

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS**  
**ENGENHARIA MECÂNICA**  
**LUIZ FELIPE ANTONIO DE MEDEIROS GONÇALVES**

**MELHORIA NO CONTROLE DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE  
REFRIGERAÇÃO EM MOLDES METÁLICOS: Desenvolvimento de um teste na  
refrigeração durante setup.**

**Varginha**

**2024**

**LUIZ FELIPE ANTONIO DE MEDEIROS GONÇALVES**

**MELHORIA NO CONTROLE DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE  
REFRIGERAÇÃO EM MOLDES METÁLICOS: Desenvolvimento de um teste na  
refrigeração durante setup.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel, sob a orientação do Prof. Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes.

**Varginha**

**2024**

**LUIZ FELIPE ANTONIO DE MEDEIROS GONÇALVES**

**MELHORIA NO CONTROLE DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE  
REFRIGERAÇÃO EM MOLDES METÁLICOS: Desenvolvimento de um teste na  
refrigeração durante setup.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção de grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em:     /     /

---

Prof. Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes

---

Prof.

---

Prof.

OBS:

Dedico este trabalho a todos que aqueles que gostam da área de processos de fundição e que apreciem a fundo a melhoria contínua em processos de produção. Dedico também a todos aqueles que contribuíram para que eu pudesse realizar a pesquisa com êxito.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela saúde me fornecida para realização do trabalho, a minha família pela dádiva da vida, minha namorada Nathalia pelo amor incondicional, aos colaboradores da empresa pelo apoio técnico e ao meu orientador professor Luiz Carlos Vieira Guedes pelos compartilhamentos de conhecimentos.

"Em seu coração, a engenharia é sobre usar a ciência para encontrar soluções criativas e práticas. É uma profissão nobre".

Rainha Elizabeth II

## RESUMO

Este trabalho trata da implementação e teste de um dispositivo destinado a melhorar o controle da eficiência do sistema de refrigeração de moldes utilizados na fundição, em uma empresa fabricante de rodas de alumínio, durante o *setup*. Os objetivos principais foram reduzir os atrasos no *setup* relacionados a problemas nos circuitos de refrigeração e melhorar a eficácia destes circuitos na produção, fatores estes que impactavam negativamente a produtividade.

Para se chegar aos objetivos principais foram realizadas revisões bibliográficas pertinentes, análises dos processos relacionados ao setor de fundição da empresa, desenvolvimento e teste do dispositivo. O teste do dispositivo foi realizado no mês de Junho de 2024, e através deste teste foi possível a coleta de dados para comprovar a viabilidade da melhoria.

Os dados indicaram uma eliminação total dos atrasos no *setup* relacionados ao sistema de refrigeração, anteriormente responsáveis por perda de produção. Além disso, a introdução do dispositivo permitiu um controle mais preciso da temperatura dos moldes, resultando em uma eficiência térmica aprimorada e maior uniformidade na fundição. Houve também uma redução significativa nos defeitos das peças e um aumento na vida útil dos moldes, graças à manutenção preventiva direcionada com base no monitoramento dos circuitos.

Os resultados positivos apontam para a viabilidade de expandir o uso do dispositivo para outras áreas do processo produtivo, promovendo ganhos adicionais de eficiência e qualidade na produção de rodas de alumínio.

**Palavras-chave:** Fundição. *Setup*. Circuitos de Refrigeração.

## **ABSTRACT**

*This work deals with the implementation and testing of a device designed to improve the control of the efficiency of the cooling system of molds used in casting, in an aluminum wheel manufacturing company, during setup. The main objectives were to reduce delays in setup related to problems in the cooling circuits and improve the effectiveness of these circuits in production, factors that negatively impacted productivity.*

*In order to achieve the main objectives, pertinent bibliographic reviews, analyses of the processes related to the company's casting sector, development and testing of the device were carried out. The device was tested in June 2024, and through this test it was possible to collect data to prove the feasibility of the improvement.*

*The data indicated a total elimination of delays in setup related to the cooling system, previously responsible for production loss. In addition, the introduction of the device allowed for more precise control of the mold temperature, resulting in improved thermal efficiency and greater uniformity in casting. There was also a significant reduction in part defects and an increase in the useful life of the molds, thanks to targeted preventive maintenance based on monitoring of the circuits.*

*The positive results point to the viability of expanding the use of the device to other areas of the production process, promoting additional gains in efficiency and quality in the production of aluminum wheels.*

**Keywords:** *Foundry. Setup. Cooling Circuits.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo de Fundição sob pressão ou injeção da roda de alumínio.....	14
Figura 2: Corte de uma matriz de fundição sob pressão .....	15
Figura 3: Corte de uma matriz de fundição sob pressão .....	17
Figura 4: Forno para Derretimento do Alumínio .....	21
Figura 5: Lingotes de alumínio.....	21
Figura 6: Unidade de Desgaseificação de Fundição (FDU).....	22
Figura 7: Máquina Injetora Guima 43 .....	23
Figura 8: Raio X Bosello .....	24
Figura 9: Vista lateral de um molde de roda automotiva .....	26
Figura 10: Sistema de refrigeração de um molde de roda automotiva .....	27
Figura 11: "Prato" do sistema de refrigeração.....	28
Figura 12: Falta de Material na aleta interna da roda.....	29
Figura 13: Falta de material na aleta externa da roda.....	30
Figura 14: Contração esponjosa na aleta da roda .....	30
Figura 15: Perfil de uma roda com porosidade .....	31
Figura 16: Dispositivo para teste no sistema de refrigeração dos moldes.....	35

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1: Atrasos no setup por circuitos de refrigeração defeituosos x Eficiência Produtiva.37

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	14
<b>2.1 Processo de fundição sob pressão ou injeção</b> .....	14
2.1.1 Fundição do alumínio .....	15
2.1.2 Solidificação direcional.....	16
2.1.3 Circuito de refrigeração.....	17
2.1.4 Eficiência da refrigeração.....	18
<b>2.2 Setup</b> .....	18
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	20
<b>3.1 Descrição do Setor de Fundição da Empresa</b> .....	20
<b>3.2 Apresentação dos moldes utilizados no processo de fundição</b> .....	24
3.2.1 Descrição do Sistema de Refrigeração dos Moldes .....	26
3.2.2 Problemas ocasionados nas rodas por um sistema de refrigeração defeituoso .....	28
<b>3.3 Processo de Setup na Empresa</b> .....	32
<b>3.4 Apresentação do Plano de Melhoria</b> .....	33
3.4.1 Aplicação da melhoria .....	35
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	37
<b>4.1 Redução de atrasos no Setup</b> .....	37
<b>4.2. Melhoria no Controle da Eficiência dos Circuitos de Refrigeração dos Moldes</b> .....	38
<b>4.3 Aumento na Eficiência Produtiva</b> .....	38
<b>4.4. Desafios e Oportunidades de Melhoria</b> .....	39
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	40
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	41

## 1 INTRODUÇÃO

No contexto industrial, a busca pela eficiência e otimização dos processos produtivos é uma constante, especialmente em setores que demandam alta precisão e rapidez, como a indústria automotiva. Nesse sentido, aprimorar o controle da eficiência do sistema de refrigeração de moldes metálicos nas injetoras de rodas de alumínio emerge como um desafio estratégico e técnico de grande relevância.

A fabricação de rodas de alumínio é um processo complexo que envolve várias etapas interdependentes. Dentre as etapas do processo de produção, a fundição se destaca como um ponto fundamental. Isso porque é a primeira fase do processo, e suas condições influenciam diretamente a qualidade, a produtividade e os custos finais da empresa. Uma fundição bem executada pode assegurar um produto de alta qualidade, enquanto problemas nesta etapa podem levar a desperdícios e a custos adicionais.

Como mencionado anteriormente, o processo de fundição desempenha um papel crucial na fabricação de rodas de alumínio. Para garantir que essa etapa seja realizada com o mínimo de falhas, é fundamental utilizar moldes metálicos que estejam revisados e em perfeitas condições. Isso inclui uma atenção especial às entradas e saídas do sistema de refrigeração, que devem estar corretamente ajustadas para assegurar uma refrigeração uniforme e eficaz.

Durante o processo de produção, ocorre a etapa de *setup*, que consiste na troca de ferramentas ou moldes na máquina para iniciar a produção de um novo modelo de roda. Embora o novo molde seja revisado antes de ser instalado, geralmente essa revisão ocorre com uma antecedência de duas semanas. O problema é que a instrução operacional do *setup* na empresa, alvo do estudo, não prevê uma segunda revisão do molde antes de sua utilização, o que gera incertezas sobre as condições reais do molde no momento da produção. Como resultado, é comum que problemas como sujeira ou entupimento no sistema de refrigeração dos moldes só sejam detectados quando a produção já está em andamento, ocasionando atrasos e impactando negativamente a eficiência da produção.

Baseando nisso, este estudo teve como objetivo melhorar o controle da eficiência do sistema de refrigeração de moldes metálicos utilizados na fundição de rodas de alumínio, especificamente durante o processo de *setup*, adicionando uma nova revisão no sistema de refrigeração dos moldes. O que foi possível através de: a) Revisão bibliográfica sobre fundição, sistemas de refrigeração e *setup* de moldes metálicos; b) Análise do processo de fundição e *setup* atual na empresa; c) Projeto e desenvolvimento do equipamento de teste do sistema de

refrigeração; d) Atualização da instrução operacional de *setup*; e) Avaliação e eficiência do novo procedimento acrescentado no *setup*; f) Propostas de recomendações.

O teste de refrigeração dos moldes das injetoras de rodas de alumínio, realizado durante o processo de *setup*, trouxe benefícios significativos. Este teste possibilitou uma maior produtividade e reduziu o tempo de inatividade das máquinas. Além disso, contribuiu para uma maior qualidade do produto final, evitando refugos causados por problemas na refrigeração dos moldes, como contração esponjosa e trincas. Com este trabalho, buscou-se avançar no controle da eficiência do sistema de refrigeração dos moldes, oferecendo soluções e recomendações.

O trabalho foi realizado em uma empresa de grande porte, que fabrica rodas de alumínio para automóveis, botijões, tanques para automóveis e eixos v para veículos. Esta fábrica está localizada no Distrito Industrial da cidade Três Corações, Minas Gerais. É importante salientar que o estudo teve como foco a produção de rodas de alumínio, voltado especificamente para o setor de fundição.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta um levantamento de informações, características e conceitos necessários para a realização do trabalho.

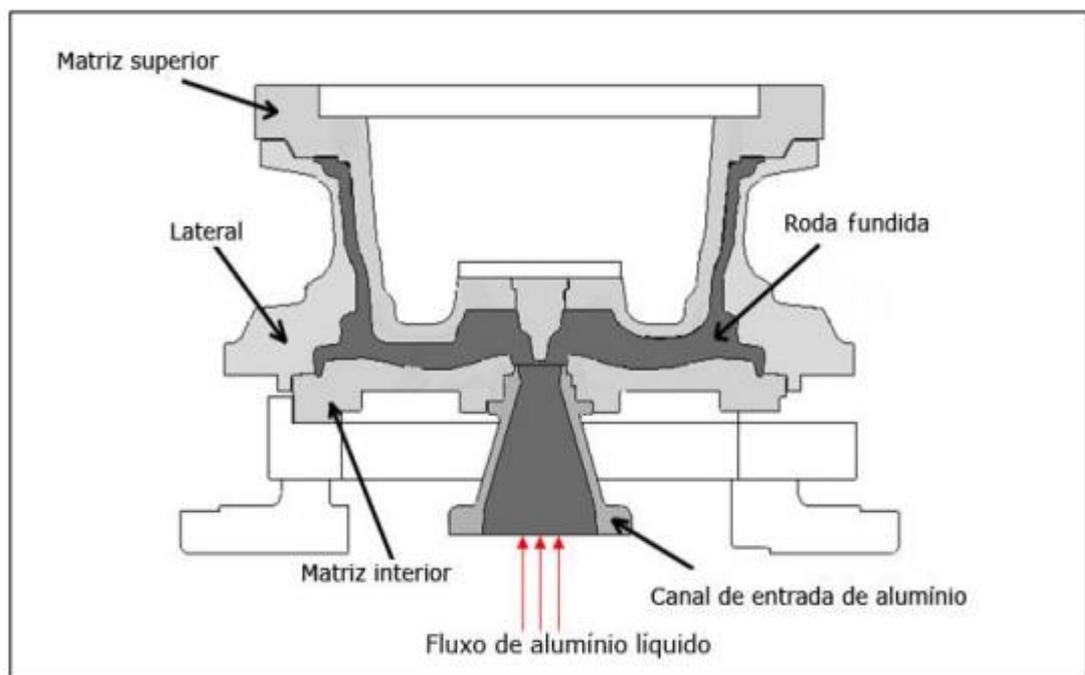
### 2.1 Processo de fundição sob pressão ou injeção

Esse processo é basicamente uma técnica industrial onde o metal líquido é forçado a entrar em um molde metálico usando alta pressão e velocidade. Isso é feito em máquinas especializadas que injetam o metal derretido no molde, que então é resfriado para solidificar e formar o produto desejado.

De forma semelhante, Chiaverine (1986) afirma que consiste em um processo que força o metal líquido, sob pressão, a penetrar na cavidade do molde, chamado matriz. Ainda assim, Chiaverine (1986) assegura que devido à pressão e à conseqüente alta velocidade de enchimento da cavidade do molde, o processo facilita a fabricação de peças de formas bastante complexas e de paredes mais finas que os processos por gravidade permitem.

A Figura 1 representa o desenho esquemático do processo de injeção sob pressão de uma roda de alumínio:

Figura 1: Processo de Fundição sob pressão ou injeção da roda de alumínio



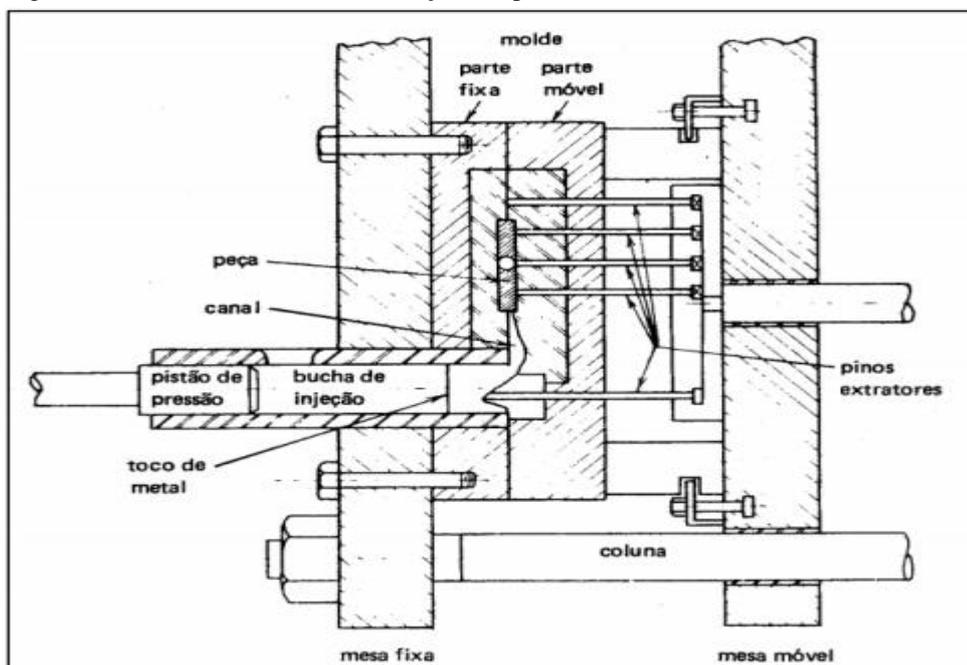
Fonte:Wheels, Volcano.

Na injeção do metal líquido, empregam-se moldes ou matrizes para dar forma à peça desejada. Esse processo ocorre de forma gradual e seguindo uma sequência organizada, conforme os parâmetros específicos da máquina e do produto a ser fabricado. Essa abordagem garante uma injeção controlada e precisa do metal, resultando na forma correta da peça.

[...] A máquina de fundição sob pressão é dotada de duas mesas: uma, fixa, onde se localizam uma metade da matriz e o sistema de injeção do metal líquido: outra, móvel, onde se localizam a outra metade da matriz, o sistema de extração da peça e o sistema de abertura, fechamento e travamento da máquina. (Chiaverini, 1986, p. 30).

A Figura 2 representa o desenho esquemático do processo de injeção sob pressão de uma matriz de fundição:

Figura 2: Corte de uma matriz de fundição sob pressão



Fonte: (Chiaverini, 1986).

A seguir será apresentado como é a fundição do alumínio e suas ligas.

### 2.1.1 Fundição do alumínio

A produção de um material fundido consiste na conformação de um corpo, a partir do vazamento de uma liga metálica numa cavidade moldante, cuja geometria da peça é formada pelo negativo da forma, no interior da moldação. Assim, a refratariedade suficiente para

suportar a temperatura da liga, fornece ao fundido a forma, estabelece as dimensões, a precisão geométrica e o grau de acabamento superficial em bruto de fusão, durante a solidificação e o arrefecimento, até ao abate das moldações (Curado, 2021).

O processo de fundição das ligas de alumínio apresenta várias características, sendo as principais, baixa viscosidade, baixa temperatura de fusão, elevado coeficiente de transferência de calor, curto tempo de moldagem, e a desvantagem é que apresenta, durante o processo, a formação de gás hidrogênio, que pode ser controlado pelo processo de desgaseificação, e a vantagem, as ligas não apresentam interações ou reações, metal –molde, tendo um ótimo acabamento (Fuoco,1997).

O ponto de fusão do alumínio é de 660,3 °C, ou seja, a partir desta temperatura o alumínio passa de sólido para líquido. As peças metálicas podem ser fundidas em fornos cubilôs, fornos de indução elétrica de alta frequência, fornos elétricos a arco e fornos de arco indireto, tipo Detroit (Chiaverini, 2006). Os fatores que afetam a formação da escória na fundição de alumínio são provenientes da oxidação do metal líquido. A temperatura do forno, para o banho líquido é ideal entre 700 e 750 °C, maiores temperaturas tendem a elevar a espessura da camada de óxido de alumínio no processo de fundição (Diniz; Oliveira, 2009).

A fundição pode ser feita usando molde de areia (verdes, aglomerados ou de silicato de sódio por exemplo), metálico (aço ou ferro fundido), molde de gesso e de materiais cerâmicos. Os moldes metálicos, que são ditos permanentes, são usados em grande quantidade de produção, pois diminui o custo de moldagem e é obtido um excelente acabamento superficial das peças, tendo uma melhor tolerância dimensional e melhor qualidade microestrutural devido a maior velocidade de resfriamento. O molde permanente deve ser usado no processo de fabricação superior a dez mil peças, sendo inferior inviável, pelo custo do mesmo (Fuoco, 1997).

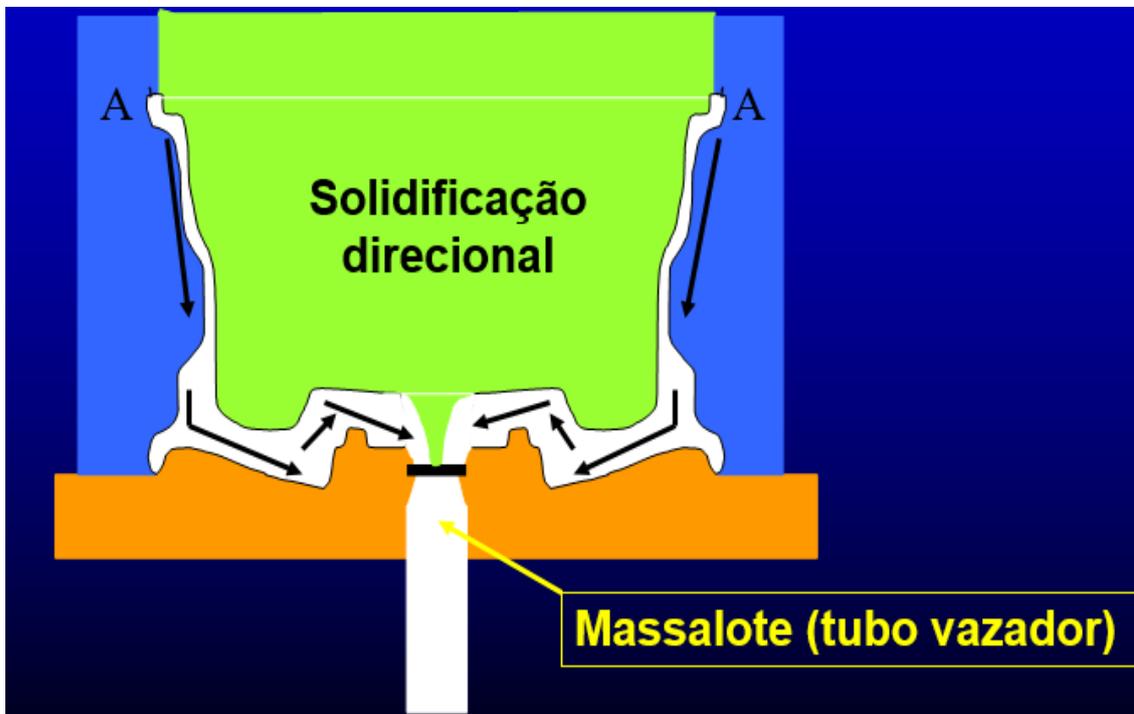
As ligas com menores teores de Si (Silício) (5 a 7%Si) são normalmente empregados para a fundição em molde de areia, enquanto as ligas de maior teor (9 a 13%Si) são normalmente utilizadas em moldes permanentes ou sob pressão (Sousa, 2013).

### 2.1.2 Solidificação direcional

Solidificação é a mudança do estado líquido para o estado sólido através da perda de calor adquirido pelo metal durante sua fusão. Durante a solidificação seu volume diminui, com isso ocorre a contração (Prates, Davies, 1974).

A solidificação direcional ocorre quando o metal dentro do molde é solidificado pelas regiões com espessuras menores primeiro, e posteriormente pelas paredes que possuem espessuras maiores. A seguir (Figura 3) é apresentado como é feita a solidificação direcional auxiliada de refrigeração, de uma roda de alumínio.

Figura 3: Corte de uma matriz de fundição sob pressão



Fonte: O autor.

Como o volume diminui durante a solidificação, se não houver alimentação de material para compensar a redução de volume e refrigeração forçada, poderá aparecer na peça um local vazio de contração, ou seja falta de material, que ocorre na peça a se solidificar, causando refugo (Malavas, 2008).

Para evitar este problema na roda, coloca-se a refrigeração em alguns pontos do molde para direcionar a solidificação e fazer com que o último ponto da roda seja o canal de injeção, que será extraído da peça na operação de usinagem (Malavas, 2008).

### 2.1.3 Circuito de refrigeração

É indispensável que o molde seja bem refrigerado para:

- a) Maior rapidez no processo;
- b) Evitar defeitos;

c) Melhor compreender as vantagens do posicionamento dos circuitos de refrigeração mais adequados;

Nas zonas não citadas, o metal resfria muito rápido, pelo processo de condução

#### 2.1.4 Eficiência da refrigeração

A eficiência da refrigeração é determinada pelo:

a) Posicionamento do molde;

b) Fluido refrigerante, ressalta-se que o fluido mais acessível é o ar e o mais eficaz é a água.

É possível utilizar misturas Ar/Água desde que a proporção seja controlada. Para se ter uma solidificação direcional conforme figura 3 é necessário empregar refrigeração:

a) Cada vez mais forte, acompanhando a direção das setas;

b) Mais fortes nas seções mais espessas.

Em uma roda, as seções mais críticas são os empregos da linha de refrigeração, isso depende da geometria da roda e das paredes dos moldes nas mais diversas zonas. Porém, de modo geral, é adequado utilizar refrigeração.

## 2.2 Setup

É válido ressaltar que toda atividade de produção demanda um planejamento prévio, seja para aquisições cotidianas, como uma simples compra mensal de itens essenciais, ou para processos mais complexos que abrangem diferentes setores e mercados globais. Em ambos os casos, é necessário realizar uma análise cuidadosa dos produtos necessários, considerando fatores como disponibilidade, qualidade e custo-benefício, a fim de garantir que atendam às demandas e necessidades específicas.

*Setup* é tudo que antecede a uma operação, seja para sua preparação, regulagem, troca de ferramenta, dispositivos e outros (Shingo, 2000).

A definição do *setup* para Moura (1996), consiste em: “Todas as tarefas necessárias desde o momento em que se tenha completado a última peça do lote anterior até o momento em que, dentro do coeficiente normal de produtividade, se tenha feito a primeira peça do lote posterior.”

Shingo (2000), explica que as operações de *setup* dividem-se em dois tipos, sendo:

a) Setup interno (TPI – Tempo de Preparação Interno), o qual se refere às operações que somente podem ser realizadas quando a máquina estiver parada;

b) Setup externo (TPE – Tempo de Preparação Externo), se refere às operações que podem ser realizadas com a máquina em funcionamento.

Segundo Shingo (2000), as principais perdas nas operações de *setup* tradicionais são: quando a máquina é desligada para que seja realizado o transporte do lote produzido para o estoque ou para a retirada da matéria prima do estoque para produzir o lote seguinte, pois com a máquina parada perde-se um tempo valioso; alguma peça defeituosa é descoberta apenas após a montagem, ou quando os componentes são disponibilizados somente após o início do setup interno. Isso faz com que se tenha que desmontar e montar novamente os componentes. Transportar os componentes que não são necessários enquanto a máquina está parada; quando parafusos não são encontrados, arruelas e porcas não são compatíveis ou uma guia não é precisa o suficiente e não foi reparada.

Outro problema é a questão de gerentes e engenheiros delegarem a responsabilidade das tarefas de redução de *setup* aos trabalhadores. Isso segundo Shingo (2000), explica uma das principais razões pelas quais, até pouco tempo atrás, não haviam grandes progressos nas melhorias de *setup*.

### 3 METODOLOGIA

O estudo foi realizado em uma empresa do setor automobilístico que fabrica rodas de alumínio para diversas montadoras. Esta empresa fica localizada no Distrito Industrial de Três Corações, e por questões de privacidade não foi possível citar o nome dela. Importante salientar que o estudo teve como foco o setor de fundição.

Neste tópico, será abordado e analisado o processo de fundição, o *setup* e o sistema de refrigeração dos moldes metálicos utilizados na empresa. Também serão discutidas as possíveis causas de defeitos relacionados ao sistema de refrigeração. Além disso, será apresentado um plano de ação que foi utilizado para otimizar o controle da refrigeração dos moldes, visando aumentar a eficiência do processo.

#### 3.1 Descrição do setor de Fundição da empresa

O setor de fundição é o maior e mais importante da fábrica de rodas de alumínio, sendo responsável por todas as etapas iniciais de produção, desde o derretimento do alumínio até o tratamento térmico. A eficiência desse setor é essencial, pois o processo de fabricação da roda começa ali, influenciando diretamente a qualidade e o desempenho de todo o produto final.

A produção da roda de alumínio tem início com o derretimento da matéria-prima, que é realizada em três fornos distintos. Um destes fornos é destinado ao reaproveitamento de cavacos gerados na usinagem, enquanto os outros dois são usados para derreter rodas refugadas de todas as etapas de produção, além de lingotes de alumínio comprados pela fábrica. O alumínio utilizado no processo não é puro; ele é composto por ligas com outros elementos, como silício (7%), magnésio e tibat, que melhoram suas propriedades mecânicas e térmicas, essenciais para a fabricação de rodas automotivas.

Figura 4: Forno para Derretimento do Alumínio



Fonte: O autor;

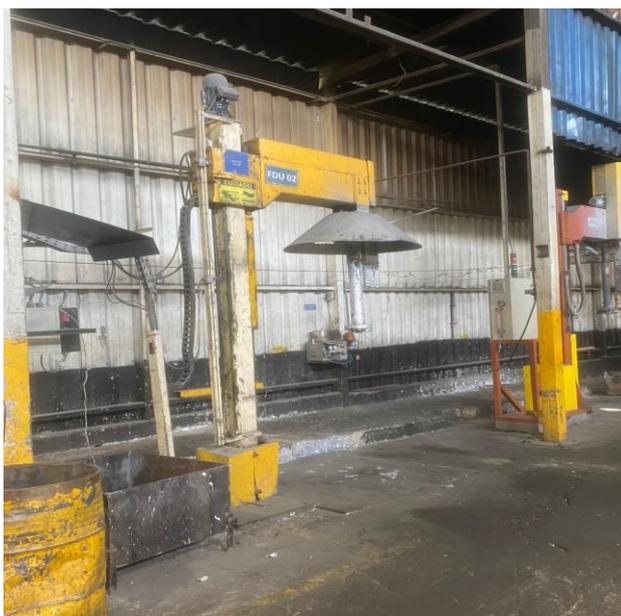
Figura 5: Lingotes de alumínio



Fonte: O autor.

Após o derretimento, o alumínio líquido é transportado para a Unidade de Desgaseificação de Fundição (FDU), um equipamento responsável por remover o gás hidrogênio do alumínio. Esse processo é crucial para evitar defeitos como porosidades ou falhas na peça fundida, garantindo que a roda tenha a resistência adequada. O transporte do alumínio para o FDU é realizado em painéis pré-aquecidos, que evitam a solidificação do material durante o trajeto.

Figura 6: Unidade de Desgaseificação de Fundição (FDU)



Fonte: O autor.

Depois de desgaseificado, o alumínio líquido é transferido para os fornos das máquinas injetoras, onde permanece a uma temperatura controlada de aproximadamente  $750^{\circ}\text{C}$ . A fundição, propriamente dita, ocorre em máquinas de injeção sob pressão, que injetam o metal nos moldes metálicos de forma precisa e rápida. O tempo de fundição de cada roda pode variar, sendo em média de cinco minutos, dependendo do tamanho e complexidade do modelo da roda. Rodas com maior diâmetro ou detalhes complexos geralmente exigem mais tempo. Lembrando que esta parte do setor foi o foco do estudo.

Figura 7: Máquina Injetora Guima 43



Fonte: O autor.

Após o processo de fundição, o operador remove as rebarbas da roda e a submerge em um tanque de água para resfriamento, permitindo o manuseio seguro para realização da gabaritação (verificação de empenamento). Em seguida, a roda é transportada para o processo de estampagem do massalote.

A estampagem do massalote é realizada por prensas hidráulicas, responsáveis por remover o material excedente da roda, abrindo o furo central necessário para os processos subsequentes de usinagem. Após a estampagem, a roda passa por uma inspeção de Raio X, que verifica se há defeitos como trincas ou falhas internas. As rodas aprovadas nessa inspeção são separadas de acordo com o modelo e encaminhadas para o tratamento térmico.

Figura 8: Raio X Bosello



Fonte: O autor

O processo de tratamento térmico consiste em duas etapas: solubilização e envelhecimento. Essas etapas têm uma duração total de cerca de nove horas e são essenciais para conferir à roda de alumínio as propriedades mecânicas necessárias, como resistência e durabilidade. Após o tratamento térmico, a roda está pronta para a usinagem final, marcando o término da responsabilidade do setor de fundição.

Portanto, a eficiência no setor de fundição é fundamental para o desempenho geral da linha de produção. A otimização contínua de processos, especialmente o controle do sistema de refrigeração dos moldes, é crucial para evitar defeitos nas rodas e reduzir o tempo de ciclo de produção. A implementação de melhorias, como o controle térmico durante o *setup* dos moldes, pode garantir maior qualidade e minimizar o desperdício de material, contribuindo para a competitividade da fábrica no mercado.

### 3.2 Apresentação dos moldes utilizados no processo de fundição

Os moldes metálicos representam componentes essenciais no processo de fundição de rodas de alumínio, sendo fundamentais para garantir a conformidade e a qualidade das peças fundidas. O desenvolvimento e fabricação desses moldes demandam um cuidado extremo em todas as fases, desde a concepção do projeto até sua execução final.

Na empresa em questão, a fabricação dos moldes ocorre internamente. Após o recebimento de um novo projeto de roda por parte das montadoras de automóveis, a equipe de Engenharia de Produto desenvolve o molde utilizando softwares específicos. Posteriormente, o projeto é encaminhado à ferramentaria, responsável pela fabricação do molde. Vale ressaltar que a ferramentaria, além de sua função de fabricação, conta com uma equipe de projetistas dedicada a realizar ajustes necessários, visando otimizar o desempenho do molde durante o processo de fundição.

Durante o desenvolvimento dos moldes, são realizadas várias simulações de fundição com o objetivo de assegurar que o molde esteja em condições ideais para o processo produtivo. Nessas simulações, são analisados aspectos cruciais, como o preenchimento das cavidades pelo alumínio, o processo de solidificação, o sistema de refrigeração incorporado aos moldes, bem como potenciais problemas relacionados aos movimentos de macho e gavetas.

Os moldes são compostos por duas partes principais: a parte inferior (fêmea) e a parte superior (macho). A parte inferior é responsável por definir a forma externa da roda, enquanto a parte superior molda a estrutura interna. O macho é a única parte móvel do molde, sendo acionado por pinos extratores das máquinas de injeção para realizar a extração da peça fundida.

Por sua vez, a fêmea do molde, que contém maior riqueza de detalhes por ser responsável pela forma externa da roda, possui um sistema de refrigeração mais complexo, combinando entradas de água e ar para garantir maior controle e eficiência térmica. O macho, que molda partes menos complexas, possui apenas entradas de refrigeração a ar, mas sua função é igualmente importante, pois auxilia no resfriamento da fêmea e na solidificação direcional, essencial para uma fundição de qualidade.

Em suma, o desenvolvimento de moldes metálicos para rodas de alumínio é um processo complexo e de suma importância para garantir a qualidade da produção. Ele exige não apenas o desenho adequado da peça, mas também a consideração de aspectos como o sistema de refrigeração e a injeção do alumínio. Cada modelo de roda demanda um molde específico, com suas próprias particularidades, o que torna o processo ainda mais desafiador e detalhado.

Figura 9: Vista lateral de um molde de roda automotiva

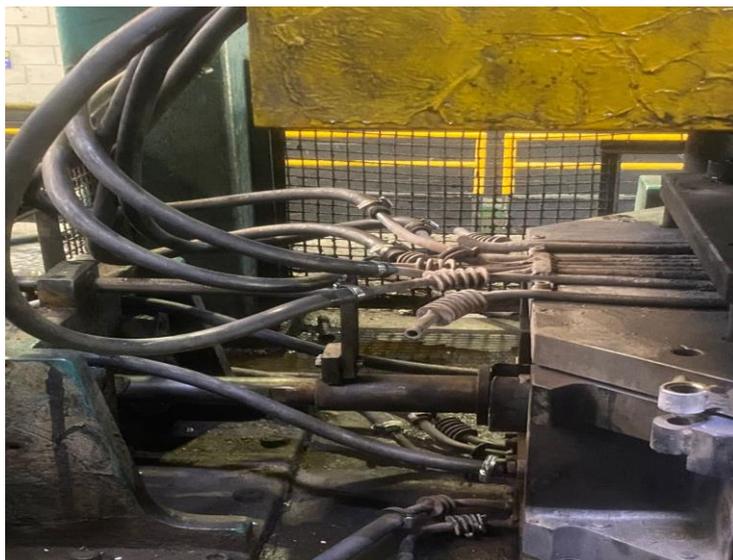


Fonte: O autor.

### 3.2.1 Descrição do Sistema de Refrigeração dos Moldes

O sistema de refrigeração de um molde para rodas de alumínio é constituído por oito entradas de refrigeração localizadas na parte inferior do molde, distribuídas de forma simétrica com quatro entradas em cada lado. Conforme mencionado anteriormente, o sistema utiliza uma combinação de refrigeração a ar e a água. Na parte superior do molde, há seis entradas de refrigeração a ar, todas situadas em apenas um dos lados.

Figura 10: Sistema de refrigeração de um molde de roda automotiva



Fonte: O autor.

A refrigeração dos moldes durante o processo de fundição é de extrema importância, sendo essencial que, sempre que possível, esses componentes passem por manutenção preventiva, incluindo desobstrução, limpeza, ajustes ou até mesmo a substituição das tubulações por novas. De acordo com o supervisor da área de ferramentaria, os principais problemas de entupimento e acúmulo de sujeira ocorrem nas tubulações de refrigeração do macho do molde, onde há exclusivamente refrigeração a ar. Assim, o presente estudo concentrou-se nos componentes do sistema de refrigeração a ar do macho.

Esses componentes consistem basicamente em tubulações às quais serão conectadas mangueiras responsáveis pela passagem de ar para o molde. As tubulações estão ligadas à parte interna do molde, onde se encontra uma peça denominada 'prato' (Figura 11), que distribui o ar para diferentes regiões do molde. Essa distribuição ocorre de forma coordenada, seguindo parâmetros de tempo estabelecidos pelos preparadores e engenheiros. Por exemplo, o sistema de refrigeração A fornecerá ar por um período de 100 segundos, sendo esse ciclo repetido para as demais entradas de refrigeração.

Figura 11: "Prato" do sistema de refrigeração



Fonte: O autor.

É importante destacar que nem todas as tubulações de refrigeração são necessariamente utilizadas em todos os ciclos de fundição. A utilização dessas tubulações varia conforme o modelo da roda, o tamanho do aro e as especificações determinadas no projeto. Dessa forma, a demanda de refrigeração é ajustada de acordo com os requisitos específicos de cada roda.

### 3.2.2 Problemas ocasionados nas rodas por um sistema de refrigeração defeituoso

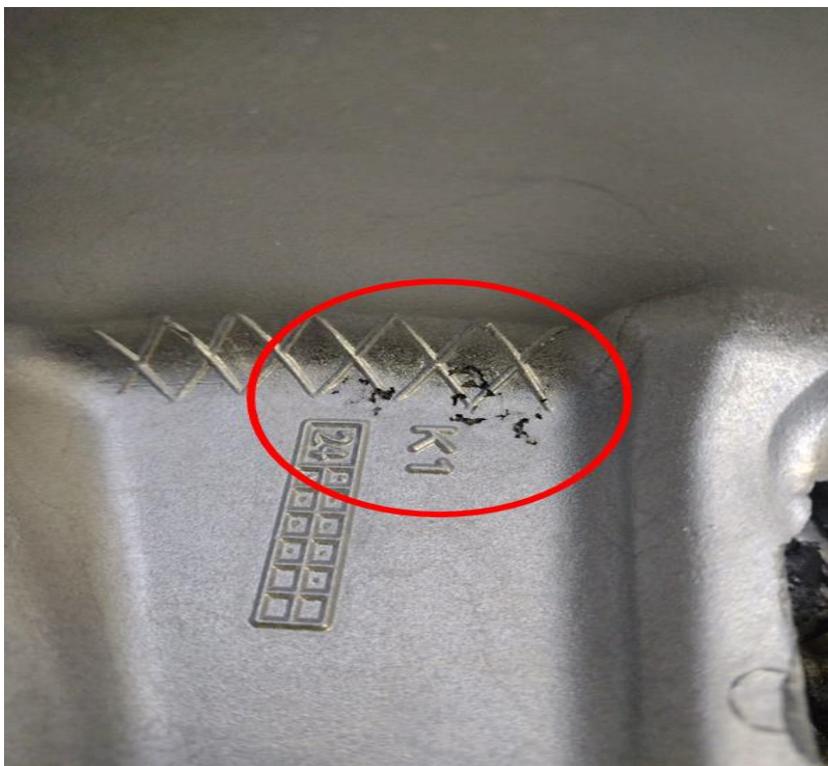
Conforme discutido, o sistema de refrigeração durante o processo de fundição deve operar em condições ideais, uma vez que é responsável pela solidificação adequada do alumínio dentro dos moldes, permitindo a formação da roda fundida. Caso o sistema não esteja em condições adequadas, há uma grande probabilidade de que o produto final apresente defeitos, o que pode resultar em prejuízos significativos para a empresa.

Três tipos de defeitos podem ser causados por um circuito de refrigeração inadequado, a saber: falta de material, contração esponjosa e porosidade.

A falta de material ocorre, geralmente, quando há um resfriamento desigual no molde, em que uma área experimenta resfriamento precoce, fazendo com que o alumínio se solidifique antes de preencher completamente certas regiões do molde, resultando em escassez de material nessas áreas. Esse defeito é frequentemente causado por tubulações sujas obstruídas ou com

vazamentos no sistema de refrigeração. Tal tipo de defeito pode ser identificado a olho nu na roda após o processo de fundição, como ilustrado na Figura 12.

Figura 12: Falta de Material na aleta interna da roda



Fonte: O autor.

A falta de material pode ocorrer tanto na aleta, na tala, quanto na região dos furos de fixação da roda, manifestando-se frequentemente como pequenos pontos sem alumínio, conforme ilustrado na Figura 12. No entanto, em casos mais críticos, essa deficiência pode resultar em deformações mais significativas na roda, como exemplificado na figura a seguir.

Figura 13: Falta de material na aleta externa da roda



Fonte: O autor

A contração esponjosa pode ser descrita como uma falta de material interna na roda, ocorrendo quando a solidificação do alumínio na região defeituosa se dá apenas superficialmente, deixando pequenos vazios no interior da peça. Esse defeito é geralmente causado por um circuito de refrigeração obstruído ou sujo, além de falhas na eficiência do controle de temperatura dentro do molde. Trata-se de um problema crítico, pois só é possível detectá-lo por meio de inspeção com máquinas de raio-X

Figura 14: Contração esponjosa na aleta da roda



Fonte: O autor.

Como ilustrado na Figura 14, no exame de raio-X, o defeito aparece como uma mancha mais clara em comparação com as demais regiões da aleta. Esse defeito é crítico, pois, muitas vezes, passa despercebido, o que pode acarretar problemas em processos subsequentes, como na usinagem. Vale ressaltar que, após o *setup*, este é o defeito mais recorrente nas rodas, frequentemente devido à falta de revisão no circuito de refrigeração do molde.

A porosidade nas rodas é um defeito mais complexo de ser resolvido, uma vez que envolve múltiplos fatores, além do sistema de refrigeração do molde. Contudo, um circuito de refrigeração limpo e desobstruído pode contribuir para minimizar esse defeito. Além de sua complexidade, a porosidade só é detectada após o processo de pintura, ou seja, quando a roda está quase finalizada, ou ainda, quando é cortado um perfil da roda e aplicado o líquido penetrante, como mostrado na figura abaixo.

Figura 15: Perfil de uma roda com porosidade



Fonte: O autor.

Como ilustrado na figura, a região afetada por porosidade corresponde à área avermelhada, com diversos pontos visíveis.

Portanto, a empresa enfrenta sérios problemas devido a um circuito de refrigeração mal revisado e ineficiente. Esses defeitos são irreparáveis, pois ocorrem durante a fundição, representando um prejuízo significativo para a empresa. Isso resulta em um aumento na quantidade de refugos, redução na produtividade e, como única solução, a necessidade de

manutenção nos circuitos de refrigeração. Contudo, essa manutenção implica em maior tempo de inatividade do molde e, conseqüentemente, de paralisação das máquinas, uma vez que o molde deve estar resfriado para ser mantido adequadamente. Além disso, a substituição do molde danificado requer a execução de um novo *setup*.

### 3.3 Processo de Setup na Empresa

Como o foco do estudo, é o desenvolvimento de um teste no sistema de refrigeração dos moldes durante o *setup*. É importante mostrar como se realiza o *setup* dentro da empresa de um molde nas máquinas injetoras.

O *setup* ou a troca de ferramenta é realizado de acordo com uma instrução operacional, e ele é dividido em duas partes: uma que não precisa de a máquina estar parada para realização e a outra que necessita da máquina parada.

A primeira parte é composta pelas seguintes tarefas na ordem em que estão:

- a) Escolha do molde que será posto em máquina para produzir, geralmente vai de acordo com a programação semanal de produção;
- b) Revisão do molde pela ferramentaria. Esta revisão é realizada com alguns dias de antecedência (geralmente quinze dias), porém no dia que é feito a troca, não existe nenhum tipo de revisão;
- c) Pré-aquecimento do molde para realização da pintura do molde;
- d) Pintura do molde.

Finalizando a última tarefa da primeira parte, já se inicia a segunda etapa que é composta por ações que comprometem a produção, ou seja necessita de que máquina fique parada. Segue abaixo os passos a passos da segunda parte em ordem:

- a) Retirada do molde que estava em produção;
- b) Transporte do molde da pintura para a injetora pré-definida;
- c) Instalação do molde na injetora;
- d) Aquecimento do molde para que este esteja na temperatura ideal para fundir, geralmente é 500 C°;
- e) Ajuste de parâmetros para dar início a produção;
- f) Fundição da primeira peça boa.

Verifica-se que a troca de ferramenta é um processo complexo, que resulta em um tempo considerável de inatividade da máquina. De acordo com o acompanhamento realizado na

empresa, o *setup* gera, em média, 1 hora e 20 minutos de parada da máquina. Esse tempo refere-se especificamente à segunda etapa do *setup*, conforme mencionado anteriormente.

Embora esse tempo seja valioso para a empresa, ele é necessário. O problema surge quando imprevistos ocorrem durante a execução do *setup*, o que pode prolongar ainda mais o tempo de inatividade. Um desses imprevistos está relacionado ao sistema de refrigeração dos moldes.

O *setup* é considerado concluído apenas quando a primeira peça boa é produzida. No entanto, muitas vezes o problema não está nos ajustes de parâmetros, mas sim em falhas no molde, que só são identificadas após, em média, cinco rodas fundidas — ou seja, após cinco testes de parâmetros. Considerando que cada roda leva, em média, 5 minutos para ser fundida, isso resulta em um acréscimo de 25 minutos no *setup*, apenas para a detecção do problema, sem resolução.

Para resolver o problema, é necessário retirar o molde da injetora, uma vez que, como mencionado anteriormente, a manutenção exige que o molde esteja frio.

Para evitar a parada da máquina, um novo *setup* é realizado, o que quase triplica o tempo de inatividade por *setup*. A seleção, revisão, pintura e instalação de um novo molde resultam em uma perda considerável de tempo de produção. A partir de um cálculo simples, observa-se que a empresa, ao enfrentar esse problema, deixa de produzir aproximadamente 34 rodas por máquina.

### **3.4 Apresentação do Plano de Melhoria**

Diante do estudo constatado acima, se fez necessário a realização de um plano de melhoria que evitasse que os moldes que entrasse em máquina para produção não estivessem com seu circuito de refrigeração ruim, a fim de melhorar a produtividade do setor da fundição e consequentemente da empresa em questão.

A proposta foi de um desenvolvimento de um dispositivo ou sistema para teste na refrigeração da parte do macho dos moldes, onde foram detectados os maiores problemas conforme mencionado na pesquisa, durante a primeira etapa do processo de *setup* dos moldes, mais especificamente antes da pintura do mesmo.

O dispositivo será composto pelos componentes citados abaixo:

- Mangueira de ar comum;
- Manômetro;
- Rotâmetro;

- Sistema de alimentação de ar comprimido.

A mangueira de ar será utilizada para o transporte de ar comprimido do sistema para o molde. O manômetro é utilizado para controle da pressão do ar comprimido, o rotâmetro para medição de fluxo e o sistema de alimentação de ar comprimido para o fornecimento de ar para o teste.

O teste foi realizado de acordo com os passos a passos citados abaixo:

- 1) Conectar as mangueiras de ar comprimido nas saídas de refrigeração do molde, um por vez;
- 2) Pressurizar o sistema de ar comprimido, necessariamente à uma pressão acima da de operação;
- 3) Inspeccionar o manômetro, verificando se há perda de pressão ao longo do tempo;
- 4) Após isso, inspeccionar o rotâmetro instalado, verificando se a vazão que está tendo está de acordo com a esperada, através de um detector eletrônico, e assim fiscalizando possíveis entupimentos;
- 5) Despressurizar o sistema lentamente, garantindo que todo ar escape de maneira controlada para evitar acidentes;
- 6) Documentar os resultados obtidos, anotando qualquer perda de pressão, localização de vazamentos e bloqueios detectados;

Após a realização do teste, caso o molde estiver com problemas este deverá ser trocado por um outro molde que irá passar pelo mesmo processo, e assim evitando que o molde defeituoso seja instalado na máquina para iniciar a produção. Em contrapartida, se o molde estiver em condições para produzir, o mesmo será pintado e instalado para iniciar a produção, ou seja, o *setup* irá seguir normalmente.

O dispositivo foi instalado na sala de pintura de moldes, pois como o teste foi realizado antes da pintura, é melhor para a logística que este molde seja testado neste local, para evitar trâmites durante o transporte. Além disso, o teste foi realizado e deverá ser sempre realizado por um funcionário da ferramentaria pelos seus conhecimentos e responsabilidades.

Na figura abaixo está o dispositivo já instalado na sala de pintura, por questões de privacidade não foi possível fotografar o cômodo por completo.

Figura 16: Dispositivo para teste no sistema de refrigeração dos moldes



Fonte: O autor.

A instalação no local foi realizada pelo setor de manutenção da empresa e todos os componentes já estavam no estoque do almoxarifado da empresa, além de que o local já possuía uma saída de ar comprimido e com isso foi aproveitada, o que facilitou a instalação do equipamento.

#### 3.4.1 Aplicação da melhoria

Após a fabricação e instalação do dispositivo no local, tornou-se necessário realizar um teste para verificar seu funcionamento e avaliar os potenciais benefícios para a empresa. Com a devida autorização da gestão, do setor de Planejamento e Controle de Produção (PCP) e da Ferramentaria, foi determinado que o teste seria conduzido ao longo do mês de junho de 2024. Caso os resultados fossem positivos, a utilização do dispositivo seria mantida.

Antes do início do teste, foi realizada uma revisão completa do dispositivo, além da capacitação de alguns colaboradores da ferramentaria para a execução dos procedimentos. A inspeção confirmou que o dispositivo estava em condições ideais para uso, e o treinamento foi breve, visto que os colaboradores já possuíam experiência com testes similares.

Após a revisão e treinamento, o teste foi iniciado conforme planejado. Durante o mês de junho, o dispositivo foi utilizado diversas vezes, sempre monitorado de perto para garantir a coleta de dados relevantes. Os indicadores de desempenho previamente estabelecidos incluíam a redução do tempo de *setup*, maior controle de moldes com o sistema de refrigeração defeituoso e a minimização de falhas no processo de fundição.

Nos primeiros dias de teste, os resultados se mostraram promissores. Observou-se uma redução significativa no número de moldes que eram inseridos na máquina com problemas no circuito de refrigeração, uma situação que anteriormente gerava atrasos consideráveis no processo produtivo devido ao tempo adicional necessário para ajustes no *setup*. Com o novo dispositivo, a detecção precoce de falhas nos circuitos de refrigeração foi aprimorada, permitindo que os moldes fossem inspecionados e corrigidos antes de entrarem em operação.

Durante o teste, foi observado que a empresa obteve um maior controle dos moldes que estavam com seus circuitos de refrigeração danificados, verificando que no mês de junho não teve nenhum atraso na produção durante o *setup* relacionado a problemas no circuito de refrigeração dos moldes. E ainda houve uma melhoria perceptível na eficiência do sistema de refrigeração, proporcionando um controle mais preciso da temperatura durante o processo de fundição, o que é crucial para assegurar a qualidade final das rodas de alumínio.

Ao final do mês, os resultados foram consolidados e apresentados à gestão, ao PCP e à Ferramentaria. Os dados indicaram que o dispositivo trouxe melhorias mensuráveis no processo produtivo, justificando sua adoção permanente na linha de produção. Com base nesses resultados, a empresa considerou investir em mais treinamentos específicos para os operadores da ferramentaria e em novas tecnologias capazes de otimizar mais ainda o teste desenvolvido.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

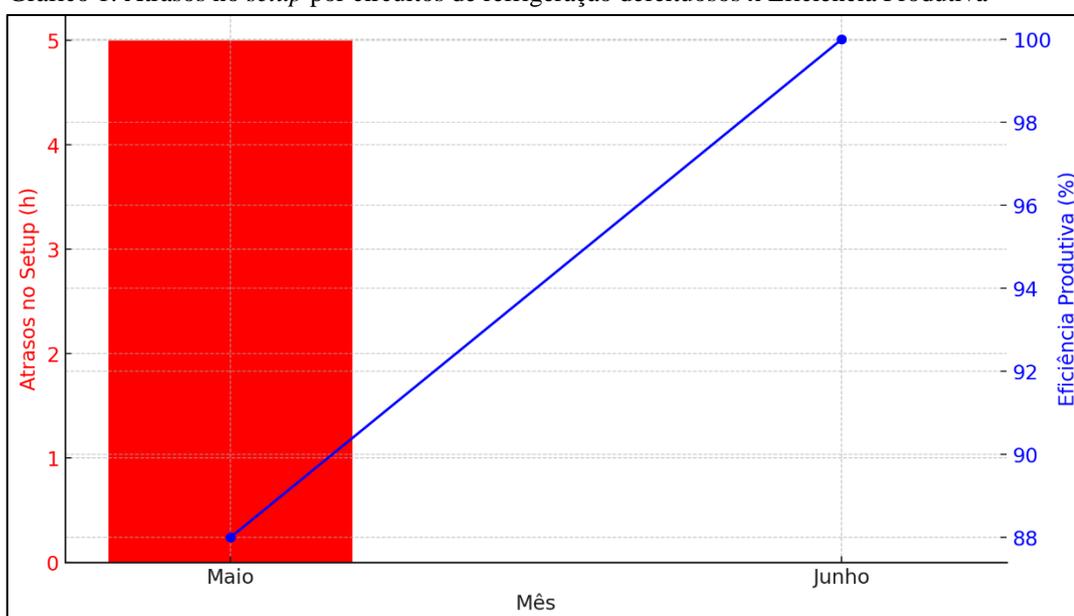
Após a realização do teste durante o mês de junho, os resultados obtidos foram analisados com base nos indicadores estabelecidos previamente, que envolviam a redução do tempo de *setup*, o controle do sistema de refrigeração dos moldes e a minimização de falhas durante o processo de fundição. A seguir, são apresentados os principais resultados e suas implicações para o processo produtivo da fundição de rodas de alumínio.

### 4.1 Redução de atrasos no Setup

Um dos objetivos centrais do teste foi diminuir os atrasos causados por problemas no circuito de refrigeração dos moldes. Antes da implementação do dispositivo, era comum que moldes com circuitos de refrigeração danificados fossem introduzidos na máquina, gerando atrasos significativos na produção. Durante o período de teste, verificou-se que o número de moldes inseridos com problemas de refrigeração foi drasticamente reduzido, o que resultou em um processo mais ágil e eficiente.

Abaixo Figura 17 onde apresenta os atrasos no *setup* por circuitos de refrigeração defeituosos versus eficiência produtiva, que foi fornecido pela empresa.

Gráfico 1: Atrasos no *setup* por circuitos de refrigeração defeituosos x Eficiência Produtiva



Fonte: A empresa.

Através da análise do gráfico fornecido pela empresa, conclui-se que, durante o mês de maio, houve um atraso de cinco horas no setup devido a problemas no circuito de refrigeração dos moldes. Esse tempo, não previsto na produção, representou uma perda significativa para a empresa. Estimou-se que, durante essas cinco horas de inatividade, a produção de aproximadamente 60 rodas foi interrompida, gerando um impacto negativo considerável.

No entanto, com a implementação do dispositivo e a realização dos testes no mês de junho, verificou-se que o número de horas de atraso no setup, relacionadas a problemas nos circuitos de refrigeração, foi completamente eliminado. Esse fato contribuiu significativamente para o aumento da eficiência produtiva, permitindo à empresa operar sem interrupções e maximizar sua capacidade de produção.

#### **4.2. Melhoria no Controle da Eficiência dos Circuitos de Refrigeração dos Moldes**

Outro resultado relevante foi a melhoria no controle da eficiência dos sistemas de refrigeração dos moldes. Com a utilização do dispositivo, a eficiência do sistema foi aprimorada, permitindo um monitoramento mais preciso e uma manutenção constante dos circuitos de refrigeração. Essa revisão adicional possibilitou um controle mais rigoroso dos moldes que apresentavam problemas, permitindo a identificação e categorização daqueles que necessitavam de manutenção corretiva.

Esse levantamento dos moldes mais críticos foi essencial para a empresa, pois possibilitou a realização de manutenções preventivas e corretivas de forma direcionada, o que, conseqüentemente, aumentou a vida útil de diversos moldes. Além disso, essa melhoria no controle térmico resultou em uma maior estabilidade do processo de fundição, otimizando a produção de rodas de alumínio e proporcionando uma eficiência térmica superior, essencial para garantir a qualidade e consistência dos produtos.

#### **4.3 Aumento na Eficiência Produtiva**

A melhoria no controle dos moldes e na eficiência do sistema de refrigeração teve impacto direto na eficiência produtiva. Durante o período de teste, a empresa obteve um aumento na produtividade da linha de fundição, refletido em uma maior taxa de utilização das máquinas e menor tempo de parada para ajustes e manutenção não planejada. Além disso, a eliminação dos atrasos relacionados ao *setup* permitiu que as metas de produção fossem cumpridas sem desvios.

O aumento da eficiência produtiva também resultou em uma redução no desperdício de material, já que a estabilidade do processo evitou defeitos que anteriormente levavam à refusão de peças. Em termos percentuais, houve uma melhoria de 12% na produtividade total, com uma redução de 8% no desperdício de material.

Por questões de privacidade da empresa, não foi possível a anexação de um gráfico de produtividade e consumo de matéria-prima pelo setor de fundição.

#### **4.4. Desafios e Oportunidades de Melhoria**

Apesar dos resultados positivos, o teste também revelou algumas áreas que podem ser otimizadas. Embora a introdução do dispositivo tenha melhorado significativamente o controle térmico e reduzido atrasos, houve a necessidade de ajustes frequentes no equipamento durante a fase inicial do teste. Esses ajustes foram necessários para garantir que o dispositivo operasse com máxima eficiência e não interferisse em outros aspectos do processo produtivo.

Além disso, foi identificado que o treinamento dos operadores, apesar de breve e eficiente, poderia ser expandido para incluir uma maior variedade de cenários e situações específicas, assegurando que os funcionários da ferramentaria possam explorar todas as funcionalidades do dispositivo de maneira plena.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma análise detalhada sobre o processo de fundição de uma roda de alumínio em uma empresa localizada no Distrito Industrial de Três Corações e a implementação de um dispositivo voltado para a melhoria do controle da eficiência dos sistemas de refrigeração dos moldes durante o *setup*. A partir dos testes realizados, foi possível demonstrar que o dispositivo trouxe benefícios significativos à operação, especialmente na eliminação de atrasos no *setup* e na otimização do controle térmico durante a fundição.

Os resultados mostraram que a empresa conseguiu reduzir a zero os atrasos relacionados a problemas nos circuitos de refrigeração dos moldes, o que impactou diretamente na melhoria da produtividade e no cumprimento das metas de produção. Além disso, o monitoramento mais preciso proporcionado pelo dispositivo permitiu a identificação de moldes críticos, possibilitando manutenções preventivas e corretivas direcionadas, o que resultou no aumento da vida útil dos moldes e na redução de defeitos nas rodas fundidas.

Adicionalmente, a melhoria no controle térmico contribuiu para uma maior uniformidade na qualidade dos produtos, com uma significativa redução no desperdício de material e na necessidade de retrabalho. Esses ganhos não apenas aumentaram a eficiência do processo, mas também abriram novas oportunidades para a replicação do dispositivo em outros setores da linha de produção.

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que a implementação de tecnologias que visam otimizar o controle dos processos industriais pode trazer ganhos expressivos em termos de eficiência, produtividade e qualidade. O uso de dispositivos como o testado neste trabalho se mostra uma solução viável e promissora para a fundição de rodas de alumínio, sugerindo-se a continuidade do investimento em tecnologias semelhantes e na capacitação dos operadores envolvidos.

## REFERÊNCIAS

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica. Processos de Fabricação e Tratamento**. 2ª edição. Volume II. São Paulo, 1986. Editora McGraw-Hill Ltda. ISBN: 0074500899.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica. Materiais de Construção Mecânica**. 2ª edição. Volume III. São Paulo, 1986. Editora McGraw-Hill Ltda. ISBN: 0074500910.

CHIAVERINI, V. **Tratamento Térmico das Ligas Metálicas**. São Paulo, ABM. 2006

CURADO, B. Estágio em manutenção na M.D.F. Tramagal – Indústria de fundição. Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, Especialização em Controle e Electrónica Industrial. Instituto Politécnico Tomar. 2021.

DINIZ, A.G.F; OLIVEIRA, I. L. **Influência das fontes de alumínio secundário na geração de escória: Uma análise estática**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Pós-Graduação Ponta Grossa – Paraná. 2009

FOGLIATTO, Flávio Sanson; FAGUNDES, Paulo **Ricardo Motta**. Troca rápida de ferramentas: proposta metodológica e estudo de caso. *Gestão & Produção*, v. 10, n. 2, p. 163-181, 2003.

FUOCO, R. **Curso Defeitos de fundição de origem metalúrgica em ligas alumínio silício**. ABAL, 148 p., novembro de 1997.

MALAVAS, JEFERSON. **Fundição do Alumínio e suas Ligas**. São Paulo: SENAI, 2008.

MOURA, Reinaldo A. **Redução do tempo de Setup: troca rápida de ferramentas e ajustes de máquinas**. São Paulo: IMAM, 1996.

PRATES, M.; DAVIES, G. J. **Solidificação de Metais e suas ligas 1ed**. Rio de Janeiro, ED. Livros Técnicos e científicos, 1974.

SATOLO, E. G.; CALARGE, F. A. **Troca Rápida de Ferramentas: estudo de casos em diferentes segmentos industriais**. Exacta, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 283-296, jul./dez. 2008.

SHINGO, S. **Sistema de Troca Rápida de Ferramenta: Uma Revolução nos Sistemas Produtivos**. Porto Alegre: Bookman, 2000.

SOUSA, M. **Influência das propriedades Mecânicas das ligas de alumínio na usinabilidade – Foco no grau de recalque, na dimensão da zona de fluxo e na microdureza dos cavacos**. Uberlândia, MG. 2013.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e controle da produção: Teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 2007. 7879 p.

WHEELS, VOLCANO. **Processo de fabricação das rodas de liga leve da Volcano Wheels**. Copyright. Disponível em: < <https://www.volcanowheels.com.br/institucional> >/ Acesso em 24/05/24, 19h30min.