

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
ETEC TRAJANO CAMARGO
CURSO DE TÉCNICO EM METALURGIA**

**ELDRIN GABRIEL GOMES DE ARAUJO
FELIPE AMORIM DE ANDRADE
FELIPE AUGUSTO FERNANDES DOS SANTOS
GEAN DIAS ROCHA
VOLNEI GONÇALVES**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA CAIXA DE MACHO COM AMPLIAÇÃO DE
CAVIDADES PARA AUMENTO DA PRODUTIVIDADE**

**LIMEIRA/SP
2026**

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
ETEC TRAJANO CAMARGO
CURSO DE TÉCNICO EM METALURGIA**

**ELDRIN GABRIEL GOMES DE ARAUJO
FELIPE AMORIM DE ANDRADE
FELIPE AUGUSTO FERNANDES DOS SANTOS
GEAN DIAS ROCHA
VOLNEI GONÇALVES**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA CAIXA DE MACHO COM AMPLIAÇÃO DE
CAVIDADES PARA AUMENTO DA PRODUTIVIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Banca Examinadora, como
exigência parcial para a obtenção de título
de Técnico em Metalurgia da Escola
Técnica Trajano Camargo sob a orientação
do Professor João Augusto Montesano.

**LIMEIRA/SP
2026**

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	4
2.1 Objetivo Geral	5
2.2 Objetivos Específicos	5
3. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA	6
3.1 Histórico da fundição	6
3.2 Processo de fundição	7
3.3 Macharia na fundição	8
3.4 Gargalos na produção	11
4. METODOLOGIA	12
4.1 Desenho auxiliado a computador	12
4.2 Fabricação em máquina CNC	13
4.3 Comparação	14
4.4 Fluxograma	15
4.5 Cronograma de execução das atividades	16
4.6 Recursos necessários	17
5. RESULTADOS ESPERADOS	19
REFERÊNCIAS	20

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Com a indústria avançando, as empresas passaram a buscar formas de melhorar os seus processos de fabricação, para aumentar a qualidade das peças e a produtividade. Com o aumento da competitividade industrial, muitas empresas começaram a buscar alternativas para terem melhor produtividade e reduzir perdas nos processos de fabricação. Nesses métodos, destaca-se o processo de fundição, muito utilizado na fabricação de peças devido por ser muito versátil e aplicado em diferentes setores industriais (EVANGELISTA; SILVA, 2020).

Durante a avaliação do processo produtivo, identificou-se um problema relacionado a fabricação dos machos utilizados na fundição. A caixa de macho atualmente empregada tem apenas uma cavidade, enquanto o molde requer quatro machos. Dessa forma, foi necessário repetir o processo diversas vezes, aumentando o tempo de produção e reduzindo o rendimento produtivo.

Com isso, o setor de macharia passou a terem atrasos na produção, atrasando outras etapas da fundição, como a moldagem e o vazamento. Essa situação causa conflitos na produção, acúmulo de demandas e diminuição do desempenho da fundição, além de elevar o esforço necessário para a execução das atividades.

Diante desse problema, o trabalho tem como objetivo, desenvolver uma ampliação da caixa de macho, substituindo a atual de cavidade única por um modelo com quatro cavidades no processo de fundição em areia de cura fria. A proposta é elevar a produtividade, reduzir o tempo de fabricação dos machos, entre as etapas do processo produtivo ajudando a tornar o processo mais rápido e melhor dentro da fundição.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma ampliação da caixa de macho no processo de fundição em areia cura fria, buscando aumentar a produtividade e reduzir o tempo de fabricação dos machos.

2.2 Objetivos Específicos

- Buscar informações sobre o processo de fundição em areia cura fria e a fabricação de machos;
- Analisar o processo atual de produção dos machos utilizados na fundição estudada;
- Identificar os principais gargalos relacionados à fabricação dos machos;
- Levantar a quantidade de machos necessária para a montagem do molde da peça analisada;
- Desenvolver o projeto de uma nova caixa de macho com quatro cavidades;
- Acompanhar a fabricação da nova caixa de macho utilizando máquina Router CNC;
- Comparar o desempenho produtivo da caixa antiga com a nova proposta;
- Avaliar os ganhos de produtividade obtidos após a ampliação da caixa de macho.

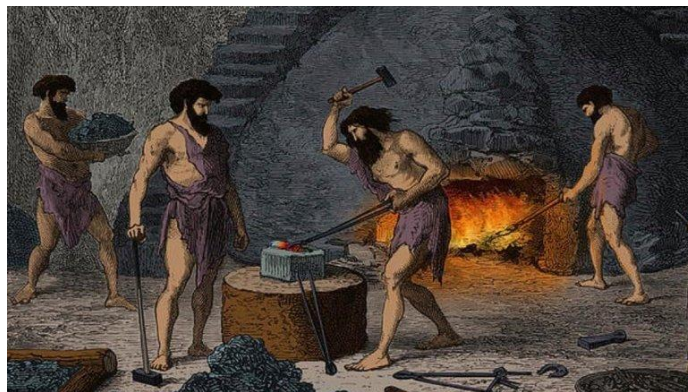
3. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

3.1 Histórico da fundição

A fundição é um processo utilizado há muitos anos na fabricação de peças metálicas, podendo produzir componentes únicos ou em série, com diferentes tamanhos. Além disso tem um custo baixo e permite obter peças próximas das dimensões finais, reduzindo, em alguns casos, a necessidade de processos posteriores, como usinagem e conformação mecânica (BALDAM; VIEIRA, 2014).

Os primeiros registros do uso de metais foram por volta de 5.000 e 3.000 a.C., período em que objetos de cobre fundido eram produzidos com o auxílio de moldes simples feitos de pedra. Com o tempo, os metais passaram a ser utilizados na fabricação de ferramentas e utensílios, contribuindo diretamente para o desenvolvimento das atividades humanas, como na figura 1.

Figura 1: Representação da metalurgia na Pré-História



Fonte: Sanchís (2024).

Ao longo dos anos, novas técnicas foram sendo desenvolvidas. Durante a Idade do Bronze, por exemplo, o cobre começou a ser combinado com estanho, originando um material com maior resistência mecânica. Posteriormente, por volta de 1000 a.C., iniciou-se a Idade do Ferro, marcada pela utilização do ferro forjado, material mais resistente (BALDAM; VIEIRA, 2014).

Atualmente, no setor da indústria, a fundição é considerada um dos processos mais utilizados na fabricação de peças metálicas, permitindo a produção com formatos próximos ao final desejado.

3.2 Processo de fundição

A fundição é um processo de fabricação utilizado para produzir peças com diferentes formatos a partir da fusão da matéria-prima. Nesse processo, o metal é aquecido até atingir o estado líquido em seguida, passa um molde, onde uma cavidade tem o formato da peça desejada. Após o resfriamento o material se solidifica, saindo a peça final. Esse método é muito utilizado na indústria, sendo aplicado em muitos materiais como na figura 2.

Figura 2: Processo de fundição de bronze.



Fonte: Fbm (2025).

Nas palavras de Baldam e Vieira (2014), a fundição pode ser definida como o derramamento de um dado metal ou liga metálica em uma cavidade chamada de molde e cujo formato representa o tipo da peça.

Esse método pode ser empregado em variados tipos de liga e ser classificada de acordo com o molde utilizado. Os moldes podem ser alteráveis, a cada vazamento, há descarte do molde utilizado. Esse tipo de molde pode limitar a produção pelo tempo de sua montagem. Geralmente, são feitos de areia. Já o molde permanente costuma

ser feito de metal ou outro material durável e pode ser utilizado diversas vezes, não limitando a produtividade do vazamento (GROOVER, 2017).

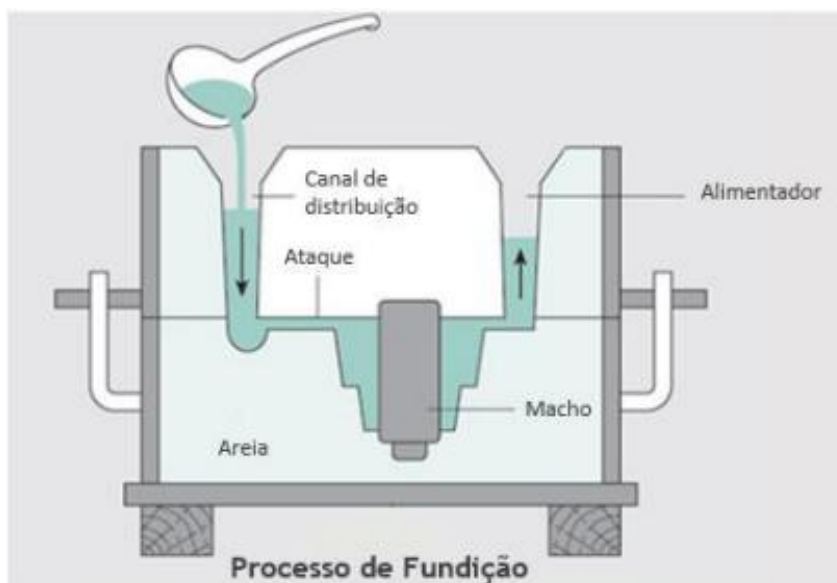
Os processos de fundição têm características por serem eventos em que está envolvida uma série de transformações físico-químicas. Estas transformações ocorrem tanto nas mudanças de fase, que são colocados os materiais utilizados no preenchimento do molde, quanto substituições de matéria. Tem se, como substituição de matéria, mudança de materiais, nas passagens de forma ou geometria: do modelo para o molde e do molde para o produto, ou seja, as passagens da forma positiva para forma negativa e, novamente, para a positiva, mantendo as dimensões e o formato da peça com precisão (GUILIANO, 2008).

A escolha do processo de fundição para a fabricação de uma peça depende de muitos fatores, como a quantidade para ser produzida, o tamanho, peso da peça, os níveis de detalhes, a precisão e o acabamento da superfície desejada. Além disso, o custo que se tem com equipamentos processos depois, podem influenciar diretamente nessa decisão. Cada processo de fundição possui suas características próprias, o que permite a fabricação de diferentes tipos de peças, conforme demonstrado no fluxograma da Figura 2.

3.3 Macharia na fundição

Os machos, que são componentes colocados no interior do molde permitem a produção de peças complexas ou que apresentam cavidades internas, são constituídos por grãos de areias ligados por uma resina. A utilização de machos permite uma redução do recurso da máquina para peça final bem como a produção de peças que, de outra forma, seria impossível (LOPES, 2019). O esquema de aplicação do macho no interior da moldação pode ser observado na Figura 3.

Figura 3: Esquema do vazamento de uma moldação que engloba um macho.



Fonte: Anebon (2025).

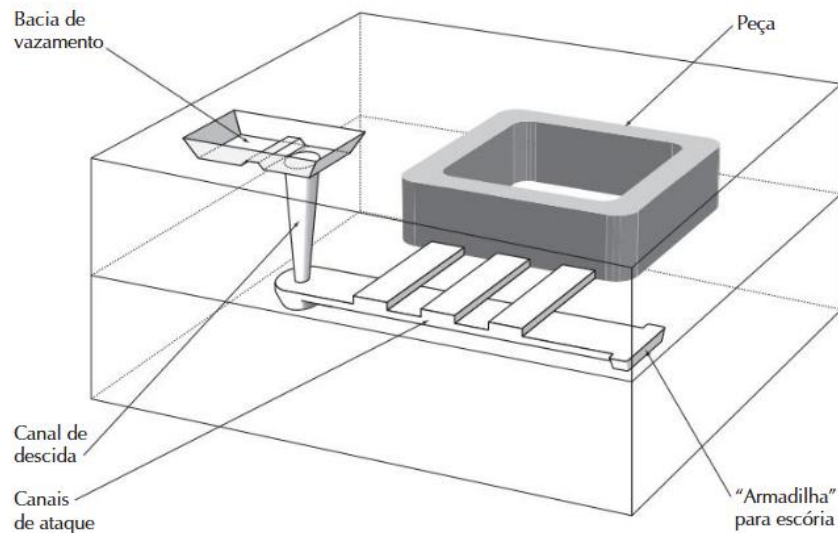
Os machos são componentes muito importantes, tendo que apresentar resistência mecânica suficiente para serem operados, bem como elevada resistência a erosão e a deformação, de modo a suportarem os esforços que são sujeitos durante o vazamento e a solidificação do metal. Devem também possuir elevada estabilidade térmica e dimensional. Por outro lado, devem apresentar uma ruptura adequada para permitir a sua remoção durante o processo de desmontagem. (Lopes, 2019)

Para que a peça fundida apresente corretamente suas formas internas, é necessário que o volume seja preenchido dentro da cavidade do molde, utilizando componentes de areia aglomerada, conhecidos como machos, produzidos na etapa da macharia. Durante o processo de solidificação, a maioria das ligas metálicas sofre contração, o que, junto com a temperatura de fusão do material, influencia diretamente nas dimensões da cavidade do molde e na escolha do material utilizado (Kiminami; Castro; Oliveira, 2013).

Além disso, o molde pode conter cavidades auxiliares que não fazem parte da peça final, mas que são fundamentais para o processo, como canais de alimentação, sistemas de exaustão de gases e elementos que ajudam a controlar o fluxo do metal líquido, evitando defeitos e garantindo melhor qualidade na peça produzida (Kiminami; Castro; Oliveira, 2013). A Figura 4 é possível observar um sistema de alimentação

utilizado em moldes de areia, com os canais responsáveis pela condução do metal líquido durante o processo de fundição.

Figura 4: Sistema de alimentação em molde de areia.



Fonte: Kiminami; Castro; Oliveira (2013).

No projeto de engenharia de molde todas as partes que constituem o sistema de alimentação são especificadas quanto as suas geometrias, dimensões e posições em relação à cavidade do molde. O metal é vazado pelo bocal (ou bacia) de vazamento, passando, então, pelo canal de descida, cuja geometria cônica garante um fluxo constante. Depois disso, o metal entra no canal de distribuição, ainda fora da parte que virá a peça. Nessa parte, o sistema possui vários detalhes que mostra a escória que tenha sido vazada junto com o metal. A entrada do metal fundido na parte da cavidade que virá na peça é feita pelos canais de ataque, cujo número e área são projetados para garantir um fluxo sem turbulência, uma velocidade equalizada de entrada e pressão suficiente para o preenchimento de toda a cavidade (Kiminami; Castro; Oliveira, 2013).

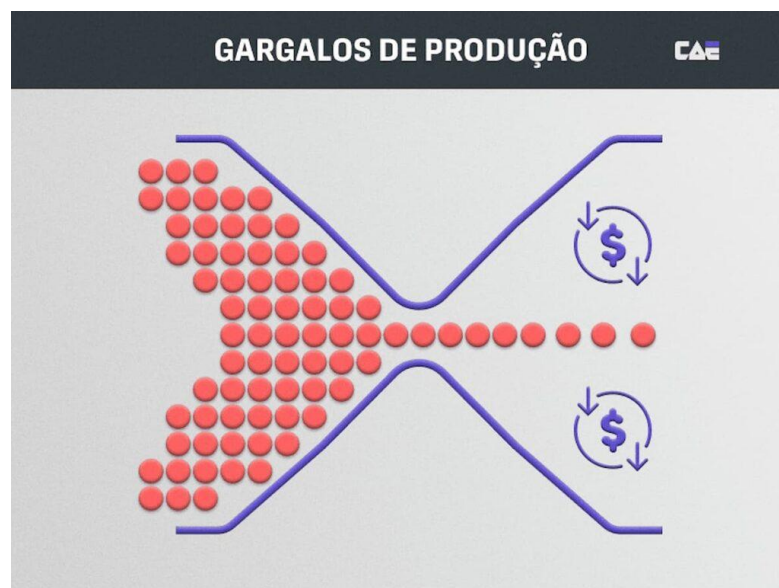
3.4 Gargalos na produção

Os gargalos de produção podem ser definidos como algo que reduz a capacidade de fabricação e compromete o desempenho de outras etapas do processo. Em uma linha de produção, o gargalo ocorre quando um determinado setor ou equipamento apresenta uma capacidade produtiva menor aos demais, fazendo com que o fluxo de produção fique limitado.

Segundo Goldratt e Cox (1997), as restrições em um sistema produtivo podem influenciar diretamente no desempenho da empresa, pois toda a produção acaba sendo condicionada a capacidade do setor que possui menor rendimento. Dessa forma, mesmo que os demais processos apresentem alta capacidade produtiva, o sistema continuará limitado pela etapa considerada gargalo.

Para explicar esse conceito, Goldratt (1997) compara o sistema produtivo aos elos de uma corrente, em que cada elo representa a capacidade de produção de um setor. Nesse caso, o elo mais fraco simboliza o gargalo da produção, já que ele limita a resistência e o desempenho de toda a corrente. Assim, entendemos que a capacidade produtiva total da empresa depende diretamente da etapa com menor desempenho.

Figura 5: Gargalos no processo produtivo.



Fonte: Sander (2022).

4. METODOLOGIA

O trabalho começou com a observação do processo de fabricação de machos no setor de macharia, com o objetivo de identificar problemas relacionadas à capacidade produtiva. A partir disso, foi possível ver se a necessidade de melhora do processo, principalmente na utilização de uma caixa de macho com apenas uma cavidade.

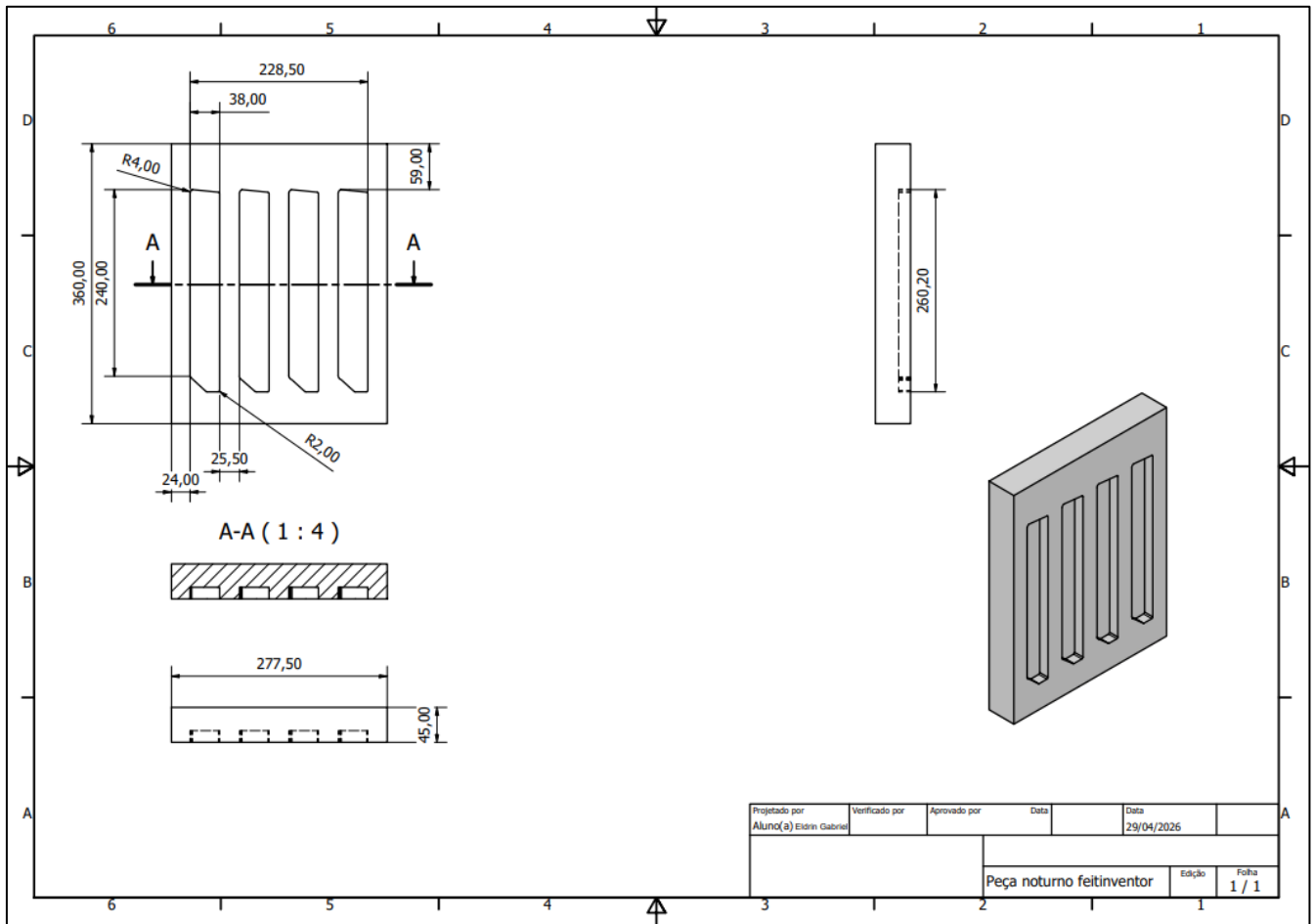
O desenvolvimento do trabalho foi realizado em parceria com a empresa **USIMOLDE**, com o apoio da **ETEC Trajano Camargo** e orientação do professor João Augusto Montesano, onde nós foi permitido uma aplicação prática dos conceitos estudados no curso.

O projeto foi desenvolvido como uma pesquisa aplicada e experimental, baseada em um problema identificado na empresa. Como uma proposta de melhoria, foi projetada uma nova caixa de macho com múltiplas cavidades, buscando aumentar a produtividade e reduzir o tempo de fabricação dos machos.

Depois da fabricação da nova caixa, foram comparados os resultados obtidos entre o processo anterior e o processo feito, considerando tempo de produção e capacidade produtiva, com intuito de avaliar os resultados obtidos.

4.1 Desenho auxiliado a computador

O desenvolvimento da nova caixa começou as medidas da caixa de macho existente, servindo como referência para a criação do modelo construído, com quatro cavidades, permitindo maior rendimento na produção. O desenho apresentado na figura 5 foi realizado no Inventor.

Figura 5: Caixa de macho feita no Inventor.

Fonte: Os autores (2026)

4.2 Fabricação em máquina CNC

A fabricação da nova caixa de macho foi realizada em uma máquina CNC do tipo fresadora, utilizada para usinagem de madeira. O processo teve como objetivo transformar o bloco bruto em uma peça com as dimensões desejadas do projeto desenvolvido.

A usinagem foi dividida em duas etapas principais: desbaste e acabamento. No desbaste, foi utilizada uma ferramenta de maior dimensão para remover o excesso de material e aproximar a peça do formato final. Em seguida, foi feito o acabamento com ferramentas menores, permitindo maior precisão nos detalhes e melhor qualidade da superfície.

Após a usinagem, a peça passou por acabamento manual, incluindo lixamento, aplicação de massa e pintura, tornando a superfície adequada para utilização no processo de fundição.

Todo o processo foi executado a partir de um programa CNC desenvolvido com base no modelo projetado anteriormente.

Figura 6: Máquina CNC utilizada na fabricação da caixa de macho



Fonte: Os autores (2026)

4.3 Comparação

A Figura 7 apresenta a caixa de macho anteriormente utilizada no processo de fundição, com uma única cavidade. Já a Figura 8 mostra a nova caixa desenvolvida, com quatro cavidades, projetada com o objetivo de aumentar a produtividade do processo.

A comparação entre os dois modelos foi realizada considerando a quantidade de machos produzidos em determinado intervalo de tempo. No processo anterior, com a utilização da caixa de uma cavidade, era possível produzir aproximadamente 20 machos por hora.

Com a implementação da nova caixa de macho, com quatro cavidades, a produção passou para cerca de 80 machos por hora, representando um grande aumento na produção.

Além disso, foi observado que o tempo de acabamento da caixa usinada é de aproximadamente 30 minutos, o que se mostra viável ao ganho obtido na produtividade.

Figura 7: Caixa de macho antiga



Fonte: Os autores (2026)

Figura 8: Nova caixa de macho

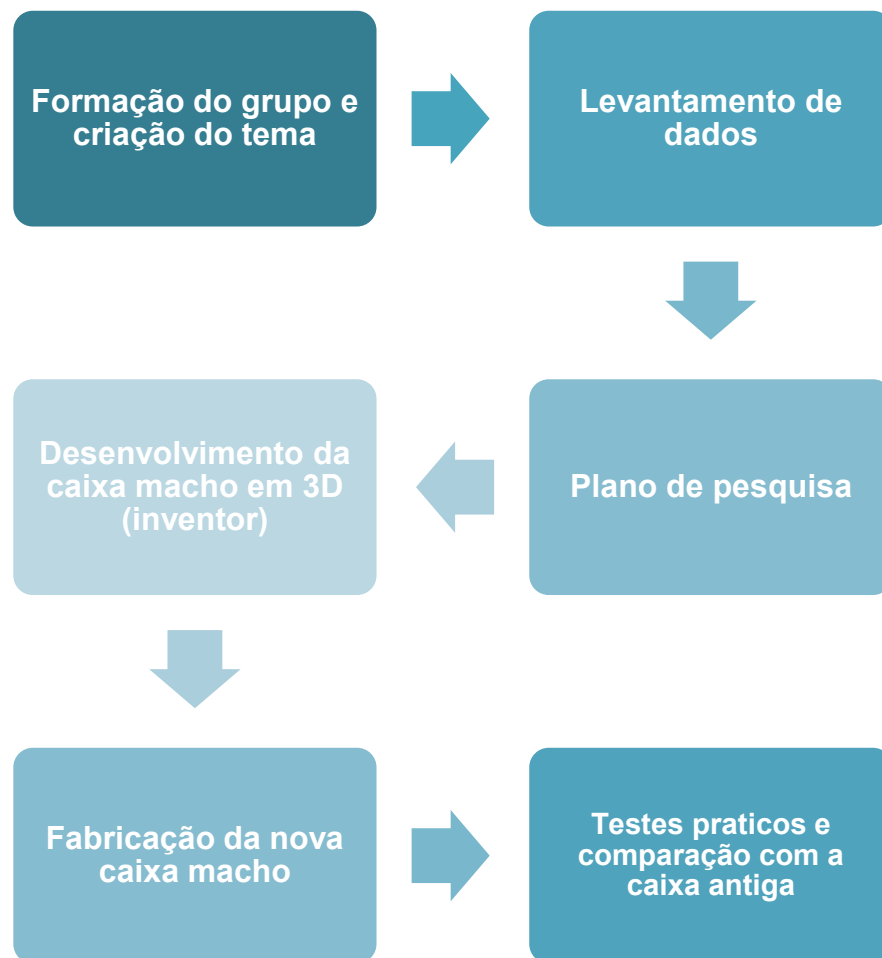


Fonte: Os autores (2026)

4.4 Fluxograma

O fluxograma apresentado na figura 9 foi desenvolvido com o objetivo de representar, de forma simples e visual, a sequência das etapas do projeto. Por meio dele, é possível compreender o caminho que foi seguido durante o desenvolvimento do TCC, desde a definição do tema até a fabricação da nova caixa de macho e os testes realizados.

Figura 9: Desenvolvimento das atividades Experimentais.



Fonte: Os autores (2026)

4.5 Cronograma de execução das atividades

O cronograma apresentado na figura 10 foi elaborado para organizar todas as etapas do desenvolvimento do projeto ao longo do TCC. Nele, estão distribuídas atividades como pesquisas, desenvolvimento do desenho em 3D, fabricação da nova caixa de macho, testes práticos e apresentação final do TCC, permitindo um melhor planejamento.

Figura 10: Cronograma de planejamento do projeto.

Atividades	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Escolha do Tema										
Escolha do grupo										
Pesquisa do Tema										
Levantamento bibliográfico										
Escrita no Diário de Bordo										
Plano de Pesquisa										
Desenvolvimento do desenho em 3D (Inventor)										
Desenvolvimento do protótipo										
Testes práticos										
Comparação dos resultados										
Apresentação do projeto p/ Professor										
Apresentação Final (TCC)										

Fonte: Os autores (2026)

4.6 Recursos necessários

Os custos apresentados na figura 11 referem-se aos principais materiais e serviços utilizados no desenvolvimento da nova caixa de macho. Alguns itens não tiveram seus valores determinados de forma individual, pois fazem parte da estrutura operacional da empresa parceira utilizada durante a execução do projeto.

Figura 11: Custos envolvidos na fabricação da caixa de macho

Material	Custo	Observação
Bloco de madeira:	R\$ 120,00	Matéria-prima
Serviço de usinagem CNC:	R\$ 400,00	Fabricação da caixa
Massa para acabamento:	—	Material auxiliar
Cola e pregos:	—	Material auxiliar
Lixas:	—	Acabamento manual
Energia elétrica:	—	Consumo do processo
Total:	R\$ 520,00	—

Fonte: Os autores (2026)

5. RESULTADOS ESPERADOS

Com a realização deste trabalho, foi possível analisar um problema real no processo de fabricação de machos em uma fundição, relacionado à baixa produtividade no setor de macharia.

Foi identificado que o uso de uma caixa de macho com apenas uma cavidade gerava um gargalo no processo, já que eram necessários mais machos. Isso fazia com que o processo fosse repetido mais vezes, aumentando o tempo de produção.

Como solução disso, foi desenvolvida uma nova caixa de macho com quatro cavidades. Após sua aplicação, foi possível observar um aumento maior na produção, passando de cerca de 20 para 80 machos por hora.

Esse resultado mostra que a solução proposta foi concluída, contribuindo para a redução do tempo de fabricação e melhoria do fluxo de produção. Além disso, houve um melhor aproveitamento do processo e redução de esforços necessários nas operações.

Dessa forma, conclui-se que a ampliação da caixa de macho é uma alternativa viável para melhorar a produtividade na fundição, podendo ser aplicada em situações semelhantes.

REFERÊNCIAS

BALDAM, R. L.; VIERA, E. A. V. **Fundição: processos e tecnologias correlatas**. 2. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda., 2014. p. 21. Acesso em: 04/04/2026.

CASOTTI, B.; DEL BEL FILHO, E.; CASTRO, P. C. **Indústria de fundição: situação atual e perspectivas**. 2008. Acesso em: 04/04/2026.

CIUPKA, Pedro Henrique; JACCOUD, Carlos Felipe Teixeira; FONTES, Thauan Felipe Carvalho. **A interferência dos gargalos de produção, suas causas, consequências e métodos para reduzir seus efeitos**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 1., 2011, Ponta Grossa. Anais [...]. Ponta Grossa: CONBREPPO, 2011. Disponível em: CONBREPPO PDF. Acesso em: 11 maio 2026.

EVANGELISTA, A. S.; SILVA, J. **Processo de fundição e sua versatilidade na fabricação de peças**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, Ano 05, Ed. 03, Vol. 11, p. 21-50, março 2020. Acesso em: 04/04/2026.

GIULIANO, J. A. S. **Os processos de fundição, como ferramenta na obtenção de esculturas em metal**. Dissertação (Mestrado), 2008. Acesso em: 04/04/2026.

GOLDRATT, Eliyahu M.; COX, Jeff. **A meta: um processo de melhoria contínua**. São Paulo: Educator, 1997.

KIMINAMI, C. S.; CASTRO, W. B.; OLIVEIRA, M. F. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos**. São Paulo: Blucher, 2014. Disponível em: https://issuu.com/editorablucher/docs/issuu_processos_3a7287de94334e. Acesso em: 04/04/2026.

LOPES, P. A. X. **Otimização do processo de fabrico de machos na SAKTHI Portugal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Universidade do Porto, Porto, 2019. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/123042/2/359966.pdf>. Acesso em: 04/04/2026.

MASCARENHAS FILHO, P. J. C. **Fundição em areia a verde: uma abordagem experimental**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Exatas e Tecnológicas) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2016. Disponível em: Repositório UFRB – Fundição em Areia a Verde. Acesso em: 04 abr. 2026.