes permanentes podem ser reutilizados diversas vezes, reduzindo custos e aumentando a eficiência do processo.

Portanto, a desmoldagem deve ser executada com cuidado, utilizando ferramentas e métodos adequados ao tipo de molde e ao metal fundido, de forma a preservar a qualidade final da peça e garantir a viabilidade econômica do processo.

Figura 09– Processo de desmoldagem



Fonte. Núcleo Conhecimento

10 Acabamento

Após a etapa de desmoldagem, as peças fundidas geralmente apresentam rebarbas, excessos de material e irregularidades superficiais que precisam ser eliminados para que atinjam as especificações dimensionais e funcionais desejadas. Esse processo é conhecido como acabamento, e consiste em um conjunto de operações destinadas a melhorar tanto a estética quanto o desempenho mecânico da peça.

Segundo Chiaverini (2018, p. 163), “o acabamento em peças fundidas é indispensável para corrigir imperfeições superficiais e assegurar que o produto final atenda aos requisitos de uso”. Dessa forma, o acabamento não deve ser visto apenas como uma etapa estética, mas como parte essencial para garantir a qualidade e a confiabilidade do componente.

Entre os principais métodos de acabamento aplicados às peças fundidas, destacam-se:

Usinagem: utilizada para remover rebarbas, corrigir dimensões e obter tolerâncias mais rigorosas.

Lixamento e polimento: empregados para melhorar o aspecto superficial e reduzir a rugosidade.

Limpeza por jateamento (areia, gralha ou esferas metálicas): remove resíduos de areia, óxidos e impurezas aderidas à superfície.

Tratamentos térmicos: aplicados para modificar a microestrutura do material, aumentando resistência, dureza ou tenacidade.

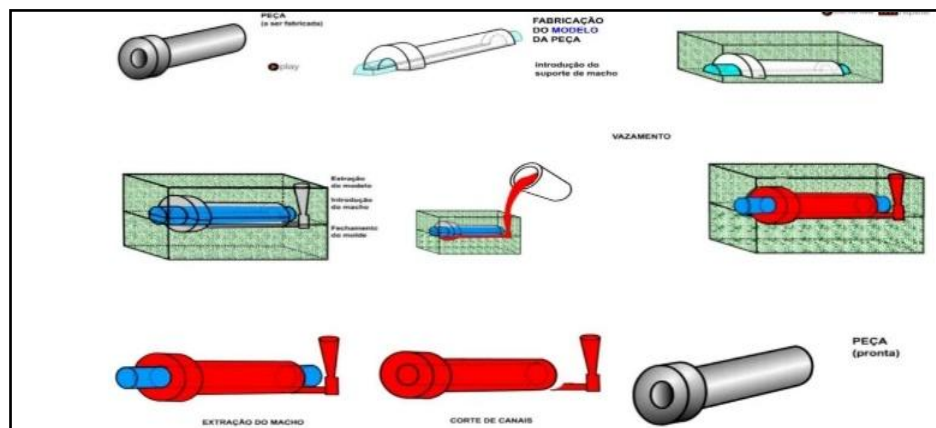
Revestimentos e pinturas: utilizados para proteção contra corrosão e para melhorar a durabilidade da peça.

A escolha do processo de acabamento está diretamente relacionada ao método de fundição empregado e à aplicação final da peça. Por exemplo, na fundição por cera perdida, utilizada na fabricação de joias e componentes aeroespaciais, o acabamento é voltado para a obtenção de superfícies extremamente lisas e detalhadas. Já na fundição sob pressão, aplicada em peças de

alta precisão, o acabamento busca garantir tolerâncias dimensionais rigorosas e excelente qualidade superficial.

Portanto, o acabamento detalhado na fundição representa não apenas a etapa final do processo, mas também um fator determinante para a funcionalidade, estética e resistência das peças metálicas, assegurando que estas atendam às exigências técnicas e de mercado.

Figura 10– Etapas do processo de fundição em moldes de areia



Fonte. Forno de Fundição

11. Tipos de Fornos de Fundição

Existem diversos tipos de fornos de fundição, cada um projetado de acordo com o tipo de metal a ser fundido, a escala de produção e a fonte de energia utilizada. A escolha adequada do forno é fundamental, pois influencia diretamente a eficiência do processo, o custo operacional, a qualidade do metal fundido e a segurança da operação.

Segundo Chiaverini (2018), “a seleção do forno de fundição deve considerar fatores como a temperatura de fusão do metal, a composição da liga, a disponibilidade de combustível e o volume de produção” (p. 201).

11.1 Forno a Cadinho

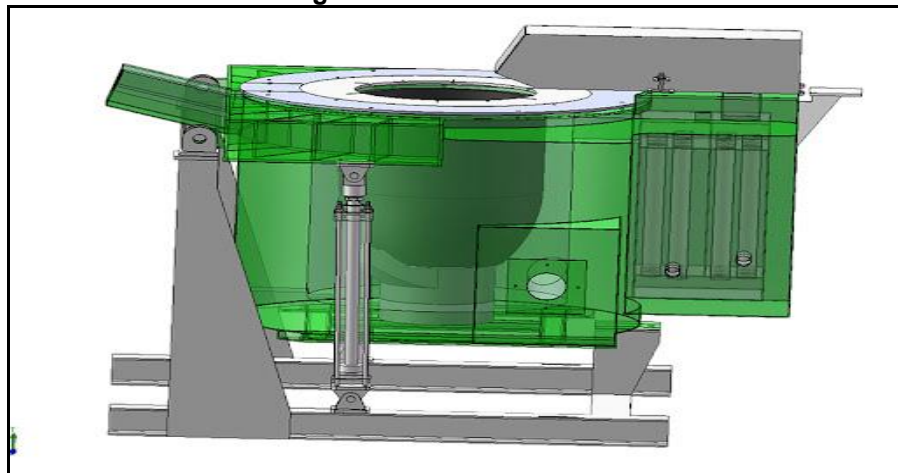
O forno a cadinho é amplamente utilizado em pequenas fundições, oficinas mecânicas e ambientes didáticos. O metal é colocado dentro de um cadinho

refratário ou metálico, que é aquecido externamente por uma chama (a gás, carvão ou resistência elétrica).

Vantagens: simplicidade de operação, baixo custo de instalação, ideal para pequenas quantidades de metal.

Desvantagens: baixa capacidade produtiva e menor controle da composição química.

Figura 11– Forno a Cadinho



Fonte. Forno

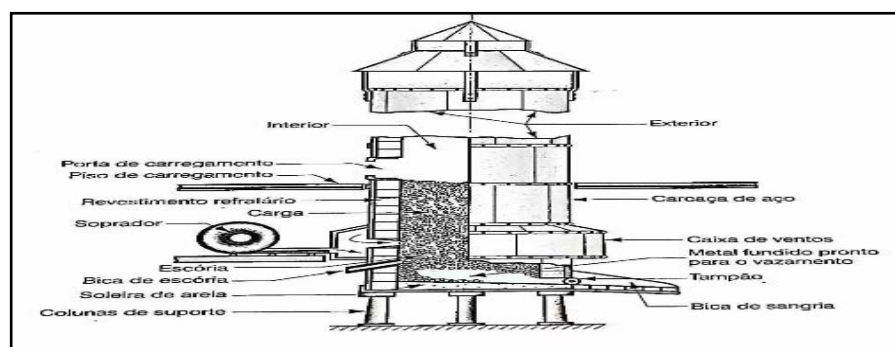
11.2 Forno Cubilô

O forno cubilô é um dos mais tradicionais na fundição de ferro. Trata-se de um forno vertical, revestido internamente com material refratário, no qual são carregadas camadas alternadas de coque, ferro-gusa, sucata metálica e fundentes.

Vantagens: alta capacidade de produção, baixo custo operacional.

Desvantagens: maior emissão de poluentes e menor controle da composição química em comparação a outros fornos.

Figura 12– Forno Cubilô



Fonte. Núcleo Conhecimento

11.3 Forno de Indução

O forno de indução utiliza correntes eletromagnéticas para aquecer e fundir o metal. É amplamente empregado em fundições modernas devido ao seu alto rendimento e controle preciso da temperatura.

Vantagens: aquecimento rápido, excelente controle da composição química, menor impacto ambiental.

Desvantagens: custo elevado de instalação e necessidade de energia elétrica em grande escala.

Figura 13– Forno de Indução



Fonte.Eduardo

11.4 Forno Elétrico a Arco

Esse tipo de forno utiliza eletrodos de grafite para gerar um arco elétrico que aquece e funde o metal. É muito utilizado na produção de aços especiais e ligas de alto desempenho.

Vantagens: permite fundir grandes quantidades de metal, possibilita a produção de ligas de alta qualidade.

Desvantagens: alto consumo de energia elétrica e custo elevado de manutenção.

Figura 14 – Forno Elétrico a Arco



Fonte. Fundição Aço

11.5 Forno a Gás ou Óleo

Nesse tipo de forno, a chama proveniente da queima de gás ou óleo combustível aquece o cadinho ou a câmara de fusão. É indicado para metais não ferrosos, como alumínio, cobre e suas ligas.

Vantagens: custo relativamente baixo, facilidade de operação.

Desvantagens: menor eficiência energética em comparação aos fornos elétricos e emissão de gases poluentes.

Figura 15 – Forno a Gás ou Óleo



Fonte. Ligantes Refrataria

11.6 Forno Rotativo

O forno rotativo é um equipamento de formato cilíndrico que gira lentamente em torno de seu eixo, promovendo a mistura e a homogeneização do metal durante o processo de fusão. Esse movimento contínuo favorece a uniformidade térmica e química do banho metálico, reduzindo a formação de pontos frios e garantindo maior qualidade ao material fundido.

Esse tipo de forno pode utilizar diferentes fontes de calor, como óleo combustível, gás natural ou eletricidade, o que o torna versátil em termos de adaptação às condições energéticas disponíveis. É bastante empregado na fundição de metais não ferrosos, como alumínio e suas ligas, além de ser utilizado em processos que exigem fusão homogênea de sucatas metálicas.

Vantagens: boa homogeneização do metal líquido, flexibilidade quanto ao tipo de combustível, eficiência no aproveitamento de sucata metálica.

Desvantagens: custo de instalação relativamente elevado e maior complexidade de manutenção devido ao sistema de rotação.

Figura
Forno



16–
Rotativo

Fonte. Fornos Rotativos

12. Sistema de Alimentação de Gás

O sistema de queima de um forno de fundição é o responsável por gerar e controlar a energia térmica necessária para o aquecimento e fusão dos metais. Esse sistema tem como função transformar a energia química do combustível seja gás, óleo ou carvão em energia térmica, por meio de um processo de combustão controlada e eficiente.

De acordo com Chiaverini (2018, p. 102), “o sistema de queima de um forno deve garantir a combustão completa do combustível, proporcionando temperatura uniforme e eficiência energética”. Isso significa que a qualidade da combustão está diretamente relacionada à performance do forno, à economia de combustível e à qualidade metalúrgica do produto final.

12.1 Componentes do Sistema

O sistema de alimentação de gás e combustão pode ser dividido em três partes principais:

Sistema de alimentação de combustível: responsável pelo fornecimento e pela regulação da vazão de gás, óleo ou outro combustível utilizado. A estabilidade do fluxo é essencial para manter a chama constante e evitar oscilações de temperatura.

Sistema de mistura e ignição: etapa em que ocorre a mistura do combustível com o ar comburente, garantindo a proporção adequada para a combustão. A ignição é realizada por ignitores elétricos ou tochas piloto, assegurando o início seguro e controlado da chama.

Sistema de controle e exaustão: regula a proporção ar/combustível, monitora a temperatura interna do forno e conduz os gases resultantes da combustão para fora do sistema. Essa etapa é fundamental para evitar contaminações, perdas energéticas e riscos ambientais.

12.2 Eficiência e Tipos de Combustível

A eficiência do sistema depende tanto do tipo de forno quanto do combustível empregado. Fornos a gás natural e GLP, por exemplo, oferecem maior controle térmico, menor emissão de poluentes e maior facilidade de automação.

Já os fornos a óleo, embora ainda utilizados em algumas indústrias, exigem manutenção mais frequente e limpeza periódica devido à formação de resíduos e fuligem (SOUZA, 2020).

Callister (2021, p. 230) complementa que “o controle adequado da chama e da relação ar-combustível é essencial para evitar oxidação excessiva, perda de calor e contaminação do metal fundido”. Dessa forma, a regulação correta do sistema é indispensável para garantir a qualidade metalúrgica da peça fundida e a eficiência energética do processo.

12.3 Avanços Tecnológicos

Com o avanço da tecnologia, os sistemas modernos de alimentação de gás passaram a incorporar controladores eletrônicos, válvulas automáticas e sensores de temperatura (termopares), que permitem o ajuste em tempo real do fluxo de ar e combustível. Essa automação garante maior estabilidade do processo, reduz custos operacionais e aumenta a segurança da operação. Além disso, sistemas de monitoramento contínuo permitem identificar falhas de combustão, corrigindo-as de forma imediata e evitando desperdícios.

Tabela Comparativa dos Principais Fornos de Fundição				
Tipo de Forno	Fonte de Energia	Metais Indicados	Vantagens Principais	Desvantagens Principais
Cadinho	Gás, óleo ou carvão	Alumínio, cobre, bronze	Simples, baixo custo inicial	Pouco controle térmico
Indução Elétrica	Energia elétrica	Aço, ferro, ligas nobres	Alta pureza e controle de temperatura	Alto custo de instalação e energia
Cubilô	Coque (carvão mineral)	Ferro fundido	Alta produtividade, baixo custo por tonelada	Alta poluição e difícil controle de gases
Arco Elétrico	Energia elétrica	Aço, ferro-liga	Controle preciso e fusão rápida	Alto custo e manutenção dos eletrodos
Rotativo	Gás ou óleo	Alumínio, chumbo	Boa homogeneização e uso em reciclagem	Baixa precisão térmica

Tabela1 comparação dos fornos de fundição

Fonte: próprio autor

13. Protótipo de Forno

Atualmente, existem diversos modelos de fornos de fundição disponíveis no mercado, cada um desenvolvido de acordo com a evolução tecnológica e as necessidades específicas da indústria metalúrgica. Entre os principais, destacam-se o forno de cúpula, o forno de indução e os fornos elétricos.

O forno de cúpula é considerado um dos mais antigos e tradicionais. Sua estrutura é geralmente construída em argila, tijolos refratários e outros materiais resistentes a altas temperaturas, que protegem a fornalha e permitem a fusão de metais. Nesse tipo de forno, a cúpula é aquecida a temperaturas elevadas, juntamente com os elementos metálicos inseridos em seu interior, promovendo a fusão de forma contínua e eficiente.

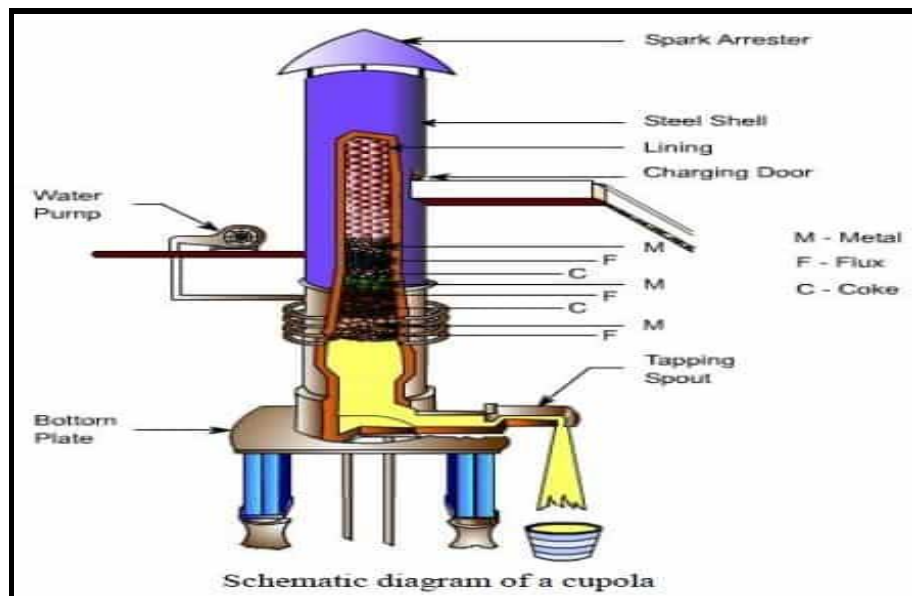
O forno de indução, por sua vez, representa uma tecnologia mais moderna. Ele utiliza princípios eletromagnéticos, por meio de correntes alternadas, para gerar calor suficiente para fundir os metais. Esse tipo de forno se destaca pelo controle

preciso da temperatura, pela eficiência energética e pela menor emissão de poluentes, sendo amplamente empregado em fundições de médio e grande porte.

Já os fornos elétricos funcionam a partir do aquecimento de barras de carbono ou eletrodos, que, ao conduzirem corrente elétrica, atingem temperaturas extremamente elevadas, capazes de fundir diferentes tipos de ligas metálicas. Esse modelo é bastante utilizado na produção de aços especiais e ligas de alto desempenho, devido à sua capacidade de atingir temperaturas muito elevadas e manter estabilidade térmica.

Para o desenvolvimento do protótipo de forno apresentado neste trabalho, optou-se por utilizar como inspiração o modelo de forno de cúpula, devido à sua simplicidade construtiva, baixo custo de implementação e viabilidade em escala reduzida. Essa escolha possibilitou a adaptação do projeto para fins didáticos e experimentais, mantendo a essência do processo de fundição, mas em um formato acessível e adequado para oficinas de pequeno porte e atividades educacionais.

Figura 17 – Forno de Cúpula



Fonte. Funcionamento da Cúpula

14Orçamento

Orçamento de gastos		
Material	Quantidade	Preço
Cilindro de gás	1	R\$ 50,00
massa refratária	3	R\$ 30,00
Bico zamak	1	R\$ 2,80
mangueira	1	R\$ 12,00
Registro	1	R\$ 10,00
Regulador de pressão	1	R\$ 12,50
Tinta de alta temperatura	1	R\$ 33,00
Sapatinha	6	R\$ 5,00
		TOTAL R\$ 155,33

15Materiais Utilizado

Foi utilizado sucata de cilindro de gás descartável para a fabricação do forno de pequeno porte. (Figura 18)

Figura 18– Cilindro de Gás



Fonte. Própria

Utilizamos para o forno de fundição mangueira de alta pressão e válvula reguladora de pressão para ligar o botijão ao queimador. (Figura. 19)

Figura 19 – Mangueira com Regulador



Fonte. Próprio Autor

Massa refratária para fazer o isolamento térmico da sucata de cilindro de gás ao cadinho, massa refratária que suporta a temperatura de 700 à 900 graus. Que faz que o fogo não derreta a parede do forninho. (Figura. 20)

Figura 20 – Massa



Fonte. Próprio Autor

Tinta de alta temperatura que suporta até 400 graus, quando o forninho de fundição estiver em funcionamento, pois esta tinta dificilmente irá descascar durante o uso. (figura 21)

Figura 21 – Tinta Preta



Fonte. Própria

16. Conclusão

O desenvolvimento do forno de fundição a gás possibilitou aos integrantes do grupo a aplicação prática dos conhecimentos técnicos adquiridos ao longo do curso, abrangendo áreas como soldagem, fundição, usinagem e segurança do trabalho. O projeto teve como base a adaptação de um cilindro de gás R410, originalmente utilizado em sistemas de ar-condicionado, que foi transformado em estrutura principal do forno.

O cilindro foi cortado horizontalmente, de modo que a parte superior servisse como tampa móvel e a parte inferior como câmara de fusão. Essa escolha mostrou-se adequada devido à espessura metálica resistente e ao formato cilíndrico, que favorecem a distribuição uniforme do calor durante o processo. O interior foi revestido com concreto refratário, capaz de suportar temperaturas superiores a 1.200 °C, aplicado em camada de aproximadamente 6 cm de espessura. Após a cura de 48 horas, o forno passou por aquecimento gradual em ciclos curtos, eliminando a umidade interna e prevenindo fissuras.

A tampa, confeccionada a partir da parte superior do cilindro, recebeu o mesmo revestimento refratário e foi equipada com um orifício central, que atua como chaminé e saída de gases, além de permitir a observação do estado do metal em fusão. Para facilitar o manuseio, foi instalado um cabo metálico com isolamento térmico.

O aquecimento do forno é realizado por um maçarico alimentado por GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), conectado a uma mangueira de alta pressão e a um registro regulador. A chama é injetada lateralmente na câmara de combustão, garantindo uma chama azul intensa e temperaturas adequadas para a fusão de ligas leves, como alumínio e latão. O cadinho, confeccionado em aço inoxidável, foi posicionado centralmente sobre uma base refratária, apresentando boa resistência à corrosão e durabilidade mesmo após diversos ciclos térmicos.

O protótipo demonstrou-se funcional e eficiente, atingindo temperaturas suficientes para a fusão de alumínio, com baixo consumo de gás e boa estabilidade térmica. Além disso, mostrou-se adequado para fins didáticos e experimentais, permitindo a demonstração prática do processo de fusão e moldagem de ligas metálicas em oficinas mecânicas e ambientes educacionais.

Por fim, ressalta-se a importância da utilização de equipamentos de proteção individual (EPI) e da operação em áreas abertas e ventiladas, garantindo a segurança dos usuários. O projeto cumpriu seus objetivos, unindo teoria e prática, e evidenciou a viabilidade de soluções acessíveis e funcionais para o ensino técnico e para pequenas aplicações em fundição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alimentação do sistema <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/processo-de-fundicao>. Acessado dia 27.11.2025

AMARAL, Luiz Antônio do; SOARES, Ricardo.

Processos de fabricação. 3. ed. São Paulo: Érica, 2018.

BALDAM, R.; VIEIRA, J.

História da metalurgia. São Paulo: Érica, 2014.

CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G.

Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CHIAVERINI, Vicente. **Fundição: princípios e aplicações**. 7. ed. São Paulo: ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2002.

CHIAVERINI, Vicente. **Fundição: princípios e aplicações**. 9. ed. São Paulo: ABM – Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2018.

Eduardo: https://www.eduardomoreira.eng.br/metalurgia/inducaao_3/inducaao.html. Acessado dia 27.11.2025.

Forno Cubilô: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/processo-de-fundicao>. Acessado dia 27.11.2025.

Forno de Fundição: <https://ric.cps.sp.gov.br/>. Acessado dia 28.11.2025

Forno: <http://heating-melting.com.br/1-2-1-regenerative-gas-fired-tilting-furnace.html>. Acessado dia 27.11.2025

Fornos Rotativos: <https://www.djfornos.com.br/forno-rotativo-industrial>. Acessado dia 28.11.2025.

Funcionamento da Cúpula: <https://compraco.com.br/en/blogs/industria/forno-cupula-diagrama-e-funcionamento-da-cupula>. Acessado dia 28.11.2025.

Fundição Aço: <https://www.renderingofthe.com/2025/11/28/industrial-efaf/>. Acessado dia 28.11.2025.

Fundição e moldação: <https://www.studocu.com/pt/document/universidade-do-porto/introducao-a-engenharia-mecanica/ieng1-introducao-a-engenharia-i-fundicao-e-moldacao-2025/145710403>. Acessado dia 25.11.2025

Fundição Shell Molding: <https://www.fremar.com.br/fundicao-shell-molding.html>. Acessado dia 25.11.2025

GONÇALVES, R. P. **Fundição: conceitos básicos e aplicações industriais**. Florianópolis: UFSC, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/>>. Acesso em: 2 nov. 2025.

GROOVER, Mikell P. **Fundamentos da manufatura moderna**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

Ligantes Refratária: [https://pt-br.ecolab.com/solutions/refractory-binders#f:@websolutions=\[Refractory%20Binders\]&f:@webapplications=\[Colloidal%20Silica\]](https://pt-br.ecolab.com/solutions/refractory-binders#f:@websolutions=[Refractory%20Binders]&f:@webapplications=[Colloidal%20Silica]). Acessado dia 28.11.2025.

MACHADO, Nelson Martins; SILVA, Adilson. **Processos de fabricação mecânica I: fundição, conformação e soldagem**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2014.

Metalpoli: <https://www.metalpoli.com.br/pecas-fundidas-para-equipamentos.php>. Acessado dia 25.11.2025

Núcleo de Conhecimento: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-mecanica/processo-de-fundicao>. Acessado dia 28.11.2025.

Núcleo de conhecimento: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/wp-content/uploads/kalins-pdf/singles/processo-de-fundicao.pdf>. Acessado dia 25.11.2025.

POLIMAN. **Fundição: simplificando a solução para os defeitos de processo**. 13 maio 2025. Disponível em: <<https://www.poliman.srv.br/fundicao>>. Acesso em: 2 nov. 2025.

Processo de Fundição. <https://www.x-plasticparts.com/blog/types-of-casting-process/> Acessado dia 25.11.2025.

Processo de Fundição: <https://www.trdhardware.com/oid1746129/CASTING.htm>. Acessado dia 25.11.2025. Rendering of the EAF with panels. Acessado dia 28.11.2025.

SENAI. **Fundição em moldes de areia: tecnologia mecânica – módulo 1**. Brasília: SENAI/DN, 2019.

SOUZA, Carlos A. **Combustão industrial e eficiência energética**. São Paulo: Blucher, 2020.