

**Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba**

**A INFLUÊNCIA DA DUREZA NA PERFORMANCE DA LIGA AISI H13 EM  
COMPONENTES PARA MOLDES EM FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO**

**CLAYTON RIBEIRO GONÇALVES**

**LEANDRO PEDRO DA SILVA**

**Pindamonhangaba - SP**

**2024**

**Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba**

**A INFLUÊNCIA DA DUREZA NA PERFORMANCE DA LIGA AISI H13 EM  
COMPONENTES PARA MOLDES EM FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO**

**CLAYTON RIBEIRO GONÇALVES**

**LEANDRO PEDRO DA SILVA**

Trabalho de Graduação apresentado como atividade de Conclusão de Curso para obtenção do Grau de Tecnólogo em processos metalúrgicos, pela Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba – FATEC Pindamonhangaba.

Orientador: Prof.Me.Amir Rivaroli Júnior

**Pindamonhangaba - SP**

**2024**

G635i    Gonçalves, Clayton Ribeiro.  
A influência da dureza na performance da Liga AISI H13 em componentes para moldes em fundição sob pressão / Clayton Ribeiro Gonçalves; Leandro Pedro da Silva / FATEC Pindamonhangaba, 2024. 46f.; il.

Orientador: Professor Me. Amir Rivaroli Junior  
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2024

1. Aço H13. 2. AISI. 3. Fundição sob pressão. 4. Performance. 5. Dureza. I. Gonçalves, Clayton Ribeiro. II. Gonçalves, Clayton Ribeiro. III. Rivaroli Junior, Amir. IV. Título.

CDD 669

**Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba**

**“A INFLUÊNCIA DA DUREZA NA PERFORMANCE  
DA LIGA AISI H13 EM COMPONENTES PARA  
MOLDES EM FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO”.**

**Clayton Ribeiro Gonçalves  
Leandro Pedro da Silva**

Monografia apresentada à Faculdade de  
Tecnologia de Pindamonhangaba, para  
graduação no Curso Superior de  
Tecnologia em Processos Metalúrgicos.

Comissão Examinadora



Orientador – Prof. Me. Amir Rivaroli Junior



Membro – Prof. Dr. César Alves da Silva Leandro



Membro – Tecnólogo Rodrigo André de Souza Ribeiro

**Pindamonhangaba, 28 de junho de 2024.**

## **DEDICATÓRIA**

### **Clayton Ribeiro Gonçalves**

Eu, Clayton Ribeiro Gonçalves, dedico o presente trabalho à minha esposa que me deu todo apoio para que eu chegasse ao fim dessa jornada, e aos meus filhos, que foram os motivadores para que eu o iniciasse.

### **Leandro Pedro da Silva**

Eu Leandro Pedro da Silva dedico este trabalho a minha esposa, e filhas que foram as maiores incentivadoras nesta jornada e sempre acreditaram no meu trabalho.

Aos meus pais e irmãos , cunhadas que sempre acreditaram em meu potencial. E ao meu grande amigo Edson Lira, que me estendeu a mão em um momento crucial da minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

### **Clayton Ribeiro Gonçalves**

Agradeço à minha esposa e filhos por todo apoio, incentivo e compreensão durante todo o tempo em que estive focado na minha formação acadêmica.

Ao meu orientador Prof.Me. Amir Rivaroli Júnior pela dedicação e empenho em passar seus conhecimentos e na orientação desse trabalho.

E a todo o corpo docente da Faculdade de Tecnologia Pindamonhangaba que contribuíram de forma positiva para a minha graduação.

### **Leandro Pedro da Silva**

Agradeço aos meus pais , familiares , esposas , e filhos por todo carinho e apoio que sempre me dedicaram e pelo incentivo aos meus estudos e formação acadêmica.

Ao meu orientador Prof. Me Amir Rivaroli Júnior pelos ensinamentos, pela dedicação e empenho, na orientação deste trabalho.

Aos professores e membros do corpo técnico administrativo da Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba – FATEC Pindamonhangaba pelos ensinamentos, pela convivência e pelos bons momentos vividos durante minha graduação.

A empresa CIE AUTOCOM , por nos propiciar a realização deste trabalho.

## EPÍGRAFE

“O insucesso é apenas uma oportunidade para recomeçar com mais inteligência.”  
Henry Ford.

SILVA, L. P.; GONÇALVES, C. R. **Influência da dureza na performance da liga AISI H13 em componentes para moldes em fundição sob pressão no curso de Tecnologia em Processos Metalúrgicos**. 2024. 35p. Trabalho de Graduação (Curso de Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2024.

## RESUMO

O Brasil vem acompanhando a tendência mundial de aumento da participação do Alumínio em veículos. Atualmente, componentes como bloco de motor, cabeçote, cárteres de óleo, entre outros, hoje são fabricados amplamente pelo processo HPDC. Estes produtos são manufaturados dentro da indústria através de moldes de injeção complexos e de alto valor agregado, pois são compostos de vários componentes, onde as partes moldantes são confeccionadas com materiais de alta liga para trabalho a quente, classificados pela NADCA. Devido aos altos custos com a construção do ferramental, paradas de produção devido a manutenção do molde durante a produção, há a necessidade de desenvolver materiais, tratamentos térmicos e superficiais, que possibilitem um maior número de peças injetadas sem interromper a produção por manutenção corretiva e a qualidade do produto final. Neste estudo foi confeccionado um postigo com a liga AISI H13 alterando a dureza habitualmente utilizada entre 44-46 HRC para 50-52 HRC. Após o tratamento térmico de têmpera e triplo revenimento constatou-se que não houve alteração em sua micro estrutura bem como em sua tenacidade. Esta alteração de dureza visa aumentar a durabilidade do componente bem como reduzir perdas de produção por manutenção corretiva por peças presa no molde.

Palavras-chave: Aço H13, AISI, Fundição sob pressão, Performance, Dureza

SILVA, L. P.; GONÇALVES, C. R.. **Influência da dureza na performance da liga AISI H13 em componentes para moldes em fundição sob pressão no curso de Tecnologia em Processos Metalúrgicos**. 2024. 35p. Trabalho de Graduação (Curso de Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2024.

## **ABSTRACT**

Brazil has been following the global trend of increasing the share of aluminum in vehicles. Currently, components such as engine blocks, cylinder heads, oil pans, among others, are now widely manufactured using the HPDC process. These products are manufactured within the industry through complex injection molds with high added value, as they are composed of several components, where the modulating parts are made with high alloy materials for hot work, classified by NADCA. Due to the high costs of tooling construction, production stops due to mold maintenance during production, there is a need to develop materials, heat treatments and surfaces that allow a greater number of injected parts without interrupting production due to corrective maintenance and the quality of the final product. In this study, a hairpiece was made with the AISI H13 alloy, changing the hardness usually used from 44-46 HRC to 50-52 HRC. After the heat treatment of quenching and triple tempering, it was found that there was no change in its microstructure or in its toughness. This change in hardness aims to increase the durability of the component as well as reduce production losses due to corrective maintenance due to parts stuck in the mold.

H13 Steel, AISI, HPDC, Performance, Toughness

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição do aço AISI H13 em porcentagem de massa .....	12
Tabela 2-Composição químicas das ligas mais utilizadas em HPDC .....	23
Tabela 3-Composição química do aço AISI H13 .....	27
Tabela 4-Etapas do tratamento térmico utilizado na confecção do postigo ....	28
Tabela 5-Resultado do ensaio de charpy .....	33

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Figura esquemática do processo ESR .....	14
Figura 2-Ciclo do tratamento térmico da liga H13.....	15
Figura 3-Micro estrutura do aço H3 austenizado a 1040 °C .....	16
Figura 4-Vista esquemática de injetora de câmara quente.....	17
Figura 5-Vista esquemática injetora câmara fria.....	18
Figura 6-Célula de injeao integrada.....	19
Figura 7-Simulação de injeção realizado por softwere específico .....	20
Figura 8-Controle automático de parâmetros .....	21
Figura 9-Exemplo de molde HPDC.....	24
Figura 10-Postiço confeccionado para o teste.....	26
Figura 11-Postiço demonstrando erosão prematura.....	26
Figura 12-projeto 2D para a confecção do postiço .....	28
Figura 13-Gráfico do tratamento térmico relizado no postiço .....	29
Figura 14-Postiço recebido do tratamento térmico .....	30
Figura 15-Postiço finalizado a usinagem .....	30
Figura 16-Certificado de ensaio de dureza do postiço.....	31
Figura 17-Resultado da metalografia do postiço pós tratamento.....	32
Figura 18-Certificado de qualidade do tratamento surperfical do postiço .....	33
Figura 19-Resultado da simulação de injeção .....	34
Figura 20-Montagem do postiço no molde.....	35
Figura 21-peça presa durante o processo produtivo .....	35
Figura 22-Termografia do molde durante a produção .....	36
Figura 23-Controle de temperatura do molde .....	37
Figura 24-Parâmetros de injeção controlados automaticamente .....	38
Figura 25-Postiço fraturado .....	38
Figura 26-Comparativo de custos.....	39

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1 PROBLEMA.....	10
1.2 OBJETIVO GERAL.....	10
1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
1.3.JUSTIFICATIVA.....	11
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.</b> .....	<b>12</b>
2.1 AÇO FERRAMENTA PARA TRABALHO A QUENTE AISI H13.....	12
2.1.2 .APLICAÇÃO DO AÇO AISI H13 .....	13
2.1.3 .FABRICAÇÃO DO AÇO H13 .....	13
2.2 .TRATAMENTOS TÉRMICOS .....	14
2.2.1 .TRATAMENTOS SUPERFICIAL PVD .....	16
2.3 .FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO (HPDC) .....	17
2.3.1 .LIGAS DE ALUMÍNIO PARA O PROCESSO HPDC .....	21
2.3.2 .EFEITOS DOS ELEMENTOS DE LIGA .....	22
2.3.3 .MOLDES DE INJEÇÃO SOB PRESSÃO.....	23
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
3.1 MATERIAIS.....	27
3.2 MÉTODOS.....	27
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS</b> .....	<b>31</b>
4.1 RESULTADOS DE TRATAMENTO DE TÊMPERA E REVENIMENTO .....	31
4.2 RESULTADOS DE ANÁLISE MICROESTRUTURAL .....	32
4.3 RESULTADOS DE TRATAMENTO SUPERFICIAL PVD .....	32
4.4 RESULTADOS DO ENSAIO DE CHARPY. ....	33
4.5RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO POSTIÇO EM APLICAÇÃO .....	33
4.5 RESULTADOS DA FUNDIÇÃO .....	34
4.6 RESULTADOS DA TERMOGRAFIA NO MOLDE .....	36
4.7 RESULTADOS DOS PARÂMETROS DE INJEÇÃO .....	37
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	<b>39</b>
<b>6. REFÊRENCIAS</b> .....	<b>41</b>

## 1.INTRODUÇÃO

O aumento do uso do alumínio em aplicações nas indústrias automotivas tem sido uma tendência em todo o mundo. Nos Estados Unidos, estudos indicam que o consumo médio de alumínio nos veículos produzidos saltará de 156 kg (previsão 2012) para 250 kg em 2025, representando 16% do total de matérias-primas aplicadas na produção. As indústrias automotivas da comunidade europeia também deverão elevar o uso de alumínio nos automóveis produzidos, saindo dos 140 kg/veículo para 180 kg/veículo até 2020. (ABAL, 2023).

O Brasil vem acompanhando a tendência mundial de aumento da participação do Alumínio em veículos. Atualmente, componentes como bloco de motor, cabeçote, cárteres de óleo, entre outros, hoje são fabricados amplamente pelo processo HPDC (High Pressure Die Cast), fundição por alta pressão.

Estes produtos são manufaturados dentro da indústria através de moldes de injeção complexos e de alto valor agregado, pois são compostos de vários componentes, onde as partes moldantes são confeccionadas com materiais de alta liga para trabalho a quente.

Devido aos altos custos com a construção do ferramental, paradas de produção devido a manutenção do molde durante o ciclo produtivo, há a necessidade de desenvolver materiais, tratamentos térmicos e superfícies, que possibilitem um maior número de peças injetadas sem interromper a produção por manutenção corretiva, prolongar a vida útil do ferramental sem comprometer a qualidade do produto final.

Durante o processo de injeção os componentes moldantes, são submetidos a altos gradientes de temperaturas, o material é injetado em torno de 600°C, impactos causados pela pressão de injeção, (900bar x cm<sup>2</sup>) e ao desgaste devido as velocidades de preenchimento (40 a 60 m/s).

Várias ligas são utilizadas na confecção dos moldes, sendo a liga a AISI H13 uma das principais, sendo amplamente utilizada na confecção de matrizes e componentes de moldes HPDC, por apresentar excelente temperabilidade, boa resistência ao desgaste, elevada tenacidade e resistência ao amolecimento a trabalho em alta temperatura.

Os componentes construídos nesta liga são projetados com sistemas de refrigerações , podendo ser a água ou óleo térmico, passam por processos de pré desbaste, tratamento térmico de têmpera e triplo revenimento em fornos de atmosfera controlada, com a faixa de dureza entre 44-48 hrc, usinagem de acabamento, tratamento superficial e montagem no ferramental.

Durante a produção os parâmetros de processo são auditados com frequência, a fim de garantir a qualidade do produto , bem como a performance do ferramental e ciclo produtivo. (HADDAD e GONÇALVES, 2010).

Em função do aumento da utilização de indústria do alumínio para produção de componentes automotivos, este trabalho tem como objetivo avaliar o aumento da durabilidade de um componente utilizado na indústria de fundição sob pressão, chamado de postiço, construído em liga AISI H13, alterando-se a dureza pós tratamento térmico.

## **1.1 Problema.**

Perdas de produção, para interveção corretiva no ferramental ,baixa durabilidade do componente do molde gerando alto custo produtivo.

## **1.2 Objetivo geral.**

Diminuir custo por troca de componente e perda de produção

### **1.1.1 Objetivos específicos.**

Realizar o comparativo entre componentes construídos com a liga AISI H13 em duas faixas de dureza.

Diminuir os custos de perda de produção por troca de componente.

Diminuir paradas de máquina por manutenção corretiva, causada, por peças presas.

### **1.3.Justificativa.**

As fundições buscam constantemente melhorar sua produtividade, qualidade e disponibilidade, tendo como objetivo reduzir custos e conseqüentemente aumentar a margem de lucro.

Com isso é de extrema necessidade, que o ferramental de fundição , seja capaz de produzir com o mínimo de interrupções por manutenções corretivas.

Com a alteração da dureza do componente , aspira se diminuir as paradas de maquinas para interveções de ferramentaria no molde , bem como a troca prematura do postiço.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

### 2.1 AÇO FERRAMENTA PARA TRABALHO A QUENTE AISI H13

Os aços que constituem a família H formam um grupo especial de aços de alta liga, destinado à fabricação de metais em altas temperaturas, normalmente acima de 500°C. O aço AISI H13 é um aço ultra resistente, com 5% de cromo em sua composição (METAL HANDBOOK, 1993).

De acordo com a METAL HANDBOOK (1993), a composição química do AISI H13 em porcentagem de massa está descrita da Tabela 1:

*Tabela 1 - Composição do aço AISI H13 em porcentagem de massa*

<b>Material</b>	<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>
AISI H13	0,32	0,20	0,80	4,75	1,10	0,80
	0,45	0,50	1,20	5,50	1,75	1,20

Fonte: Handbook, 1993

A dureza do H13 varia em torno de 42 a 55 HRC (Rockwell C). Esses aços possuem cromo, molibdênio ou tungstênio como elemento de liga principal, além de tungstênio e vanádio, que são formadores de carbonetos de maior dureza e estabilidade térmica, apresentando boa resistência ao amolecimento pelo calor (VALES, 2010).

Segundo VALES (2010), o alto teor de tungstênio e molibdênio aumenta a resistência a quente, mas reduz ligeiramente a tenacidade. Já a sua resistência ao desgaste erosivo em altas temperaturas é aumentada pela adição do vanádio. As principais características do AISI H13 são:

- Elevada temperabilidade;
- Resistência à deformação na temperatura de uso;
- Resistência ao impacto;
- Resistência ao desgaste;

- Resistência à deformação no tratamento térmico;
- Usinabilidade

### **2.1.2 .Aplicação do aço AISI H13**

Os aços ferramentas da família H são amplamente utilizados para a confecção de matrizes moldes, ferramentas de conformação de chapas, corte a frio, componentes de máquina etc.

Estes aços abastecem também os segmentos de autopeças, 18 automobilístico, eletroeletrônico e matrizes para extrusão de alumínio (BACALHAU; RODRIGUES; MESQUITA, 2014; VALES, 2010).

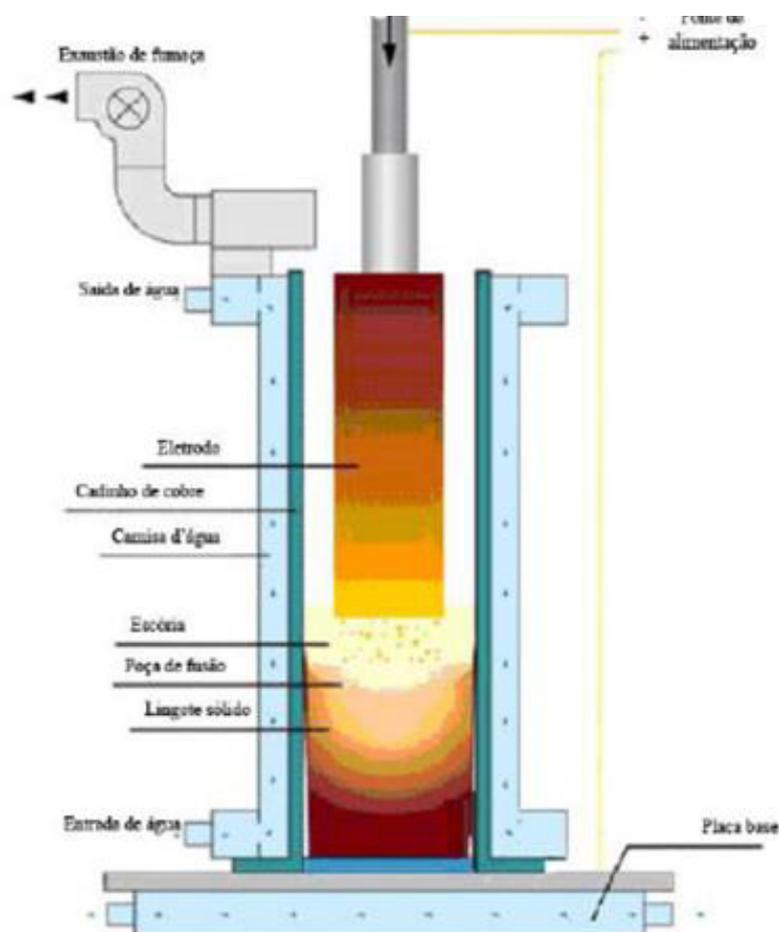
### **2.1.3 .Fabricação do aço H13**

O processo de fabricação do AISI H13 é a refusão por eletroescória-ESR (Electroslag Remelting) e eventualmente é utilizado o V.A.R. (vacuum arc remelting).Esse método tem como base na produção de lingotes de alta qualidade pelo processo VD (degaseificação a vácuo) (KELKAR et al., 2013).

O processo ESR utiliza um cadinho refrigerado a água, contendo a escória e o lingote. O lingote é construído por meio do aquecimento resistivo criado por uma passagem de corrente alternada, entre o eletrodo e o cadinho, derretendo-o em um banho de escória, que foi superaquecido até que comece o gotejamento do metal fundido.

Estas gotas atravessam a escória, refinando o metal líquido até o fundo do molde, onde se solidificam. Este processo permite obter uma solidificação mais controlada, tendo uma melhor integridade estrutural do material, resultando em um aço homogêneo e isotrópico (GABARDO, 2008; KELKAR et al., 2013). Na Figura 1, é exemplificado o diagrama do processo de fabricação ESR.

Figura 1-Figura esquemática do processo ESR



Fonte: Adaptado de Kelpar; Patankar; Mitchel, 2003

## 2.2 .TRATAMENTOS TÉRMICOS

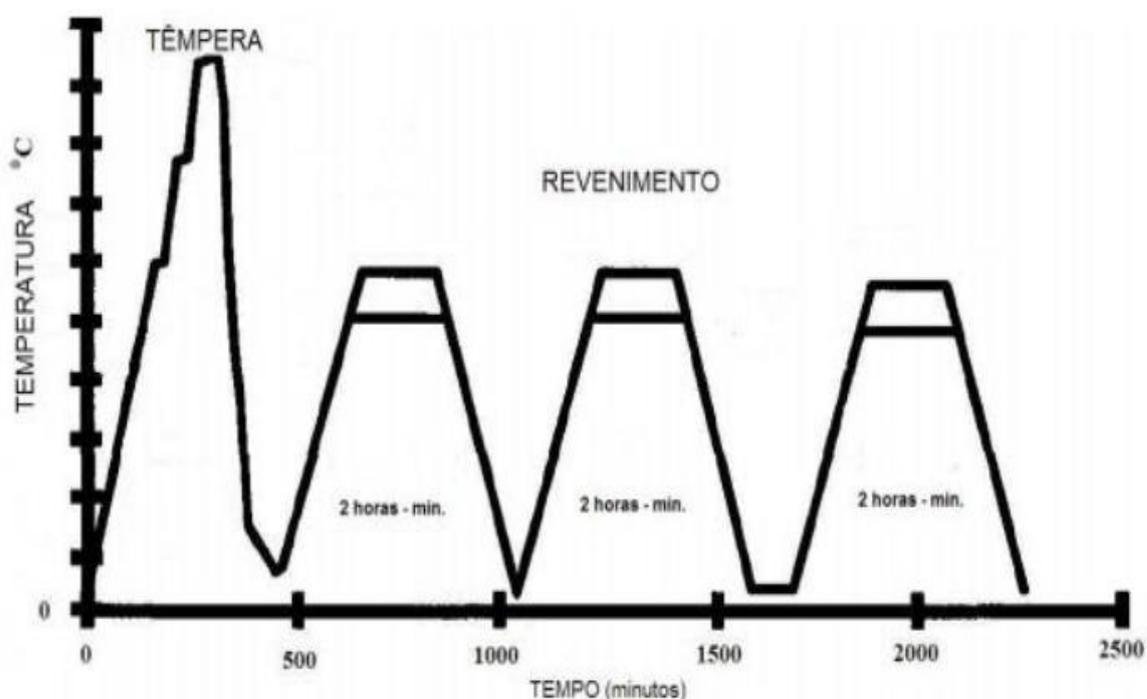
Os principais tratamentos térmicos realizados para o aço H13, segundo METAL HANDBOOK (1993) são:

- Têmpera: aquecimento uniforme até a temperatura de 815°C. Posteriormente ocorre o processo de temperatura de austenização, entre 995°C a 1025°C, por um tempo de 20 minutos, e mais 5 minutos para cada 25 mm de espessura. Resfriamento rápido, em água ou óleo, mas recomenda-se o óleo;

- Revenimento: esse processo é realizado após a têmpera com o objetivo de ocorrer a transformação da microestrutura, obtendo uma dureza próxima a da

martensita. Entretanto, apresenta uma ductilidade e uma tenacidade substancialmente melhoradas. O material é aquecido a uma temperatura de 540°C, a uma taxa de 10°C/min, permanecendo por 2 horas, por resfriamento ao ar. É recomendado que o ciclo de tratamento seja realizado por triplo revenimento, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2-Ciclo do tratamento térmico da liga H13

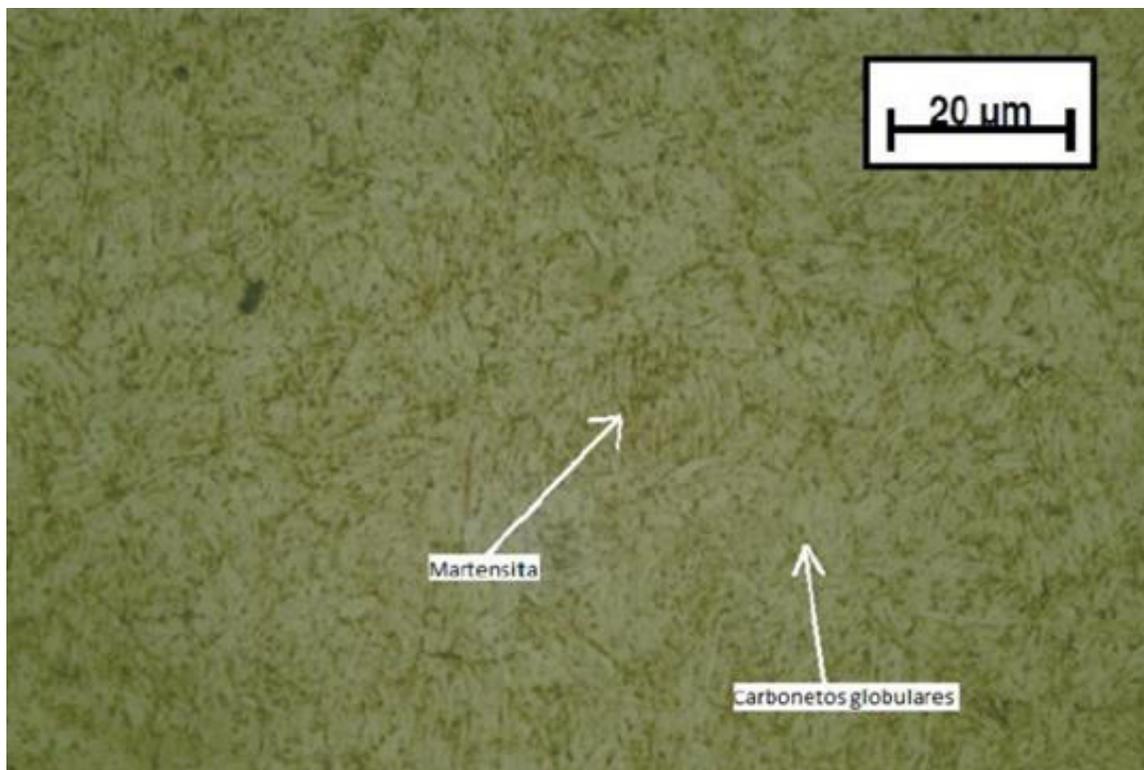


Fonte: VALES, 2010

O aço AISI H13 tratado termicamente por têmpera seguida de revenimento possui como microconstituintes: martensita, e carbonetos globulares, como pode ser verificado pela Figura 3.

A microestrutura da martensítica revenida consiste em partículas de carbonetos globulares (partículas circulares da cor preta) extremamente pequenas e uniformemente dispersas, em uma matriz ferrítica (VALES, 2010). Conforme demonstrado na figura 3.

*Figura 3-Micro estrutura do aço H3 austenizado a 1040 °C*



Fonte:GARBO,2013

Após a têmpera o aço AISI H13 necessita de três revenimentos, onde no primeiro, há precipitação de carboneto secundários; no segundo, ocorre a transformação da martensita que transformou no primeiro revenido em martensita revenida; um terceiro revenido é realizado para se obter uma maior ductilidade e tenacidade no material (VALES, 2010).

### **2.2.1 .Tratamentos superficial PVD**

PVD significa Deposição Física de Vapor. O processamento PVD é feito sob alto vácuo a temperaturas que variam na ordem de 150° e 500 °C. No processo PVD, o material de revestimento sólido de alta pureza (metais como titânio, cromo e alumínio) pode ser evaporado pelo calor ou então bombardeado com íons (sputtering). Ao mesmo tempo, é introduzido um gás reativo (por exemplo, nitrogênio ou um gás

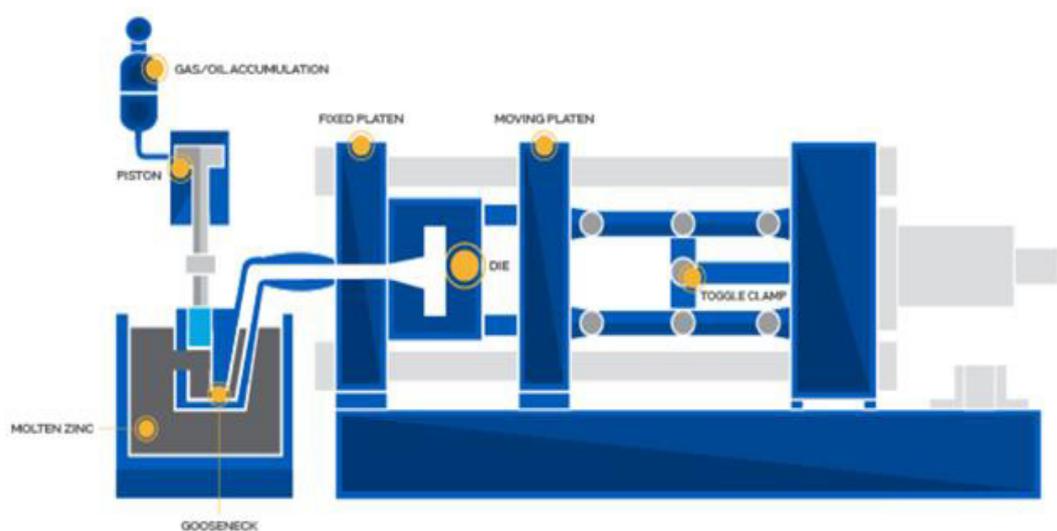
que contenha carbono), formando um composto com o vapor metálico que se deposita nas ferramentas ou nos componentes na forma de um revestimento fino e altamente aderente. Para atingir uma espessura de revestimento uniforme, as peças devem girar várias vezes a uma velocidade constante. As propriedades do revestimento (como dureza, estrutura, resistência química e resistência à temperatura, aderência) podem ser desta forma controladas com rigor. Os processos PVD contemplam evaporação por arco voltaico, sputtering, galvanização iônica e sputtering incrementado.

### 2.3 .FUNDIÇÃO SOB PRESSÃO (HPDC)

O processo consiste em injetar o metal líquido (ligas de alumínio, zinco ou magnésio) contido em um recipiente (câmara de injeção) para o interior de uma cavidade do molde fabricado em aço.

Diferente dos processos convencionais à gravidade , o metal injetado é submetido a altas pressões (acima de 300 Kgf/cm<sup>2</sup> ) obrigando-o a preencher reentrâncias e detalhes que os demais processos seria impossível. Basicamente existem dois processos de fundição sob pressão , o de câmara quente e câmara fria (BRICHESI,2003). A figura 4 representa uma injetora de camara quente

*Figura 4-Vista esquemática de injetora de câmara quente*

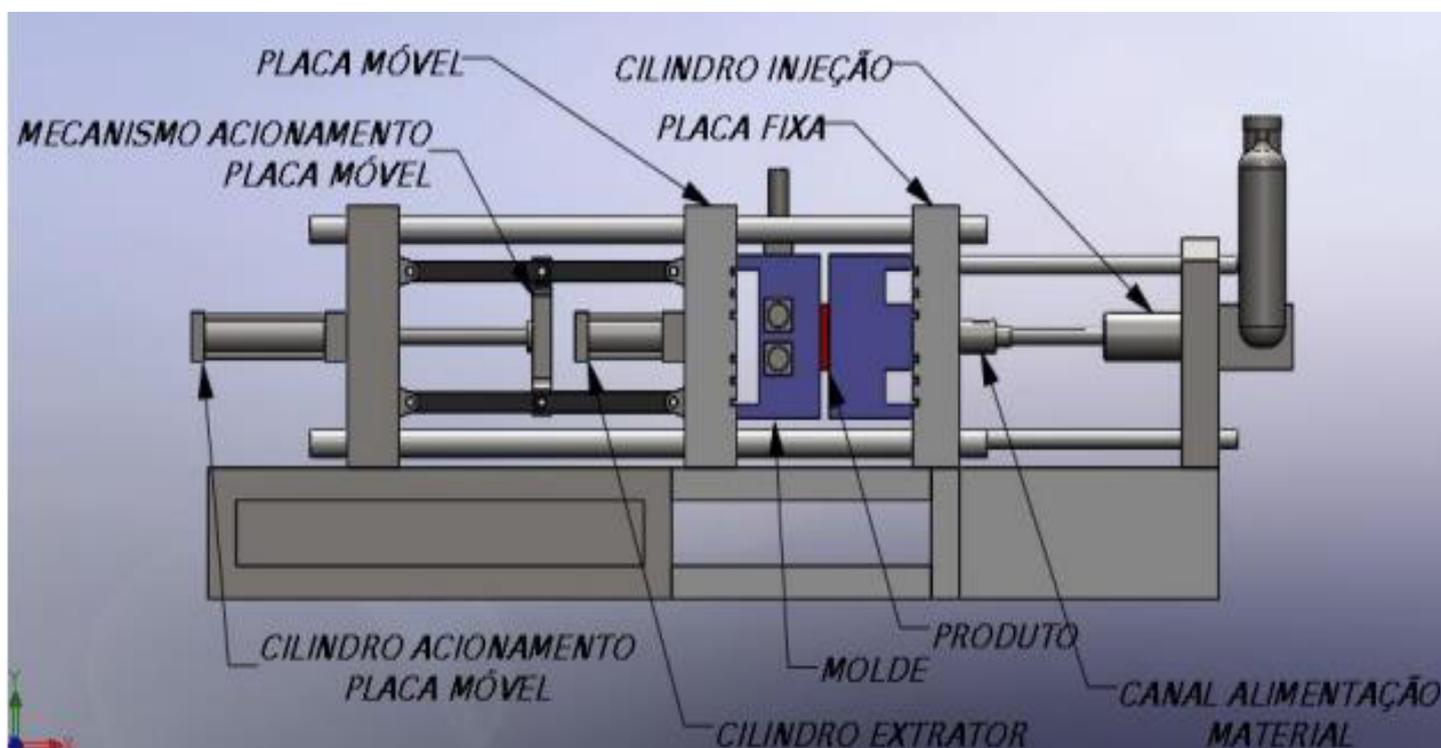


Fonte: <https://www.rapiddirect.com/pt/blog/hot-chamber-die-casting/>

A principal característica distintiva da fundição sob pressão em câmara quente é o forno integrado e a configuração da matriz. Normalmente, em processos como fundição sob pressão em câmara fria, o forno é uma máquina independente e separada da matriz, de modo que o calor intenso não danifica a máquina de fundição sob pressão.

Como a fundição sob pressão em câmara quente é um processo especial apenas para metais de baixa temperatura, é possível colocar o forno próximo à matriz sem riscos de danos. Isso é incrivelmente eficiente, pois não há perda de tempo no transporte do metal fundido do forno para a matriz. Em vez disso, o mecanismo de injeção injeta diretamente o metal do forno na matriz. A figura 5 demonstra uma injetora de câmara fria.

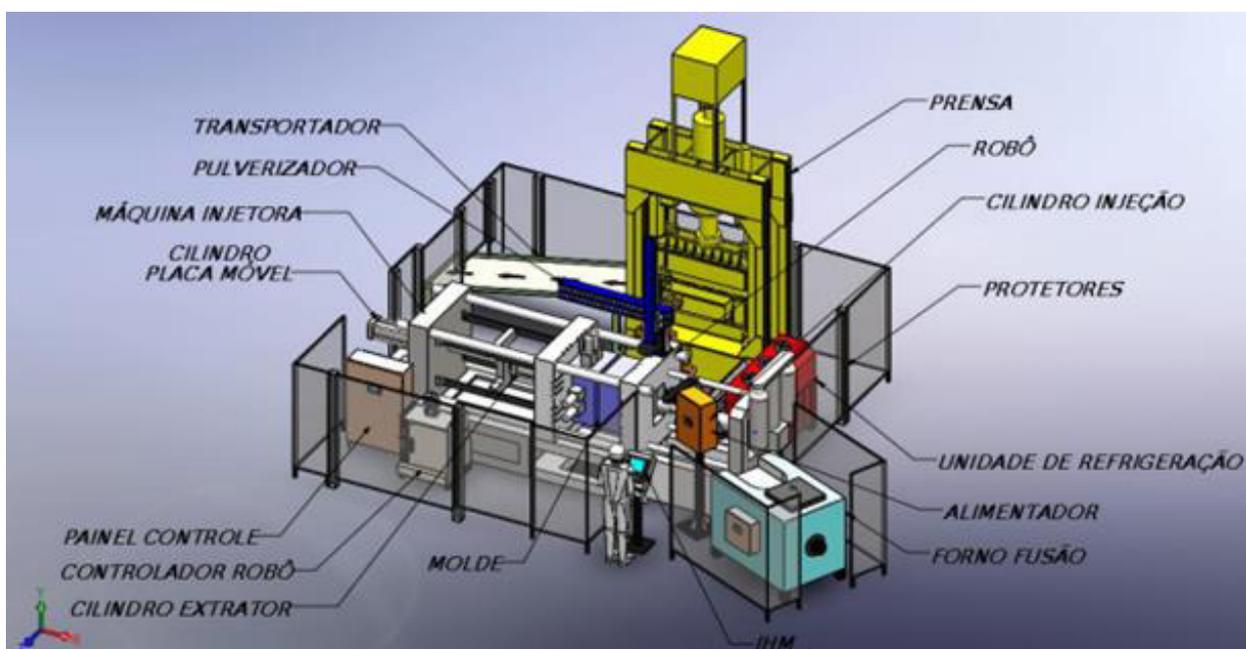
*Figura 5-Vista esquemática injetora câmara fria*



Fonte: Professor: Guilherme O. Verran, 2016

Em máquinas de fundição sob pressão câmara-fria, metal fundido é vazado numa câmara não aquecida a partir de um contêiner externo contendo o metal, e um embolo é usado para injetar metal em alta pressão, neste processo as máquinas tem limitação de peça de tamanho de 5 kg a 25 kg” (GROOVER, 2014, p.128). A figura 6 representa uma célula integrada de injeção sob pressão.

*Figura 6-Célula de injeao integrada*



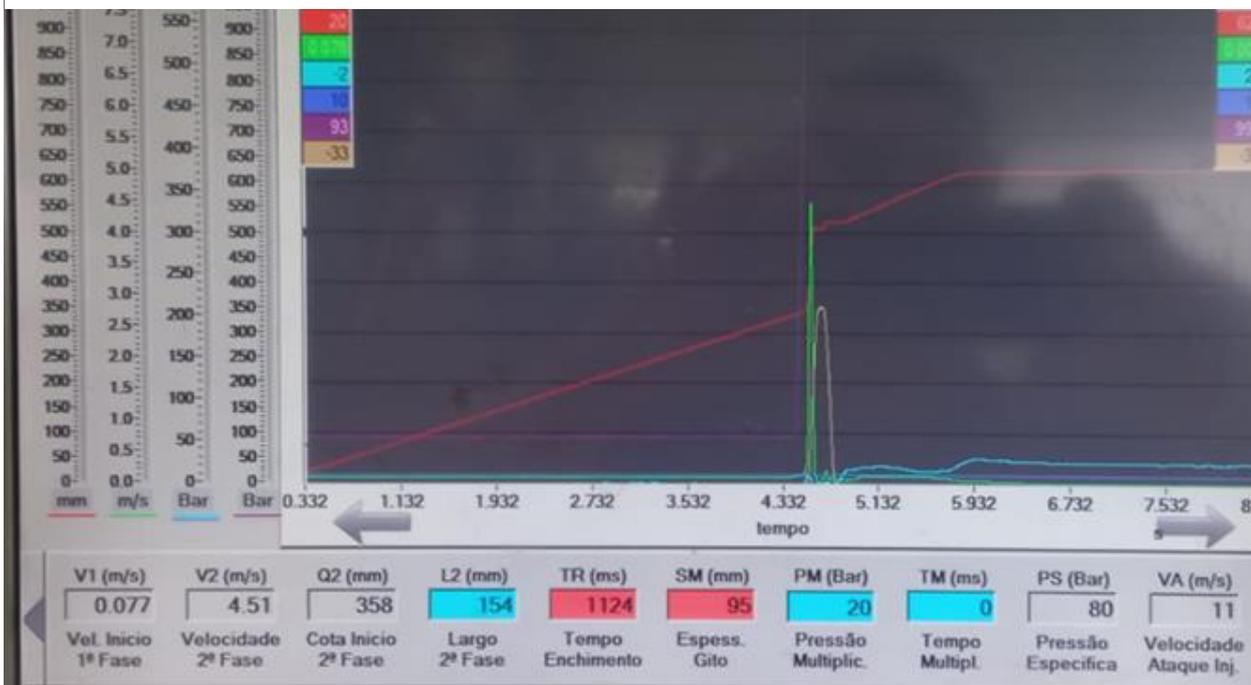
Fonte: Professor: Luiz Aquino, 2018.

Durante o projeto do ferramental é realizado o estudo estrutural, funcionamento do molde , sistema de refrigeração, simulação de injeção onde se determina os parâmetros que serão aplicados no processo produtivo. A figura 7 é um exemplo de uma peça que foi simulada em softwear de simulação de enchimento de molde injeção com seus parâmetros de fundição. A figura 7 demonstra a simulação de injeção, com os dados iniciais de processo. A figura 8 representa o controle dos paramentros durante a produção

*Figura 7-Simulação de injeção realizado por softwere específico*



Fonte: Os Autores, 2024.



Fonte: Os Autores, 2024.

### 2.3.1 .Ligas de alumínio para o processo HPDC

Os produtos fundidos em ligas de alumínio , apresentam várias propriedades como resistência a certos tipos de corrosão, boas combinações de propriedades mecânicas elevada ,condutibilidade térmica , mas a maior vantagem é a economia de peso bem relevante para componentes automotivos.

A introdução de elementos de liga melhoram acentuadamente as características de fundição e propriedades mecânicas do alumínio.Os elementos geralmente utilizados são: Cu,Si,Mg,Fe,Zn,Ni,Cr,Sn e Ti.As ligas de alumínio amplamente utilizadas no processo HPDC são divididas em: (BRICHESI,2003)

#### Alumínio -Silício

As ligas para fundição onde o silício é o principal elemento de liga são comercialmente as mais importantes , principalmente em virtude da superioridade com relação as características de fundição.A adição de cobre às ligas de Al-Si aumenta a resistência mecânica e a usinabilidade, mas reduz a resistencia a corrosão.Esta liga é muito utilizada na fundição de peças para a industria automotiva. (BRICHESI,2003)

### Alumínio -Cobre

Essas ligas possuem excelentes propriedades mecânicas e são suscetíveis de serem trabalhadas termicamente. Possuem boa usinabilidade, no entanto não tem boa resistência a corrosão. (ABIFA, 2003)

### Alumínio-Magnésio.

As ligas Al-Mg são caracterizadas pela elevada resistência à corrosão, muito boa usinabilidade e boa aparência quando polidas e ou anodizadas. Em contrapartida são ligas pobres em propriedades de fundição: requerem maior cuidado no sistema de canais de alimentação para produzir peças de qualidade satisfatória. Em virtude da grande tendência dessas ligas se oxidarem, quando no estado líquido, é necessário cuidadosa prática de fundição e vazamento. (BRICHESI, 2003)

### **2.3.2 .Efeitos dos elementos de liga**

Silício (Si)- Diminui a concentração de solidificação, aumenta a resistência ao desgaste, aumenta a fluidez da liga.

Manganês (Mn)- Agente endurecedor, agente neutralizador de ferro, eleva a condutibilidade térmica diminui a contração de solidificação.

Cobre (Cu)- Agente endurecedor, favorece a usinabilidade.

Ferro (Fe)- Até 1,3% (0,8 a 1,3) favorece o destacamento do molde, acima desta porcentagem será considerado impureza, torna a liga mais quebradiça, não permitindo empastamento das ferramentas de usinagem, diminui a contração de solidificação.

Zinco (Zn)- Favorece a usinabilidade, aumenta a resistência a corrosão, aumenta a estabilidade dimensional, acima de 0,9% age como impureza.

Magnésio (Mg)- Favorece o endurecimento do liga, aumenta a resistência a corrosão, favorece o polimento.

Titânio (Ti)- Agente refinador de grão.

*Tabela 2-Composição químicas das ligas mais utilizadas em HPDC*

SAE	Composição Química em %									
	Al	Cu	Fe	Si	Mn	Mg	Zn	Ni	Sn	Outros
305	Rest.	0,6	1,3	11,0 – 13,0	0,35	0,1	0,5	0,5	0,15	0,25
306	Rest.	3,3 4,0	1,3	7,5 – 9,5	0,35	0,1	3,0	0,5	0,35	0,25
309	Rest.	0,6	1,3	9,0 – 10,0	0,35	0,40 – 0,60	0,5	0,5	0,15	0,25

Fonte: Os Autores, 2023

### **2.3.3 .Moldes de injeção sob pressão.**

Os moldes de Fundição sob pressão são ferramentas complexas e de alto valor agregado, pois demandam várias horas de projeto com software de modelamento 3 d e 2d, simulação de injeção e etapas de usinagem de componentes, tratamento térmico, montagem, ajustes e try out. A figura 9 exemplifica um molde de injeção sob pressão.

Basicamente os moldes são compostos de :

Porta molde, utilizados para alojar as matrizes e gavetas , são confeccionadas em aço SAE P20 ou 4140, podem ser forjadas ou laminadas.

Matrizes , gavetas pinos pré furos e postigos, são as partes moldantes do ferramental com contato direto com a alumínio, formando o produto, são confeccionadas em aço para trabalho a quente, tratados termicamente.

Bucha de injeção, utilizada para realizar o derrame do alumínio e levar até a cavidade, é construída em aço H13 tratado termicamente,

Sistema de extração, é utilizado para realizar a retirada do produto da cavidade, são construídos em aço H 13 temperado e nitretado.

Sistema de refrigeração.

Cilindros hidráulicos, são utilizados para realizar o movimento das gavetas.

Durante a fase do projeto são realizados vários cálculos estruturais.

Outro cálculo importante é realizado para determinar a força de fechamento necessária para suportar a pressão específica aplicada para o processo.

Na figura 9 está exemplificado um molde de injeção sob pressão

Calculo para determinar a máquina a ser utilizada:

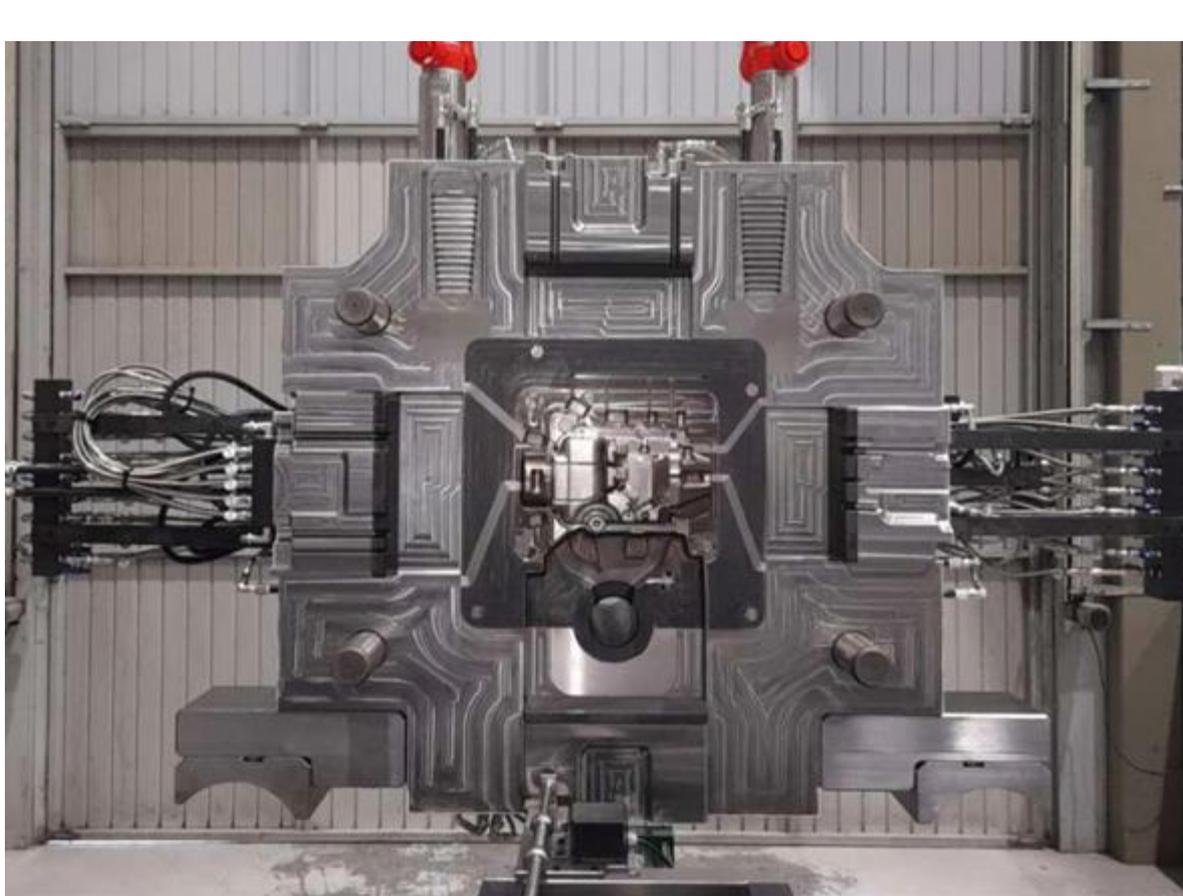
$$F_a = A_{pr} \cdot P_e$$

**F<sub>a</sub>**= Força de abertura

**A<sub>pr</sub>** =Area projetada

**P<sub>e</sub>**= Pressão específica

*Figura 9-Exemplo de molde HPDC*



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização do trabalho de se medir a influência da dureza na performance em componentes para moldes em fundição sob pressão foi utilizado um posticho, componente removível dentro do molde, que permite criar detalhes e geometrias complexas na peça final durante o processo de fundição sob pressão.

O posticho é inserido no molde antes da injeção do metal fundido para confecção de uma carcaça de direção. Ele se encaixa nas cavidades do molde, definindo formas específicas na peça que serão formadas ao redor do posticho.

É um componente crítico do equipamento de fundição sob pressão, essencial para a criação de peças fundidas complexas, mas não faz parte da peça fundida em si. Para criar uma cavidade interna em uma peça fundida, um posticho pode ser colocado dentro do molde onde essa cavidade será formada. Após a solidificação do metal ao redor do posticho, este é removido, deixando a cavidade na peça final.

Os postichos são usados para formar reentrâncias, furos ou outros detalhes que não podem ser moldados diretamente pelas duas metades principais do molde.

Este componente apresenta excesso de erosões e agarramento de metal, durante o processo produtivo, mesmo sendo confeccionado em liga SAE H13, sendo temperado e revenido em forno a vácuo, com dureza estipulada em projeto de 44-46 HRC e receber tratamento superficial de nitretação e PVD. A ideia do trabalho foi de aumentar a dureza após o tratamento térmico, buscando durezas acima de 50 HRC após acabamento final, objetivando-se um aumento de performance em serviço.

A figura 10 mostra o modelo de posticho utilizado para testes de performance e a figura 11 mostra o posticho desgastado por erosão devido a utilização em serviço.

*Figura 10-Postiço confeccionado para o teste*



Fonte: Os Autores, 2024.

*Figura 11-Postiço demonstrando erosão prematura*



Fonte: Os Autores, 2024.

### 3.1 MATERIAIS.

Os Postiços são geralmente feitos de materiais duráveis e resistentes ao calor, como aços temperados, para suportar as condições rigorosas do processo de fundição. Os materiais são especialmente selecionados para suportar as rigorosas condições de operação, como altas temperaturas, pressões elevadas e desgaste mecânico. A escolha do material para a confecção de postiços na fundição sob pressão deve balancear durabilidade, custo e desempenho específico necessário para a aplicação.

Para realização dos testes foi utilizado uma barra de aço cilíndrica AISI H13 com diâmetro de 70 mm x 700mm de comprimento. Este material foi escolhido por oferecer boa resistência à deformação plástica e boa resistência a quente. A Tabela 5 mostra a composição do postiço utilizado para teste.

*Tabela 3-Composição química do aço AISI H13*

<b>Composição Química – Aço AISI H13 (certificado)</b>							
<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>S</b>	<b>Mo</b>	<b>V</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>Cr</b>
0,35	0,34	0,001	2,82	0,57	0,37	0,016	4,94

Fonte: Os Autores, 2024.

### 3.2 MÉTODOS.

Para realização do trabalho foram utilizados os seguintes equipamentos:

Torno CNC .

Fresadora CNC

Forno a Vácuo

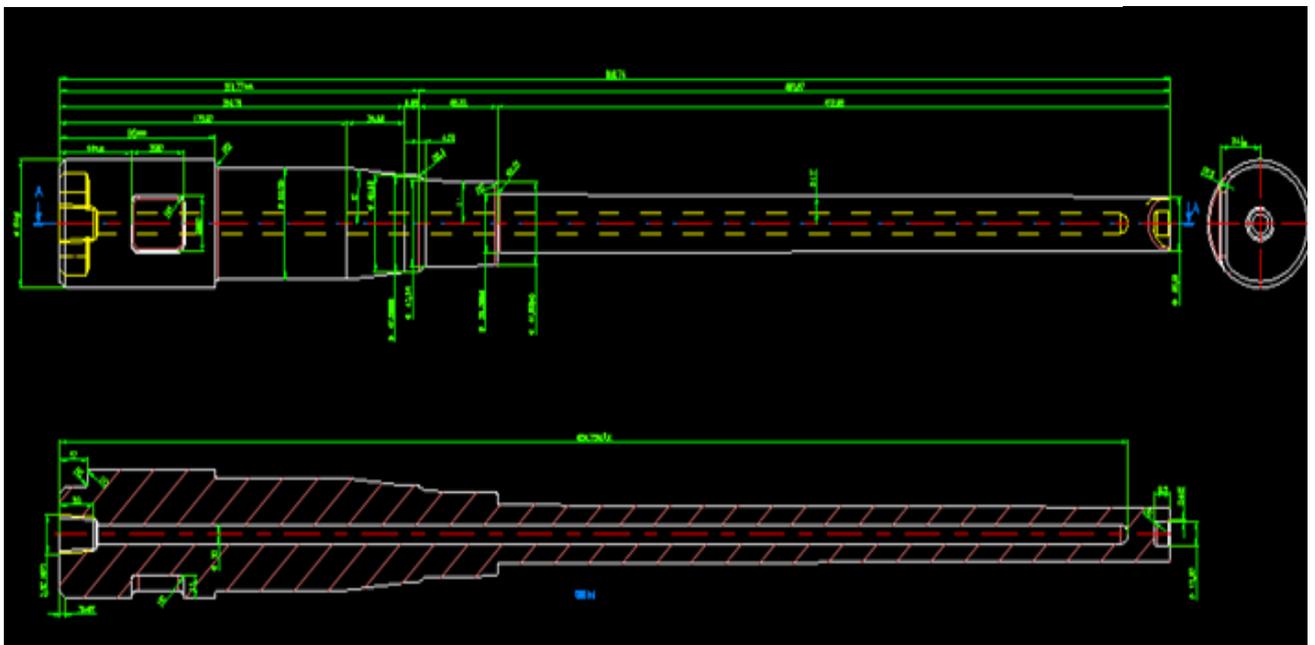
Durometro WOLPERT HT1a

Molde de injeção;

Injetora de fundição de alta pressão;  
Câmera termográfica;  
Projeto 2D para confecção do postigo;

A figura 12, mostra o projeto 2D utilizado para a confecção do postigo.

*Figura 12-projeto 2D para a confecção do postigo*



Fonte: Os Autores,2024.

O postigo foi pré desbastado em torno CNC, e enviado para o tratamento térmico de têmpera e triplo revenimento em forno a vácuo. As etapas do tratamento térmico é demonstrado na tabela 6.

*Tabela 4-Etapas do tratamento térmico utilizado na confecção do postigo*

Etapa do Tratamento	Temperatura (°C)	Atmosfera
Austenitização	1025 °C	Vácuo
Taxa de Resfriamento	1025 °C / Min	Nitrogênio
1° Revenimento	560 °C x 2 horas	Nitrogênio
2° Revenimento	610 °C x 2 horas	Nitrogênio
3° Revenimento	605 °C x 2 horas	Nitrogênio

Fonte: Os Autores,2024.

A figura 13 demonstra o gráfico utilizado para o controle do tratamento térmico.

Figura 13-Gráfico do tratamento térmico realizado no postigo



Fonte: Os Autores,2024.

Após a realização da tempera do postigo em forno a vácuo e triplo revenimento, o postigo foi usinado para objetivar as dimensões de projeto para tratamento superficial PVD. Após retorno do tratamento foi realizado a usinagem de acabamento e realização do tratamento superficial PVD.

A figura 14 demonstra o postigo após tratamento térmico e a figura 15 mostra o postigo após usinagem.

*Figura 14-Postigo recebido do tratamento térmico*



Fonte:Os Autores,2023

*Figura 15-Postigo finalizado a usinagem*



Fonte:Os autores,2023

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS DE TRATAMENTO DE TÊMPERA E REVENIMENTO

Após o tratamento de têmpera e revenimento foi realizado a medição de dureza no aço AISI H13. A figura 16 mostra os resultados de dureza encontrados após tratamento térmico.

*Figura 16-Certificado de ensaio de dureza do postigo*

<b>Especificações:</b> OS 16502 004 POS 132 <small>(Specifications)</small>			
<b>Quantidade:</b> 3,0000 <small>(Quantity)</small>		<b>Peso:</b> 19,8000 <small>(Weight)</small>	
<b>Tratamento:</b> <b>ALIVIO + TEMPERA A VACUO + REVENIDO</b> <small>(Treatment)</small> <b>STRESS REALIVING + VACCUM QUENCHING + TEMPERING</b>			
<b>Propriedades Solicitadas</b> <small>(Request properties)</small>	<b>Propriedades Obtidas</b> <small>(Obtained properties)</small>	<b>Nr. Peças Testadas</b> <small>(N° of measured parts)</small>	<b>Observações</b> <small>(Observation)</small>
Camada (mm): <small>(Layer Thickness)</small>	Camada (mm): <small>(Layer Thickness)</small>	2	
Dureza: 50/52HRC <small>(Hardness)</small>	Dureza: 51HRC <small>(Hardness)</small>		
<b>Durômetro:</b> <small>(Durometer)</small> <b>Cód.:</b> D07 DUROMETRO WOLPERT HT1a <small>(Code)</small> <b>Empresa Certificadora:</b> DUROCONTROL INDUSTRIA E COME <small>(Certified by)</small> <b>N° Certificado Calibração:</b> CAL-3722.1022.07 <small>(N° of calibration certificate)</small> <b>Data de Calib.:</b> 19/10/22 <b>Próxima Calib.:</b> 19/10/23 <small>(Date of calibration)</small> <small>(Next calibration)</small> <b>IT.:</b> 1,16 <small>(Measurement Uncertainty)</small>		<b>Controle:</b> <small>(Control)</small> <b>Data:</b> 04/09/2023 <b>Hora:</b> 11:18 <small>(Date)</small> <small>(Hour)</small> <b>Controlador:</b> <small>(Controler)</small>	

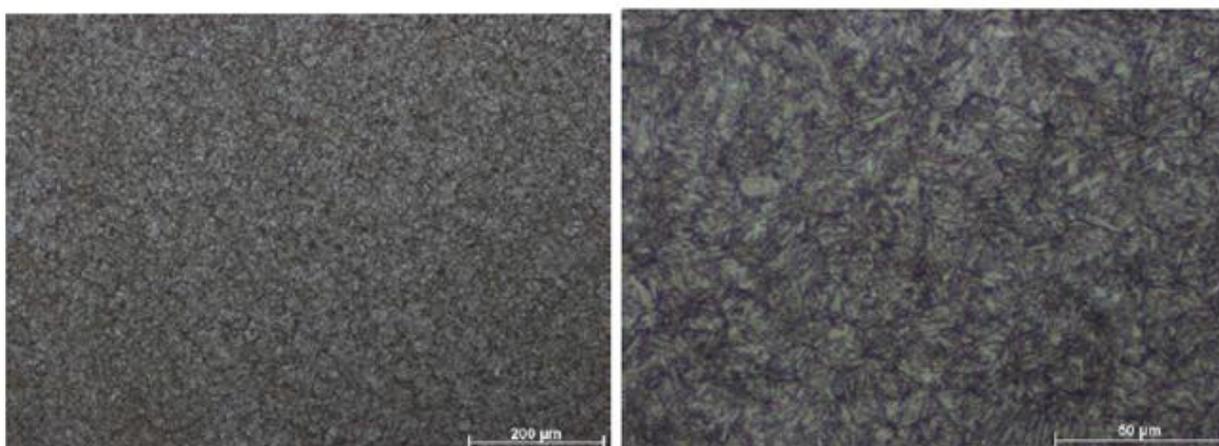
Fonte: Os Autores,2024.

Conforme descrito no certificado , o resultado pós tratamento térmico , está dentro do especificado no projeto, 50-52 HRC.

## 4.2 RESULTADOS DE ANÁLISE MICROESTRUTURAL

Após o tratamento térmico de têmpera e revenimento e medição de dureza, foi realizada a análise metalográfica para se verificar a microestrutura do aço AISI H13 para se confirmar se estrutura estava compátivel com a especificação. A figura 17 mostra o resultado da análise metalográfica após o tratamento térmico.

*Figura 17-Resultado da metalografia do postigo pós tratamento*



Microestrutura composta de carbonetos secundários finamente distribuídos numa matriz de martensita revenida.

Fonte: Os Autores,2024.

## 4.3 RESULTADOS DE TRATAMENTO SUPERFICIAL PVD

Após o tratamento térmico de têmpera e revenimento e medição de dureza, foi realizado o tratamento superficial do tipo PVD, para se melhorar a resistência ao desgaste superficial do postigo. A figura 17 mostra o resultado da medição da camada superficial realizado após o tratamento térmico.

Figura 18-Certificado de qualidade do tratamento superficial do postigo

Certificado de Conformidade		23/09/23		Página 1	
Contato	Nosso Pedido No.	2352172	No. Cliente	<b>C100805</b>	
Jean Pereira	Seu Pedido No.	117535	Referência	quant. divergente (correto	
Tel.	Seu Nota de Entrega	60832			
Nº Fax					
Pos	Descrição	Quantidade Ordenada	Enviada	Mantido em casa	
1	BALINIT ALCRONA PRO Advanced Macho de Inj. de Alumínio Cilindrico 16502/0004 POS 132 Adesão de Revestimento: 1 (HF) Espessura do Revestimento: 3,64 (µm)	3	3		

Fonte: Os autores, 2023

Tabela 5-Resultado do ensaio de charpy

Resultado de Impacto em Joules (J)	
Impacto 1	19,5
Impacto 2	17,4
Impacto 3	18,2
Impacto 4	17,7
Impacto 5	16,4
Média	17,8

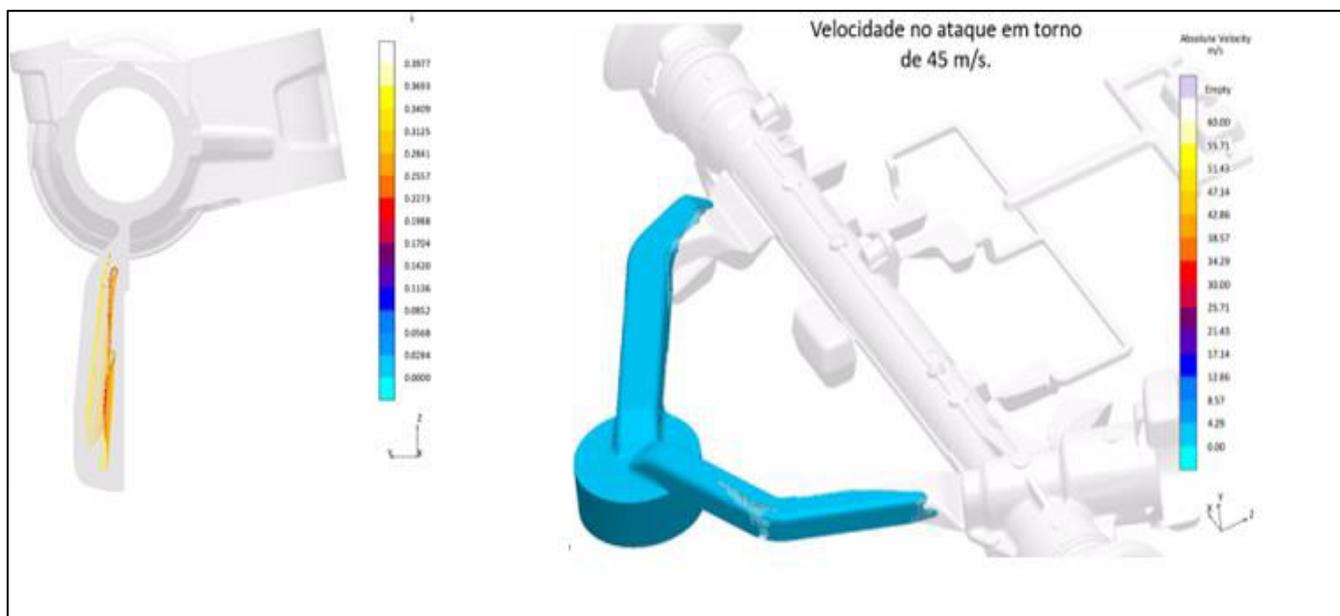
Fonte: Os Autores,2024.

Segundo a NADCA os resultados do ensaio de impacto devem obter 14 J mínimo.

#### 4.5 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DO POSTIÇO EM APLICAÇÃO

A figura 19 mostra o resultado da simulação do enchimento do metal com a utilização do postigo durante a fundição sob pressão.

Figura 19-Resultado da simulação de injeção



Fonte: Os Autores,2024.

#### 4.5 RESULTADOS DA FUNDIÇÃO

A figura 20 mostra o postigo montado no molde para fundição e a figura 21 mostra a peça presa no molde de injeção.

*Figura 20-Montagem do postiço no molde*



Fonte:Os autores,2024

*Figura 21-peça presa durante o processo produtivo*

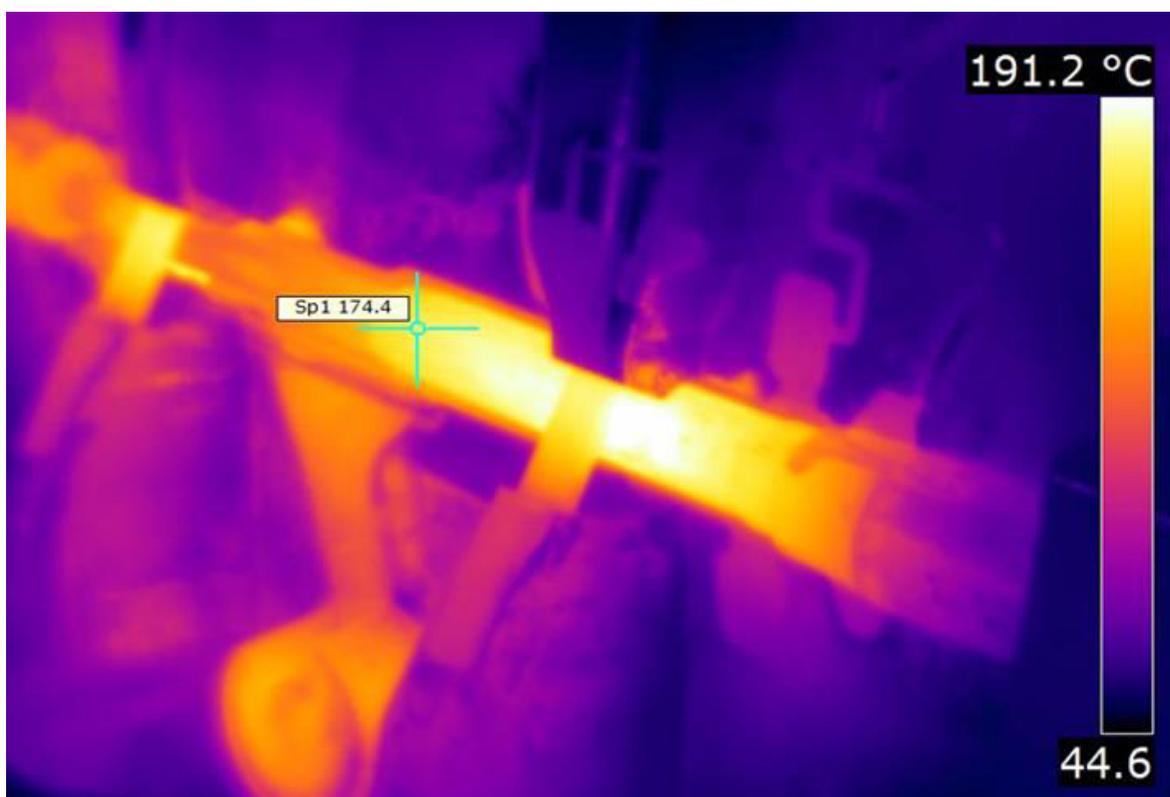


Fonte:Os autores, 2024

#### 4.6 RESULTADOS DA TERMOGRAFIA NO MOLDE

A figura 22, representa o controle termografico do postição durante o ciclo produtivo e a figura 22 mostra o controle de temperatura do ciclo de refrigeração.

*Figura 22-Termografia do molde durante a produção*



Fonte: Os Autores,2024.

Os resultados da temperatura do ferramental durante a injeção se demonstraram dentro do ranger estipulado na simulação de injeção.

*Figura 23-Controle de temperatura do molde*



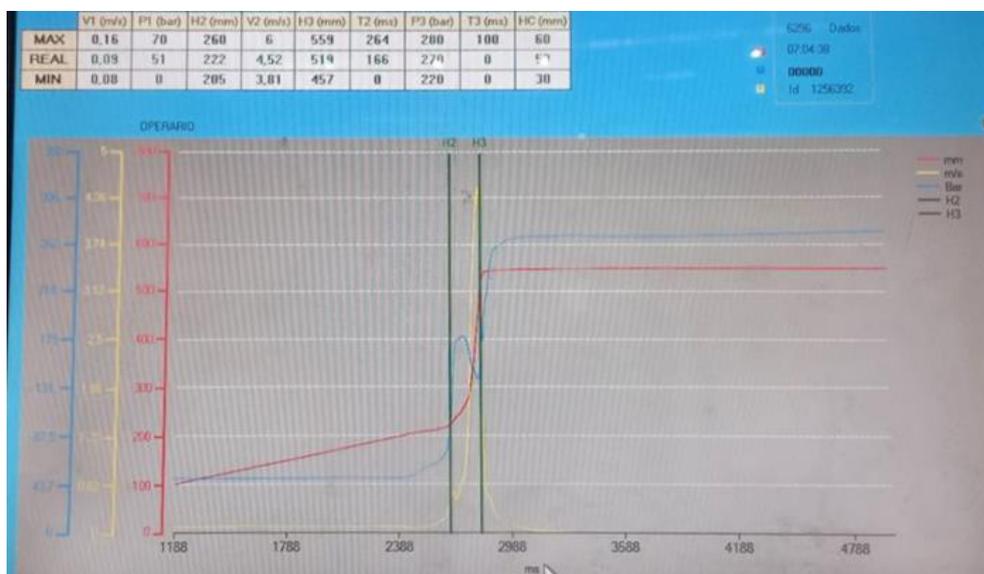
Fonte: Os Autores,2024.

O controle de temperatura do molde conforme indicado na figura 22, está de acordo com ficha de parametros estipulada para o processo de injeção deste produto.

#### **4.7 RESULTADOS DOS PARÂMETROS DE INJEÇÃO**

Durante a produção foram auditados os parâmetros de processo, conforme mostra a figura 24

Figura 24-Parâmetros de injeção controlados automaticamente



Fonte: Os Autores,2024.

Parametros de injeção controlados conforme ficha de controle.

Devido a um erro operacional , houve a ruptura do postigo, após a injeção de 7810 ciclos.Conforme indicado na figura 25.

Figura 25-Postigo fraturado

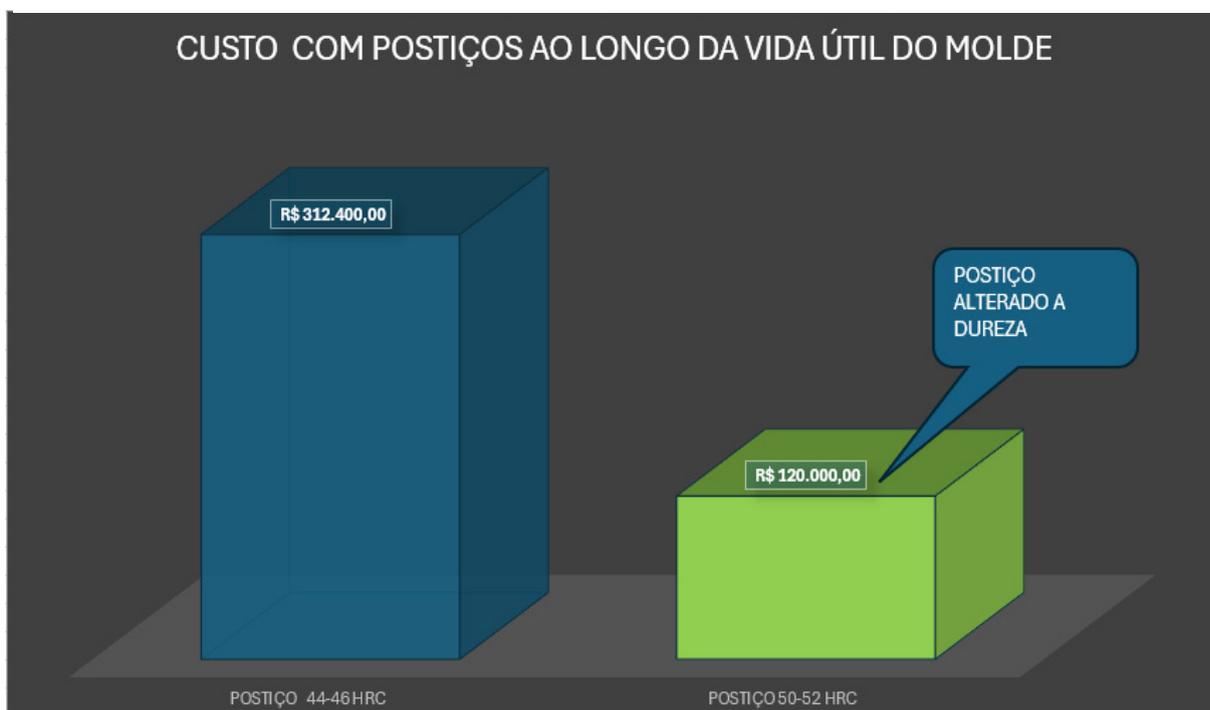


Fonte: Os Autores,2024.

## 4.8 RESULTADOS ECONÔMICOS E PERFORMANCE

Conforme podemos verificar na figura 26, as trocas do componentes forma diminuídas , e portanto obtivemos uma redução no custo durante a vida útil do ferramental

Figura 26-Comparativo de custos



Fonte: Os Autores,2024.

Com esta redução de trocas de componentes, aumentou o MTBF do equipamento assim tivemos um ganho no OEE de 2%.

## 5. CONCLUSÃO

Observando os resultados obtidos e baseado no objetivo do trabalho, podemos concluir que:

Com a alteração da dureza do postigo de 44-46 HRC para 50-52 HRC, conforme habitualmente é empregado, não houve mudança na micro estrutura do material pós tempera.

Conforme demonstrado via ensaio de Charpy não houve perda significativa em sua tenacidade.

A dureza maior , espera-se evitar a erosão prematura na superfície do postigo devido a velocidade de preeenchimento, reduzindo a paradas de maquinas por peças presas e o aumento de vida útil do componente para 6.000 ciclos.

A alteração da dureza do componente , obteve um bom resultado, superando o objetivo em 1810 ciclos , sem evidências de erosões .

## 6. REFÊRENCIAS

- AÇOBRASIL. A indústria do aço no Brasil. Confederação Nacional do aço. Instituto aço Brasil. Brasília, Distrito Federal, p.64, 2017.
- BRICHESI.ABIFA,Fundição sob pressão .2003
- CABALLERO, F.G. et al. Modelling of Kinetics of Austenite Formation in Steels with Different Initial Microstructures. ISIJ International, Vol. 41, p. 10, 2001.
- CHIAVERINI, V. Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação e Tratamento. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.
- COLPAERT, Hubertus. Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns. 4. Ed. São Paulo: Blucher, 2008.
- DATRES, Kézio Durval Lima; FERNANDES, Lucas Leandro; JUNIOR, João Carlos Machado Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, SP, v. 02, n. 01, p. 70-82, jan./ago. 2017
- GONTARSKI, T. de L.CASALI, R. M.MIKOWSKI, A.; Dureza vickers – definição, normatização e perspectivas de pesquisa; Brazilian Journal of development, 14/02/2021
- GROOVER, M.P. Introdução aos Processos de fabricação. 1ed. Rio de Janeiro; LTC, 2014, p. 128.
- <https://abal.org.br/aplicacoes/automotivo-e-transportes/automoveis/>, acesso em 09 de outubro de 2023.
- MARQUES, prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vanessa Dummer; Universidade Federal de pelotas Centro de Engenharias; Ensaio Mecânicos Destrutivos e Não-Destrutivos.
- MARTINS, Marcelo. Temperabilidade Jominy e influência do revenido sobre a dureza - um estudo em aços estruturais nacionais. Universidade Federal de Santa Catarina, p.115, 2002
- PAVANATI, H. C. Introdução à tecnologia dos materiais. Instituto Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2010.
- SHACKELFORD, James F. Introdução à ciência dos materiais para engenheiros.6<sup>a</sup> ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008

SOUZA, Sergio A. de; Ensaio mecânico dos materiais metálicos: Fundamentos teóricos e práticos; 5ª edição, São Paulo: editora Edgar Blücher, 1982.