

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**IMPLEMENTAÇÃO DA AUTOMAÇÃO DE PARÂMETROS PARA MELHORIA DO  
PROCESSO DE CONFORMAÇÃO POR Prensagem de massa de  
TAMPONAMENTO PARA FUROS DE CORRIDA EM ALTOS-FORNOS**

**VINÍCIUS DOS SANTOS GALHARDO DE ALBUQUERQUE**

**SÃO CARLOS - SP**

**2023**

**IMPLEMENTAÇÃO DA AUTOMAÇÃO DE PARÂMETROS PARA MELHORIA DO  
PROCESSO DE CONFORMAÇÃO POR PRENSAGEM DE MASSA DE  
TAMPONAMENTO PARA FUROS DE CORRIDA EM ALTOS-FORNOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Victor Carlos Pandolfelli

**SÃO CARLOS -SP**

**2023**



## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

**NOME:** Vinicius dos Santos Galhardo de Albuquerque

**RA:** 727428

**TÍTULO:** Implementação da automação de parâmetros para melhoria do processo de conformação por prensagem de massa de tamponamento para furos de corrida em altos-fornos

**ORIENTADOR(A):** Prof. Dr. Victor Carlos Pandolfelli

**CO-ORIENTADOR(A):**

**DATA/HORÁRIO:** 18/08/2023, 11h30

### BANCA – NOTAS:

|                                     | Monografia  | Defesa      |
|-------------------------------------|-------------|-------------|
| Prof. Dr. Victor Carlos Pandolfelli | 10,0        | 10,0        |
| Eng. Fernanda Crivelari Figueiredo  | 10,00       | 10,00       |
| <b>Média</b>                        | <b>10,0</b> | <b>10,0</b> |

### BANCA – ASSINATURAS:

Prof. Dr. Victor Carlos Pandolfelli

*Victor Carlos Pandolfelli*

Enga. Fernanda Crivelari Figueiredo

*Fernanda Figueiredo*

## **DEDICATÓRIA**

A minha mãe, que sempre me apoiou e me ajudou em minhas conquistas.

## **AGRADECIMENTO**

A minha mãe Sheila Braga dos Santos que proporcionou a minha chegada até este ponto e, sempre me apoiou em todas as decisões.

A todos de minha família que sempre me incentivaram e inspiraram a ser uma pessoa melhor.

A meu orientador Prof. Dr. Victor Carlos Pandolfelli, por todos os ensinamentos, oportunidade de aplicar meus conhecimentos adquiridos ao longo destes anos, além de possibilitar meu crescimento pessoal e profissional.

Também gostaria de agradecer a Shinagawa e as pessoas que trabalharam comigo durante o último ano, fazendo com que a minha primeira experiência profissional fosse muito positiva.

E por fim, a todos que de alguma forma contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal durante todos esses anos.

## RESUMO

A indústria siderúrgica tem desempenhado um papel vital no desenvolvimento econômico global, sendo os altos-fornos um componente essencial desse setor. A eficiência operacional e a qualidade dos produtos provenientes dos altos-fornos são determinantes para a competitividade da indústria.

A conformação por prensagem de massas de tamponamento, visa otimizar a distribuição de carga térmica e química nos fornos, impactando diretamente na qualidade do ferro-gusa produzido. Os desafios inerentes a esse processo incluem a variação das características da matéria-prima, flutuações nas condições ambientais e a necessidade de controle preciso das variáveis de conformação. A falta de controle adequado desses parâmetros pode resultar em produção de ferro-gusa de baixa qualidade, baixo rendimento e aumento dos custos operacionais.

Nesse contexto, a implementação da automação de parâmetros emerge como uma solução promissora para enfrentar esses desafios. Através da utilização de tecnologias avançadas, como sensores de alta precisão, sistemas de controle inteligentes e algoritmos de otimização, é possível monitorar e ajustar em tempo real os parâmetros de conformação. Isso não apenas reduz a intervenção humana no processo, minimizando erros humanos e aumentando a segurança operacional, mas também contribui para uma melhoria consistente na produção de massas de tamponamento, também contribuindo para uma maior qualidade do ferro-gusa produzido e no rendimento geral do alto-forno.

Os benefícios esperados da implementação da automação de parâmetros são vastos. Além do aumento da qualidade do produto final e da eficiência operacional, espera-se a redução de desperdícios, maior padronização do produto final, diminuição do consumo de energia e a otimização dos recursos utilizados.

Assim sendo, este trabalho de pesquisa tem como objetivo explorar os fundamentos teóricos da conformação por prensagem de massa de tamponamento para altos-fornos, investigar as tecnologias de automação de parâmetros disponíveis e avaliar empiricamente os impactos da implementação dessas tecnologias em um ambiente industrial real. Para embasar essa investigação, uma análise abrangente da literatura atualizada, estudos de caso relevantes e experimentos controlados serão conduzidos.

O presente estudo aborda um projeto conduzido na empresa Shinagawa Refractories, localizada em Vinhedo-SP, cujo objetivo consistiu na realização de uma automatização abrangente dos parâmetros de conformação em uma máquina destinada à produção de massas de tamponamento utilizadas em altos-fornos na indústria siderúrgica. Anteriormente, a referida máquina operava primordialmente de maneira manual para moldar as mencionadas massas refratárias, onde se produziam todas as diferentes massas da mesma forma, resultando em inconsistências de qualidade, ineficiências produtivas, carência de rastreabilidade e desperdício de materiais.

Como resposta a essas problemáticas, instituiu-se uma interface vasta de parâmetros que abarca três categorias-chave: conformação, prensagem e lubrificação. Cada uma das mais de 30 formulações distintas de massas tamponamento demandou seu próprio conjunto de parâmetros devido às variações nos comportamentos de extrusão. A execução desse projeto estendeu-se por diversos meses devido ao conjunto de parâmetros abrangente e à necessidade de personalizar os parâmetros para cada formulação específica de massa refratária.

Após a implementação do projeto, o desempenho da máquina ao longo dos cinco meses subsequentes gerou resultados amplamente positivos em diversas dimensões. Destacaram-se, notavelmente, os registros excelentes de volume de produção e o aumento da produtividade.

## ABSTRACT

A steel industry has played a vital role in global economic development, with blast furnaces being an essential component of this sector. Operational efficiency and the quality of products from blast furnaces are crucial for industry competitiveness.

Pressing forming of burden materials aims to optimize the distribution of thermal and chemical loads in furnaces, directly affecting the quality of produced pig iron. Challenges in this process include variations in raw material characteristics, environmental fluctuations, and the need for precise control of forming variables. Inadequate control of these parameters can lead to low-quality pig iron, reduced yield, and increased operational costs.

In this context, parameter automation emerges as a promising solution to address these challenges. Utilizing advanced technologies such as high-precision sensors, intelligent control systems, and optimization algorithms, real-time monitoring and adjustment of forming parameters become possible. This not only reduces human intervention, minimizing errors and enhancing operational safety, but also contributes to consistent improvement in forming material production, thus enhancing pig iron quality and overall blast furnace efficiency.

The anticipated benefits of parameter automation implementation are extensive. Apart from improving final product quality and operational efficiency, waste reduction, standardized end products, decreased energy consumption, and optimized resource utilization are expected outcomes.

Therefore, this research aims to explore the theoretical foundations of burden material pressing for blast furnaces, investigate available parameter automation technologies, and empirically assess the impacts of implementing these technologies in an actual industrial setting. To support this investigation, a comprehensive analysis of current literature, relevant case studies, and controlled experiments will be conducted.

This study focuses on a project carried out at Shinagawa Refractories, located in Vinhedo-SP, which aimed to comprehensively automate forming parameters in a machine producing burden materials for blast furnaces in the steel industry. Previously, the machine primarily operated manually, resulting in inconsistent quality, production inefficiencies, lack of traceability, and material wastage.



In response to these issues, a broad parameter interface encompassing three key categories—forming, pressing, and lubrication—was established. Each of the 30+ distinct burden material formulations required its own set of parameters due to variations in extrusion behavior. The project extended over several months due to the comprehensive parameter set and the need to customize parameters for each specific formulation.

Following project implementation, the machine's performance over the subsequent five months yielded highly positive results across various dimensions. Particularly noteworthy were the excellent production volume records and increased productivity.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Filial da empresa Shinagawa Refractories em Vinhedo-SP.....                                 | 2  |
| Figura 2 - Vista da estrutura da região do furo de corrida de altos-fornos (Miranda, 2014). ...        | 4  |
| Figura 3 - Processo de extrusão de massa de tamponamento (JC Steele & Sons, 2011) .....                | 6  |
| Figura 4 - Tarugos de massa de tamponamento obtidos por prensagem (Sheng Iron Refractories, 2023)..... | 7  |
| Figura 5 - KPI de tempo de ciclo.....  | 19 |
| Figura 6 - Definição de camada, cartucho e tarugo na concepção do processo. ....                       | 20 |
| Figura 7 - Tela geral de parâmetros.....   | 21 |
| Figura 8 - Procedimento de escolha de família de parâmetros. ....                                      | 21 |
| Figura 9 - Parâmetros de conformação (parte 1). ....   | 22 |
| Figura 10 - Parâmetros de conformação (parte 2).....   | 23 |
| Figura 11 - Parâmetros de prensagem. ....  | 24 |
| Figura 12 - Parâmetros de lubrificação.....  | 25 |
| Figura 13 - Parâmetros especiais.....  | 26 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Atuação das principais matérias primas nas massas de tamponamento (Ribeiro, 2010)..... | 10 |
| Tabela 2 - Tabela comparativa de desempenho mensal da máquina (Jan/22 – Jul/23). .....            | 27 |
| Tabela 3 - Tabela de desempenho anual da máquina.....   | 28 |
| Tabela 4 - Recordes alcançados após a implementação da automação de parâmetros.....               | 28 |
| Tabela 5 – Média mensal de custo/volume da máquina.....   | 29 |
| Tabela 6 – Custo/volume por período da máquina.....   | 30 |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 1  |
| 2. SOBRE A EMPRESA .....   | 2  |
| 3. MASSAS DE TAMPONAMENTO .....                                      | 3  |
| 4. MÉTODOS DE CONFORMAÇÃO.....                                       | 4  |
| 4.1 Extrusão .....   | 5  |
| 4.2 Prensagem.....   | 6  |
| 5. CICLO DE PRODUÇÃO DA MÁQUINA .....                                | 8  |
| 5.1 Pesagem .....  | 8  |
| 5.2 Mistura .....  | 8  |
| 5.3 Embalagem .....  | 9  |
| 6. FAMÍLIAS DE MASSAS .....  | 10 |
| 6.1 Família de massas baseadas em argilas refratárias.....           | 11 |
| 6.2 Família de massas de carbono.....                                | 11 |
| 6.3 Família de massas de alta alumina .....                          | 11 |
| 6.4 Família de massas isentas de carbono e baixa emissão de gás..... | 11 |
| 7. ÍNDICE DE EXTRUSÃO.....   | 12 |
| 7.1 Composição química e física .....                                | 12 |
| 7.2 Granulometria e distribuição de tamanho de partículas .....      | 12 |
| 7.3 Teor de ligantes .....   | 13 |
| 7.4 Propriedades termofísicas.....                                   | 13 |
| 7.5 Maior índice de extrusão X Menor índice de extrusão.....         | 13 |
| 8. MOTIVAÇÃO.....  | 15 |
| 9. METODOLOGIA .....   | 17 |
| 9.1 Análise preliminar e identificação de variáveis .....            | 17 |
| 9.2 Seleção de sensores e instrumentação .....                       | 17 |
| 9.3 Desenvolvimento de algoritmos de controle.....                   | 18 |
| 9.4 Integração de hardware e software .....                          | 18 |
| 9.5 Testes e validação.....  | 18 |
| 9.6 Ajustes e otimização .....                                       | 18 |
| 9.7 Implementação e monitoramento contínuo .....                     | 19 |
| 9.8 Introdução de indicadores-chave de desempenho (KPIs) .....       | 19 |
| 10. TELA DE PARÂMETROS .....   | 20 |

|      |                                  |    |
|------|----------------------------------|----|
| 10.1 | Parâmetros de conformação.....   | 22 |
| 10.2 | Parâmetros de prensagem.....     | 23 |
| 10.3 | Parâmetros de lubrificação ..... | 24 |
| 10.4 | Parâmetros especiais.....        | 25 |
| 11.  | RESULTADOS.....                  | 26 |
| 11.1 | Saving.....                      | 28 |
| 12.  | CONCLUSÃO .....                  | 30 |
| 13.  | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... | 31 |

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria siderúrgica desempenha um papel vital na economia global, fornecendo aço e seus produtos para uma ampla gama de setores industriais, desde a construção até a fabricação de automóveis e maquinários. Nesse contexto, os altos-fornos são essenciais para a produção em larga escala do ferro-gusa, que é a matéria-prima fundamental para a fabricação de aço. O processo de conformação por prensagem de massa de tamponamento para furos de corrida em altos-fornos desempenha um papel crucial na eficiência e produtividade desses fornos.

No entanto, o aumento contínuo da demanda por aço e a busca por maior eficiência têm gerado desafios significativos para a indústria siderúrgica. A necessidade de produzir mais aço em menos tempo, mantendo altos padrões de qualidade e segurança, torna imperativo aprimorar e otimizar o processo de conformação por prensagem de massa de tamponamento em altos-fornos. Uma abordagem promissora para atingir esse objetivo é a implementação da automação de parâmetros.

A automação de parâmetros envolve a aplicação de tecnologias avançadas, como inteligência artificial, aprendizado de máquina e controle automatizado, para otimizar e melhorar a eficiência de processos industriais complexos. Quando aplicada ao processo de conformação por prensagem de massa de tamponamento, a automação oferece uma série de benefícios potenciais, como redução de custos operacionais, maior padronização do produto final, aumento da qualidade do produto, diminuição de riscos operacionais e maior flexibilidade na adaptação a diferentes demandas de produção.

Nesta perspectiva, o presente trabalho tem como objetivo investigar e analisar a viabilidade e os impactos da implementação da automação de parâmetros no processo de conformação por prensagem de massa de tamponamento para furos de corrida em altos-fornos. Serão considerados aspectos fundamentais, como o desenvolvimento e adaptação de tecnologias, o estudo das variáveis e parâmetros críticos envolvidos no processo, a integração de sistemas de controle automatizado e a análise dos resultados obtidos em termos de eficiência e qualidade.

## 2. SOBRE A EMPRESA

A Shinagawa Refractories é uma empresa líder e de renome mundial na fabricação de materiais refratários de alta qualidade para a indústria siderúrgica. Com uma história que remonta a mais de um século, a empresa tem uma longa trajetória de inovação, pesquisa e desenvolvimento, tornando-se uma referência no fornecimento de soluções refratárias para os desafios extremos enfrentados pela indústria de metais.

A história da Shinagawa Refractories teve início em 1875, quando foi fundada no Japão pelo empreendedor e visionário empresarial, Shinagawa Kamezo. A empresa começou suas operações em uma pequena fábrica em Tóquio, com a produção inicial de materiais refratários para fornos de cerâmica e caldeiras. Desde então, a empresa tem percorrido uma jornada de crescimento contínuo, expandindo suas operações em todo o mundo.



Figura 1 - Filial da empresa Shinagawa Refractories em Vinhedo-SP.

O portfólio da Shinagawa Refractories abrange uma ampla gama de materiais refratários, incluindo tijolos refratários, concretos, massas de tamponamento, argamassas, fibras cerâmicas e pré-moldados especiais. Esses materiais são projetados para suportar condições extremas de temperatura, corrosão e abrasão

encontradas nos processos de produção de ferro e aço, alumínio, metais não ferrosos, cimento, vidro e outras indústrias de alto desempenho.

### **3. MASSAS DE TAMPONAMENTO**

As massas de tamponamento desempenham um papel crucial na indústria siderúrgica, especialmente no refino de aço, onde elas atuam como agentes essenciais para remover impurezas e ajustar a composição química do metal fundido. Estas massas são formuladas de maneira precisa para atender às rigorosas exigências do ambiente de alta temperatura e pressão encontrado dentro dos altos-fornos. Sua principal finalidade é proporcionar um selamento eficaz dos furos de corrida, que são canais por onde o ar é injetado para promover a combustão do coque e o processo de redução do minério de ferro.

Os altos-fornos são utilizados na produção de ferro gusa, um material vital na indústria siderúrgica. O processo envolve a fusão de minério de ferro, coque (um combustível sólido) e calcário em altas temperaturas, resultando em ferro líquido conhecido como gusa.

Para sustentar o processo, são criados furos de corrida nos quais ocorre a injeção de ar e coque. O ar insuflado promove a combustão do coque, gerando calor necessário para fundir o minério de ferro e reduzi-lo a ferro metálico. Esses furos são espaços cruciais para a introdução de materiais e gases no alto-forno. Devido às altas temperaturas, presença de substâncias corrosivas e constantes fluxos de materiais abrasivos, os furos de corrida sofrem desgaste e corrosão ao longo do tempo. Isso pode resultar em vazamentos indesejados de ar e gás, comprometendo a eficácia do processo.

Para manter as operações contínuas e evitar perdas de eficiência, é vital manter a integridade dos furos de corrida. Aqui entra a necessidade de tamponamento dos furos comprometidos. Massas de tamponamento são formulações refratárias projetadas para selar hermeticamente os furos afetados. As massas de tamponamento são desenvolvidas especificamente para resistir às condições adversas dentro dos altos-fornos, incluindo altas temperaturas, pressões e ambientes corrosivos. Elas precisam ser altamente refratárias, ter excelente aderência à superfície e resistência ao choque térmico. Após a aplicação, a massa de



tamponamento passa por um processo de cura. Isso pode envolver exposição gradual a temperaturas elevadas para garantir a solidificação adequada e a formação de uma camada refratária resistente.

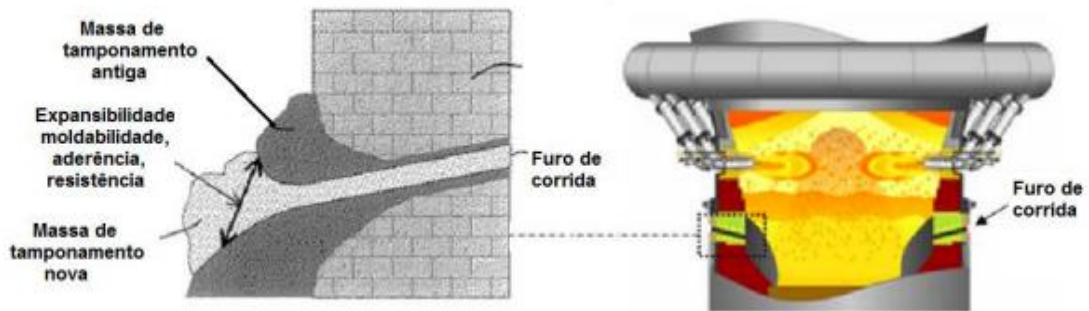


Figura 2 - Vista da estrutura da região do furo de corrida de altos-fornos (Miranda, 2014).

A escolha da massa de tamponamento adequada pode impactar diretamente a eficiência operacional e a qualidade do produto final. Uma seleção inadequada pode resultar em vazamentos de ar, o que afeta negativamente a eficiência da combustão e o rendimento do processo. Além disso, a interação entre a massa de tamponamento e o metal fundido influencia a qualidade do ferro ou aço produzido, pois uma má vedação pode resultar em contaminação do metal com impurezas do revestimento refratário.

O tamponamento bem-sucedido dos furos de corrida garante a continuidade do processo de produção de gusa, minimizando perdas de eficiência e garantindo a qualidade do produto final.

Em resumo, as massas de tamponamento são componentes vitais no processo de produção do gusa. Elas garantem a operação eficiente do alto-forno, mantendo a integridade estrutural, a vedação hermética e a qualidade do ferro ou aço produzido. O contínuo desenvolvimento dessas massas é essencial para atender às demandas da indústria siderúrgica moderna, que busca eficiência, qualidade e sustentabilidade em seus processos de produção.

#### 4. MÉTODOS DE CONFORMAÇÃO

As massas de tamponamento destinadas a vedar os furos de gusa, tem crucial importância no contexto industrial siderúrgico, ao garantir a preservação térmica e a

prevenção da entrada de oxigênio nos receptáculos de metal líquido, como nos altos-fornos. No âmbito do processo de conformação dessas massas de tamponamento, diversos métodos de conformação se fazem presentes, dos quais a extrusão desponta como prática preeminente, por razões intrínsecas ao seu funcionamento e eficácia. No entanto, no estudo em questão, o método utilizado para conformação foi o por prensagem livre (sem utilização de cavidade ou molde), método menos usual para tal tarefa, mas que permite a feitura de produtos com maior densidade, o que é positivo em relação a performance. Abaixo, segue algumas características desses 2 processos de conformação e suas vantagens.

#### 4.1 Extrusão

A extrusão, processo consagrado na conformação, caracteriza-se pelo direcionamento de um material por meio de um molde dotado de uma abertura especificamente configurada, resultando na formação de um produto que espelha a seção transversal do molde. No que concerne às massas de tamponamento para furo de gusa, a extrusão emerge como método preponderante, dadas as seguintes motivações:

- **Uniformidade:** A extrusão permite a produção de massas de tamponamento com seções transversais uniformes, garantindo um encaixe preciso nos furos de gusa.
- **Eficiência:** A operação de extrusão é automatizada e relativamente rápida, permitindo produzir grandes quantidades de massas em um curto espaço de tempo.
- **Controle de qualidade:** A natureza controlada do processo de extrusão permite monitorar e ajustar facilmente as propriedades das massas de tamponamento, como densidade e composição.
- **Redução de desperdício:** A extrusão minimiza o desperdício de material, pois o produto final é conformado diretamente na forma desejada, com menos necessidade de retrabalho.
- **Velocidade de Aplicação:** A técnica de extrusão permite aplicar a massa de tamponamento de maneira mais rápida e contínua, o que é vantajoso em situações em que a produção exige uma alta taxa de vedação de furos.

- **Menor Trabalho de Moldagem:** A extrusão elimina a necessidade de moldagem complexa, economizando tempo e recursos em comparação com o processo de prensagem.



Figura 3 - Processo de extrusão de massa de tamponamento (JC Steele & Sons, 2011)

No entanto, a extrusão pode não ser adequada para formas complexas e pode não atingir a mesma densificação que outros métodos.

#### 4.2 Prensagem

A prensagem é um outro método alternativo de conformação empregado mais raramente nessa aplicação. Envolve, na maioria dos casos, preenchimento de um molde com o material de tamponamento em pó ou granulado e a aplicação de pressão para compactá-lo na forma desejada. Embora seja menos comum do que a extrusão, a prensagem apresenta algumas vantagens:

- **Densidade e Homogeneidade:** As massas prensadas tendem a ter uma densidade mais uniforme devido ao processo de compactação durante a prensagem. Isso pode resultar em uma distribuição mais homogênea do material no interior do furo, melhorando a eficácia do tamponamento.

- **Resistência Mecânica:** Devido ao processo de prensagem, essas massas geralmente apresentam uma maior resistência mecânica. Isso pode ser vantajoso para evitar que o tamponamento seja comprimido pelo peso do metal fundido, mantendo a integridade da vedação.
- **Precisão Geométrica:** A capacidade de moldar com maior precisão é uma característica das massas prensadas. Isso resulta em um encaixe mais preciso nos furos, minimizando potenciais vazamentos ou falhas na vedação.
- **Minimização de Contaminantes:** Devido à compactação durante a prensagem, é possível reduzir a porosidade e, conseqüentemente, a penetração de contaminantes no interior da massa. Isso é crucial para manter a qualidade do ferro gusa.
- **Estabilidade Térmica:** Massas prensadas geralmente possuem melhor estabilidade térmica devido à sua estrutura mais densa. Isso permite que elas resistam a altas temperaturas sem se desintegrarem ou perderem sua capacidade de tamponamento.



Figura 4 - Tarugos de massa de tamponamento obtidos por prensagem (Sheng Iron Refractories, 2023)

Entretanto, pode ser menos adequada para peças de geometrias complexas, uma vez que a distribuição não uniforme de pressão pode resultar em não-uniformidades na densidade.

## **5. CICLO DE PRODUÇÃO DA MÁQUINA**

A máquina em questão, que se chama shinagawa assim como o nome da empresa, tem 3 macro estações, sendo elas as estações de pesagem, mistura e embalagem.

### **5.1 Pesagem**

De maneira inicial as matérias primas contidas na formulação de cada massa de tamponamento são abastecidas em até 20 silos, que efetuam a pesagem de forma totalmente automática. Após o abastecimento de todas as matérias primas necessárias em seus respectivos silos, a pesagem em si é iniciada, onde cada silo pesa de uma vez em uma esteira principal. Ao final da pesagem de todas as matérias primas, todo o montante pesado é transferido da esteira principal para um skip, que é um veículo especializado para transportar matérias-primas ou produtos acabados entre diferentes estações dentro das instalações de uma empresa.

Quando todo o montante de matérias primas é transferido da esteira principal de pesagem para o skip, este último se move de forma subterrânea até uma esteira auxiliar que leva à estação de mistura da máquina.

### **5.2 Mistura**

Após a total transferência do montante de matérias primas do skip para uma esteira auxiliar, o skip efetua 3 tombos para dentro de um dos 2 misturadores que a máquina detém, a fim de despejar as matérias primas de forma gradual. Após se atingir uma determinada porcentagem do pó no misturador, o mesmo é ligado, dando início ao seu processo de mistura das matérias primas a seco. Após um tempo de mistura a seco, que é determinado para cada diferente massa de tamponamento, é despejado uma determinada quantidade de ligante (alcatrão/resina) que também varia muito entre massas.

Após um certo tempo, também variável, o misturador cessa o seu funcionamento, onde neste momento o operador realiza o teste de extrusão na massa, a fim de verificar se a extrusão da massa em si já se encontra dentro de suas especificações individuais. No caso de o teste mostrar que a massa ainda não se encontra na faixa de extrusão previamente determinada, o misturador volta a ser ligado, onde há ações diferentes caso a extrusão esteja abaixo ou acima do especificado.

### 5.3 Embalagem

Após a massa contida no misturador se encontrar dentro da sua faixa específica de extrusão, a massa é então aprovada, e posteriormente liberada para a terceira e última estação da máquina, a estação de embalagem.

O misturador é então aberto em uma grande esteira, despejando todo o peso da mistura na mesma. Essa esteira efetua a transferência da massa, totalmente disforme, até uma prensa hidráulica uniaxial, que pouco a pouco, conforma a massa em placas, chamadas de camadas. Dessas placas, através do uso de um manipulador, são cortados cartuchos de menor espessura, que são transportados até uma esteira auxiliar, chamada esteira de alimentação. Esta esteira de alimentação faz o transporte do cartucho até a esteira de corte, que é onde uma faca de corte particiona os cartuchos provenientes da esteira auxiliar em tamanhos menores, denominados tarugos, que podem variar seu peso de 4 a 8 kg, a depender da necessidade do cliente final.

Após seccionados, estes tarugos são transportados por outra esteira para serem selados com plástico shrink (passa pelo processo de encolhimento com calor, termo encolhível). Após serem selados, passam por um túnel com altas temperaturas, para que o plástico possa de fato vir a encolher e se adaptar ao tamanho do tarugo. Após a saída do túnel, os tarugos são transportados até uma última esteira que acaba em um último operador que tem a função de acomodar os tarugos em big bags/caixas para envio ao cliente final.

## 6. FAMÍLIAS DE MASSAS

As massas de tamponamento desempenham um papel fundamental na indústria siderúrgica, quando falamos na produção do ferro gusa. Essas massas têm a responsabilidade de vedar os furos por onde o metal líquido flui, impedindo o vazamento e contribuindo para uma operação eficiente do alto-forno. A fim de atender às demandas específicas de cada aplicação e otimizar o processo, diferentes famílias de massas de tamponamento foram desenvolvidas, cada uma com suas próprias características distintas.

Tabela 1 - Atuação das principais matérias primas nas massas de tamponamento (Ribeiro, 2010)

|                                | MATÉRIAS-PRIMAS                  | FUNÇÕES PRINCIPAIS  |
|--------------------------------|----------------------------------|---|
| Agregados                      | Alumina fundida                  | Agregados de base, refratariedade. Melhora a estabilidade volumétrica da massa.   |
|                                | Chamote calcinado                | Agregados de base, refratariedade. Melhora a estabilidade volumétrica da massa.   |
|                                | Argilo-mineral                   | Melhora a plasticidade e adesão da massa na parede do cadinho. Promove a sinterização por agir como ligante cerâmico.   |
|                                | Cianita                          | Expansão (>1200 °C).  |
|                                | Agalmatolito                     | Promove expansão entre 800 e 1200 °C e aumenta a plasticidade da massa facilitando sua injeção no FG.   |
|                                | Alumina-zircônia                 | Aditivos especiais para prevenir spalling e corrosão.   |
| Fontes de carbono              | Grafita                          | Resistência à corrosão, facilita injetabilidade   |
|                                | Negro de fumo                    | Resistência à corrosão / erosão, vedação de trincas.  |
|                                | Finos de coque                   | Aumenta a porosidade / permeabilidade, facilitando o desprendimento de voláteis e perfuração. Aumenta a resistência à corrosão.                               |
|                                | Piche sólido                     | Reduz a porosidade e em consequência a infiltração de escória.  |
| Aditivos especiais             | Carbeto de silício               | Resistência à corrosão. Contribui para reduzir a oxidação dos outros materiais carbonáceos.   |
|                                | Nitreto de ferro silício         | Resistência à erosão / corrosão.  |
| Pós-metálicos (anti-oxidantes) | Alumínio, silício, ferro-silício | Contribui para reduzir a oxidação dos materiais carbonáceos. Resistência à erosão. Garante melhor sinterabilidade e aumento da resistência mecânica a quente. |
| Ligantes                       | Piche / resina / óleos especiais | Ligantes; aglomerantes; coesão; injetabilidade.   |

### 6.1 Família de massas baseadas em argilas refratárias

Essa família de massas é frequentemente utilizada devido à sua disponibilidade e custo relativamente baixo. As massas baseadas em argilas refratárias geralmente possuem um índice de extrusão médio, o que as torna adequadas para aplicações em temperaturas moderadas. A presença de argilas refratárias como componente principal confere a essas massas uma boa plasticidade e coesão, facilitando o processo de extrusão.

### 6.2 Família de massas de carbono

Massas de tamponamento que incorporam carbono em sua composição são conhecidas por suas excelentes propriedades condutoras e resistência a altas temperaturas. Essas massas são frequentemente usadas em regiões do alto-forno sujeitas a temperaturas extremamente elevadas e ao contato direto com o metal líquido. O índice de extrusão dessas massas pode variar dependendo da quantidade de carbono e outros materiais condutores presentes na formulação.

### 6.3 Família de massas de alta alumina

Massas de tamponamento de alta alumina são formuladas com teores elevados de alumina, conferindo-lhes excelente resistência à corrosão e altas temperaturas. Essas massas são ideais para regiões do alto-forno expostas a ambientes quimicamente agressivos. Devido à sua alta concentração de alumina, essas massas podem apresentar índices de extrusão variáveis, dependendo da granulometria e do teor de ligantes.

### 6.4 Família de massas isentas de carbono e baixa emissão de gás

Com o crescente foco na redução de emissões de gases, as massas de tamponamento isentas de carbono têm ganhado destaque. Essas massas são projetadas para minimizar a emissão de gases nocivos durante a operação do alto-forno. Seu índice de extrusão pode variar significativamente devido à formulação inovadora que visa manter a coesão sem o uso de carbono.



## 7. ÍNDICE DE EXTRUSÃO

As variações de índice de extrusão entre essas famílias de massas estão diretamente relacionadas à composição química, granulometria, teor de ligantes e propriedades termofísicas específicas de cada formulação. A complexidade do processo de extrusão, influenciada pelas características das matérias-primas e da formulação final, contribui para essas variações. Portanto, é crucial selecionar a família de massas adequada com base nas necessidades de operação do alto-forno, levando em consideração a temperatura, a pressão e as características do metal líquido.

A análise das variações de índice de extrusão entre as diversas famílias de massas de tamponamento é fundamental para compreender como a composição e as propriedades dessas massas impactam sua capacidade de serem conformadas e moldadas durante o processo de fabricação. O índice de extrusão, que mede a facilidade com que uma massa pode ser extrudada através de um molde, é influenciado por diversos fatores que variam de acordo com a família de massa em questão.

### 7.1 Composição química e física

A composição química das massas de tamponamento desempenha um papel crucial nas variações de índice de extrusão. Famílias de massas com diferentes proporções de materiais, como argilas refratárias, carbono, alumina e outros aditivos, resultam em comportamentos distintos durante a extrusão. Por exemplo, massas ricas em alumina tendem a apresentar menor plasticidade, o que pode influenciar negativamente o índice de extrusão, enquanto massas que contêm carbono podem ter uma extrusão mais suave devido à sua propriedade lubrificante.

### 7.2 Granulometria e distribuição de tamanho de partículas

A granulometria das partículas de cada família de massa também desempenha um papel vital no índice de extrusão. Massas com partículas mais finas tendem a ter uma maior coesão e menor taxa de fluxo, resultando em índices de extrusão mais altos. Por outro lado, partículas maiores podem conferir uma maior fluidez e um índice

de extrusão baixo. A distribuição das partículas também afeta a compactação e o fluxo da massa durante a extrusão.

### 7.3 Teor de ligantes

A quantidade e o tipo de ligantes presentes na composição das massas têm um impacto direto nas variações do índice de extrusão. Ligantes orgânicos ou inorgânicos são usados para conferir coesão e plasticidade à massa. Famílias de massas com teores de ligantes mais elevados tendem a exibir uma maior adesão entre as partículas, o que pode resultar em índices de extrusão mais baixos. Ligantes insuficientes, por outro lado, podem levar a uma extrusão mais difícil devido à falta de coesão.

### 7.4 Propriedades termofísicas

As propriedades termofísicas, como a condutividade térmica e a expansão térmica, também podem influenciar as variações de índice de extrusão. Famílias de massas com maior condutividade térmica podem ser mais suscetíveis a variações de temperatura durante a extrusão, afetando assim o fluxo da massa. A expansão térmica das partículas pode influenciar a deformação e a compactação da massa durante o processo.

### 7.5 Maior índice de extrusão X Menor índice de extrusão

Como salientado anteriormente, são produzidas mais de 30 tipos diferentes de massas de tamponamento na empresa, sendo que cada uma tem uma formulação e uma extrusão singular, o que inviabiliza o uso de um programa único de parâmetros automáticos para conformação de todas as massas, haja vista que as massas apresentam notáveis diferenças entre si. A título de exemplo, uma massa com um índice de extrusão 40 indica que ela tem uma baixa capacidade de fluir e ser moldada durante o processo de extrusão. Nesse caso, a massa é menos propensa a deformar-se facilmente e preencher as cavidades do molde. Isso pode resultar em dificuldades na obtenção de uma conformação precisa e uniforme. Algumas diferenças notáveis ao conformar essa massa são:

- **Resistência à Deformação:** A massa com índice de extrusão 40 tem uma coesão mais elevada e maior resistência à deformação. Isso pode requerer mais força e pressão durante o processo de extrusão para vencer essa resistência e obter uma forma desejada.
- **Necessidade de Maiores Forças de Pressão:** Devido à baixa fluidez, o processo de conformação pode ser mais desafiador, exigindo maiores forças de pressão para alcançar a forma final desejada. Isso pode afetar a eficiência do processo e a vida útil dos equipamentos.
- **Moldagem Precisa e Detalhada:** A massa com índice de extrusão 40 pode ter dificuldade em preencher detalhes complexos do molde, o que pode resultar em produtos finais com acabamento menos preciso e detalhado.

Exemplificando um outro extremo, uma massa com índice de extrusão 2 indica que ela tem uma alta capacidade de fluir e se adaptar ao molde durante o processo de extrusão. Isso significa que a massa é mais maleável e se conformará facilmente às cavidades do molde, resultando em um processo mais suave e eficiente. Algumas diferenças notáveis ao conformar essa massa são:

- **Fluidez e Moldagem Facilitada:** A massa com índice de extrusão 40 possui alta fluidez e se adapta com mais facilidade às formas do molde. Isso resulta em uma conformação mais uniforme e precisa, especialmente em detalhes complexos.
- **Menores Forças de Pressão Necessárias:** A fluidez dessa massa reduz a necessidade de aplicar altas forças de pressão, o que pode tornar o processo de conformação mais eficiente e econômico.
- **Melhor Acabamento de Superfície:** Devido à maior capacidade de preenchimento dos detalhes do molde, a massa com índice de extrusão 2 é mais propensa a produzir produtos finais com um acabamento de superfície mais suave e refinado.

Em resumo, a diferença no índice de extrusão afeta diretamente a capacidade de uma massa de se conformada, seja qual for o método de conformação adotado. Um índice de extrusão mais alto resulta em uma massa mais rígida e menos fluída, enquanto um índice mais baixo indica uma massa mais maleável e fluída, facilitando a conformação da mesma.

## 8. MOTIVAÇÃO

Assim sendo, a vista de todo o supracitado, pela existência de uma grande diversidade de massas a serem produzidas, houve então a necessidade de criação de parâmetros de conformação individuais para cada tipo de massa, haja vista que um programa único de parâmetros não irá atender de forma eficiente todas as diferentes massas produzidas.

Nesse contexto, a automação de parâmetros emerge como uma solução promissora para superar os desafios intrínsecos a esse processo e alcançar níveis elevados de desempenho.

A indústria siderúrgica é caracterizada por operações complexas, onde pequenas variações nos processos podem resultar em impactos significativos sobre a qualidade do produto final, eficiência energética e custos operacionais.

A automação de parâmetros surge como uma alternativa inovadora para enfrentar esses desafios e elevar a eficiência desse processo. A otimização manual tradicional muitas vezes se torna insuficiente diante da complexidade e da velocidade de mudanças nos parâmetros operacionais. A introdução da automação permite monitorar e controlar esses parâmetros de forma contínua e em tempo real, proporcionando uma abordagem adaptativa e precisa.

A otimização de parâmetros por meio da automação traz consigo diversas vantagens:

- **Melhoria da qualidade:** A automação de parâmetros no processo de conformação de massas de tamponamento oferece uma oportunidade notável para aprimorar a qualidade do produto final. Ao eliminar a influência de variações humanas e imprecisões na operação manual, essa abordagem pode levar a melhorias substanciais em termos de consistência, precisão e uniformidade.

- **Aumento da produtividade:** A introdução da automação de parâmetros no processo de conformação por prensagem de massa de tamponamento para furos de corrida em altos-fornos não apenas eleva a qualidade do produto final, mas também tem um impacto substancial na produtividade. A otimização dos tempos de ciclo e a redução das intervenções manuais são elementos-chave que podem resultar em um aumento significativo na produção.
- **Redução de Custos:** A automação de parâmetros nesse processo também desencadeia uma série de impactos positivos na redução de custos. Ao minimizar desperdícios de material, otimizar a eficiência energética e eliminar erros humanos, essa abordagem pode resultar em economias substanciais.
- **Controle e Rastreabilidade:** Este projeto também representa um salto significativo no controle sobre todo o processo produtivo. Essa abordagem não apenas permite a captura de dados precisos, mas também facilita a rastreabilidade das etapas, possibilitando a identificação de problemas e tomada de decisões.
- **Otimização do processo:** A automação dos parâmetros desempenha um papel crucial na otimização global desse procedimento. Através da análise em tempo real dos parâmetros e da capacidade de ajustes automáticos, essa abordagem pode resultar em um processo mais eficiente e adaptável, promovendo uma série de benefícios.
- **Implementação de robô:** Atualmente os tarugos são alocados nos bags/caixas de forma manual pelo operador. Com a implementação de um robô no lugar do operador, o processo de preenchimento dos bags pode ser feito de forma mais rápida e eficiente. No entanto, para que o mesmo possa ser implementado, faz-se necessário uma excelente padronização dos tarugos, onde, nesse contexto, a automação dos parâmetros de conformação seria determinante para alcançar esse patamar.

Em resumo, a automação de parâmetros no processo de conformação de massas de tamponamento oferece uma abordagem moderna e eficaz para superar os desafios enfrentados pela indústria siderúrgica. A capacidade de otimizar parâmetros de forma contínua, adaptativa e precisa tem o potencial de melhorar significativamente a eficiência operacional, a qualidade do produto final e a competitividade da empresa, enquanto contribui para práticas mais sustentáveis e conscientes dos impactos ambientais.

## **9. METODOLOGIA**

A implementação da automação de parâmetros para o processo de conformação de massas envolve diversas etapas cruciais, que vão desde a análise preliminar até a efetiva integração dos sistemas automatizados. A seguir, segue as etapas deste processo:

### **9.1 Análise preliminar e identificação de variáveis**

A primeira etapa consistiu em realizar uma análise completa do processo vigente de conformação por prensagem de massas de tamponamento. Nesse estágio, foi essencial identificar as variáveis críticas que influenciam diretamente na qualidade e eficiência do processo. Algumas das variáveis críticas presentes no processo são pressão de prensagem, índice de extrusão, número de prensagens, tempo em prensagem, quantidade de massa por prensagem, número de camadas por mistura, etc.

### **9.2 Seleção de sensores e instrumentação**

Com todas as variáveis previamente identificadas, a próxima etapa envolve a seleção dos sensores e instrumentação adequados para monitorar essas variáveis em tempo real. A escolha dos sensores deve ser baseada na precisão, confiabilidade e capacidade de capturar dados relevantes. Por exemplo, sensores de pressão, termopares e dispositivos de medição de umidade podem ser utilizados para coletar dados essenciais.

### 9.3 Desenvolvimento de algoritmos de controle

Uma vez que os sensores estejam em vigor, é necessário desenvolver algoritmos de controle que processem os dados coletados e tomem decisões automatizadas. Esses algoritmos podem ser baseados em lógica programada, técnicas de controle PID (Proporcional, Integral e Derivativo) ou até mesmo algoritmos de aprendizado de máquina, dependendo da complexidade do processo e da precisão desejada.

### 9.4 Integração de hardware e software

A etapa de integração envolve a conexão dos sensores ao sistema de controle, que pode ser composto por controladores lógicos programáveis (CLPs), microcontroladores ou sistemas de computador dedicados. Além disso, o software de controle deve ser desenvolvido para permitir a comunicação entre os sensores, os algoritmos de controle e os atuadores responsáveis por ajustar os parâmetros do processo.

### 9.5 Testes e validação

Antes da implementação completa, é fundamental realizar testes exaustivos em condições variadas. Isso inclui testes sob diferentes cargas, variações de temperatura e situações de falha simulada. Os resultados desses testes são comparados com os métodos tradicionais para garantir que a automação de parâmetros atenda aos padrões de qualidade e eficiência estabelecidos.

### 9.6 Ajustes e otimização

Com base nos resultados dos testes, é provável que seja necessário realizar ajustes finos nos algoritmos de controle e nos limites dos parâmetros. Esses ajustes visam otimizar o desempenho do processo de conformação por prensagem de massa de tamponamento e melhorar a adaptação a diferentes condições de operação.

## 9.7 Implementação e monitoramento contínuo

Após os ajustes finais, a automação de parâmetros é implementada no processo real. A partir desse ponto, o sistema automatizado monitora constantemente as variáveis-chave e toma decisões em tempo real para otimizar o processo de conformação por prensagem. Um monitoramento contínuo é essencial para identificar possíveis desvios e garantir que o sistema automatizado funcione de maneira eficaz ao longo do tempo.

## 9.8 Introdução de indicadores-chave de desempenho (KPIs)

A introdução de Indicadores-Chave de Desempenho (KPIs) desempenha um papel crucial na metodologia de implementação da automação de parâmetros. Esses indicadores fornecem uma maneira objetiva e mensurável de avaliar o sucesso do projeto, monitorar a eficácia do sistema automatizado e garantir que os objetivos estabelecidos sejam alcançados.

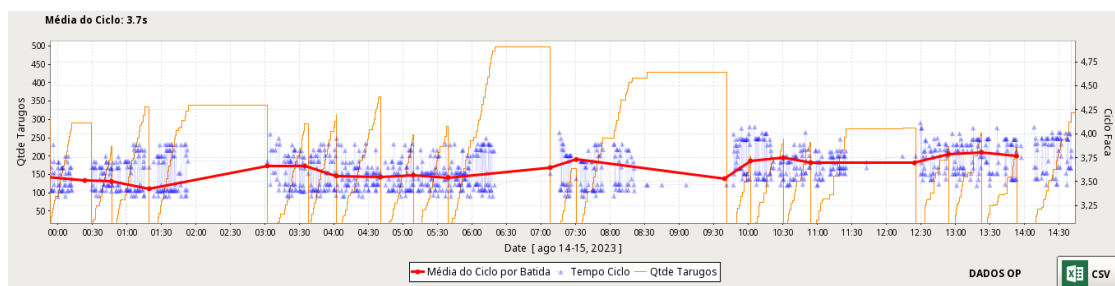


Figura 5 - KPI de tempo de ciclo.

Em resumo, a metodologia para implementação da automação de parâmetros no processo de conformação por prensagem de massa de tamponamento é uma abordagem complexa e multietapas que envolve análise detalhada, seleção de sensores, desenvolvimento de algoritmos, integração de hardware e software, testes rigorosos e otimização contínua. Cada uma dessas etapas é essencial para garantir que a automação resulte em melhorias tangíveis no desempenho do processo de conformação.



## 10. TELA DE PARÂMETROS

A fim de contextualização, em dezembro de 2022 houve uma massiva automatização no tocante à estação de embalagem da máquina, como foco principal na parte de conformação em si. Dessa forma, após a entrega da máquina por conta dos setores de manutenção e automação para a produção, eu sendo do departamento de processos e responsável pelo setor no qual a máquina se encontra, fiquei com a responsabilidade de determinar todos os parâmetros para retirada de cada tipo de produto na máquina, onde atualmente há pouco mais de 30 formulações ativas. Tal tarefa é deveras complexa, em vista de que para se padronizar todas as famílias de massa de tamponamento faz-se necessário que todas sejam produzidas, dependendo-se de pedidos de clientes para todas para que se possa dar a tarefa como 100% concluída. Dessa forma, justifica-se o maior tempo dispendido para a entrega total do projeto, que levou cerca de 4 meses para a total implementação.

Antes de adentrarmos acerca de cada grupamento de parâmetros, é importante delimitar bem o que é cada nomenclatura que será largamente utilizada na explicação posterior de cada parâmetro implementado.

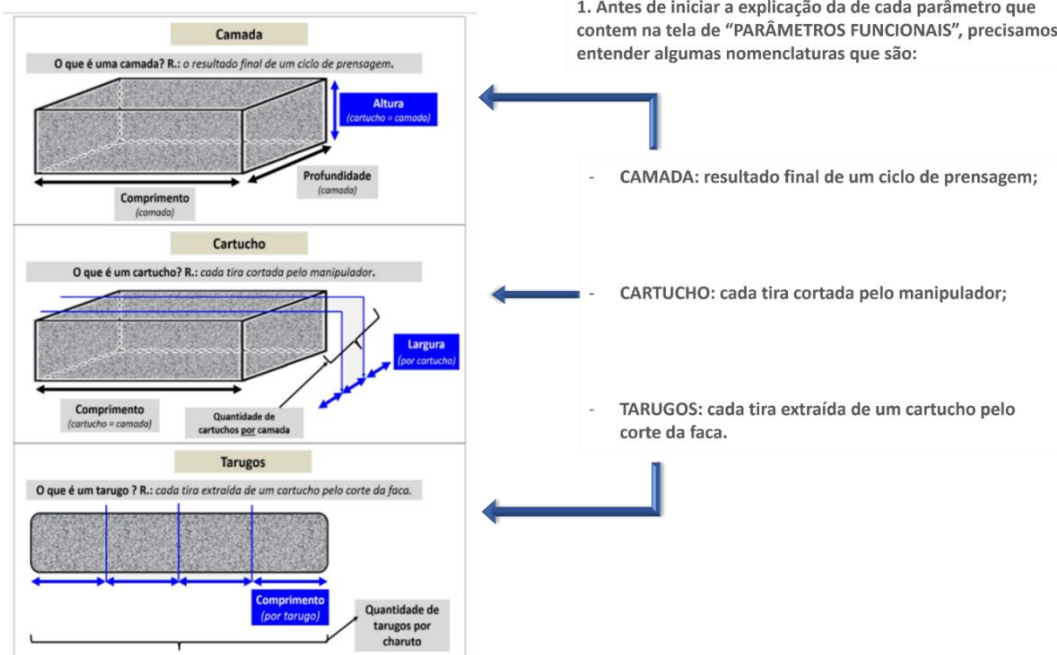


Figura 6 - Definição de camada, cartucho e tarugo na concepção do processo.

Uma vez explicadas as nomenclaturas básicas, os parâmetros por massa podem ser subdivididos em 4 grandes grupos: parâmetros posicionais do sistema de conformação, parâmetros de prensagem, parâmetros de lubrificação e parâmetros especiais, como representados na figura abaixo:



Figura 7 - Tela geral de parâmetros.

Antes de adentrarmos sobre cada grupamento de parâmetros, é importante explicar a parte de cima da tela de parâmetros, que diz respeito à seleção da família de parâmetros. Como dito anteriormente, Há diferentes tipos de massa de tamponamento que são produzidas na máquina, logo, foi criada uma família de parâmetros específica para cada diferente massa, que é carregada no sistema assim que a determinada massa entra em produção.

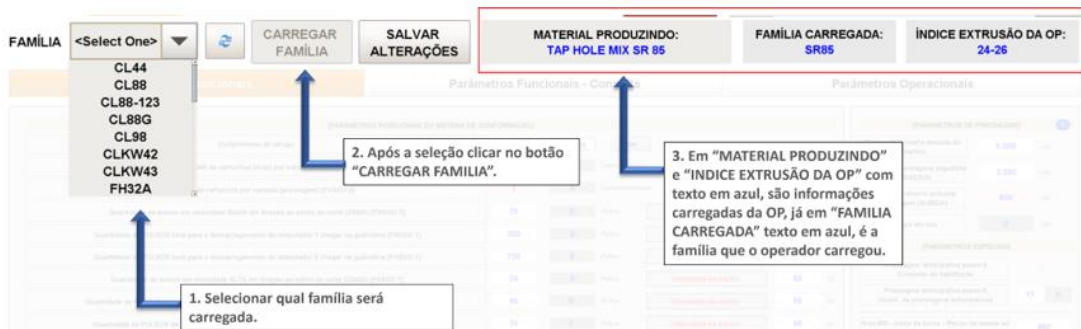


Figura 8 - Procedimento de escolha de família de parâmetros.

## 10.1 Parâmetros de conformação

Os parâmetros posicionais são os mais importantes e críticos dentre os 4 grupos citados, em vista de eles serem o ponto principal da automatização da retirada da massa da máquina. Tal grupo de parâmetros define, entre outros vários pontos, a quantidade de pulsos da esteira para levar a um determinado peso de tarugo, quantidade máxima de tiras de massa retiradas por batida, quantidade de cartuchos de massa por batida, quantidade máxima de tentativas de prensagem, quantidade de pulsos da esteira em direção à guilhotina para preparar uma nova camada, etc.

The screenshot shows a software interface for 'Parâmetros Funcionais' (Functional Parameters) under the sub-heading '(PARÂMETROS POSICIONAIS DO SISTEMA DE CONFORMAÇÃO)'. The interface includes a table of parameters and several control buttons. Seven numbered callouts provide detailed explanations for specific parameters:

- 1.** Podemos escolher se o corte da faca será feito por comprimento ou por tempo, neste caso está selecionado o campo "tempo" de 450ms, repare que o retângulo desse campo está em negrito, se o botão "mm" for pressionado o retângulo em negrito vai para o campo de 1 mm, os campos de 1 mm e 450ms são editáveis.
- 2.** Quantidade MÁXIMA de cartuchos (tiras) por batida (mistura), o campo da esquerda é o set-point, já o campo da direita mostra quantos cartuchos já foram cortados.
- 3.** Quantidade de cartuchos por camada, neste caso está definido que, cada camada que a prensa gerar o manipulador vai cortar 7 cartuchos. No campo da direita mostra que já foram cortados 3 cartuchos.
- 4.** Saindo da velocidade alta (item 7) a ESTEIRA PRINCIPAL (ZCY410) entra na velocidade lenta 20Hz, contando 25 pulsos com objetivo de chegar no sensor Z5420.
- 5.** Quantidade de PULSOS total que a ESTEIRA PRINCIPAL (ZCY410) conta até a mistura que foi descarregada do M1 chegar na guilhotina.
- 6.** Quantidade de PULSOS total que a ESTEIRA PRINCIPAL (ZCY410) conta até a mistura que foi descarregada do M2 chegar na guilhotina.
- 7.** Após a prensa gerar a camada a guilhotina irá subir e com isso a ESTEIRA PRINCIPAL (ZCY410) irá avançar 20 pulsos na velocidade de 60Hz (alta) sentido horário e depois passar para baixa (item 4.).

Figura 9 - Parâmetros de conformação (parte 1).

Tem-se que quando a massa é aprovada no misturador, ela é liberada para corte e embalagem, onde todo o peso da batida, algo em torno de 1300 kg, é despejado em uma esteira, onde tal massa está totalmente disforme. Após o peso da batida ser totalmente transferido do misturador para esteira principal, tal esteira anda pulsos o suficiente para alcançar a guilhotina, e depois ser prensada. É importante salientar que o quanto a massa vai andar na esteira é um parâmetro crítico, em vista de que se a massa andar muito pouco, não haverá massa suficiente pra ser prensada, resultando em um cartucho de massa totalmente falhado e impróprio para embalagem posterior, ao passo que se a massa andar muito na esteira haverá muita

massa a ser prensada de uma só vez, o que irá resultar em um número muito grande de prensagens para o atingimento da altura ideal para o cartucho, o que é deletério no tocante a tempo e produtividade.

Dessa forma, faz-se necessário que o número de pulsos que a esteira anda com a massa seja bem preciso a ponto de colocar uma quantidade ideal de massa para ser prensada, o que é algo bem complexo, em vista de que em cada batida a massa cai de maneira diferente do misturador, e a densidade e o índice de extrusão são diferentes entre massas.

The screenshot displays a software interface for configuring functional parameters. The main table lists various parameters with their values and units. Numbered callouts (8-13) provide detailed explanations for specific settings:

- 8:** After item 3 is finalized (7 of 7 cartridges cut), the MAIN CONVEYOR will move back 40 pulses at 60Hz.
- 9:** When the guillotine is lowered, the MAIN CONVEYOR will move forward in the direction of the guillotine for 35 pulses at 60Hz to prepare a new layer.
- 10:** The maximum number of pressing attempts (8) is set. If it is not reached, the MAIN CONVEYOR will return to item 12.
- 11:** The value of 8 refers to the maximum number of pressings to reach the layer height. 15 is the number of pressings anticipated to the value of 8 (see items 18 and 19).
- 12:** After the maximum number of attempts (item 11) is reached and the height is not yet reached, the MAIN CONVEYOR will return 8 pulses and return to item 11.
- 13:** This item is a safety feature. If the MAIN CONVEYOR is running in reverse (return) for 60 seconds, the system will stop the motor.

Figura 10 - Parâmetros de conformação (parte 2).

Com a automação desse grupamento de parâmetros em específico, a precisão dos parâmetros é elevada a um nível praticamente inatingível manualmente, resultando em produtos mais consistentes e dentro das especificações desejadas.

## 10.2 Parâmetros de prensagem

Os parâmetros de prensagem se fazem importantes no tocante ao atingimento da altura ideal por cartucho de massa e também para uma maior homogeneização do cartucho em relação a forma. Alguns dos parâmetros que devem ser definidos neste grupamento são tempo da primeira descida do martelo, tempo das prensagens seguintes (descida), tempo de retorno da próxima prensagem (subida), etc.

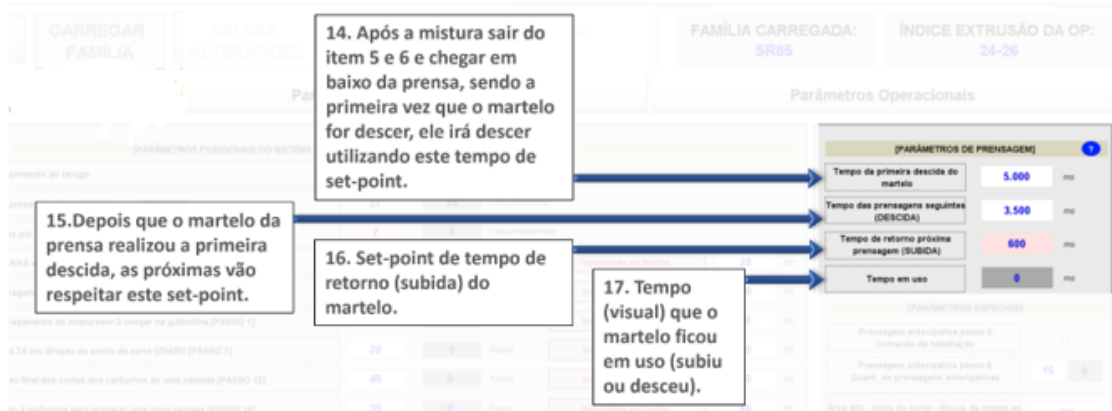


Figura 11 - Parâmetros de prensagem.

A escolha de correta desses parâmetros é crucial para que se otimize o processo de conformação, haja vista que a escolha errada desses parâmetros acarretará em maior tempo perdido por prensagem, e até conformação precária da massa, como nos casos onde a massa mal prensada acaba por se esfarelar. É importante ressaltar que diferentemente de como acontece em outras máquinas que se fazem apenas uma prensagem para o atingimento da altura final, são necessárias várias prensagens para atingimento da altura ideal da camada, onde massas mais moles (menor índice de extrusão) necessitam de menos prensagens frente a massas mais duras (maior índice de extrusão).

### 10.3 Parâmetros de lubrificação

O terceiro grupo de parâmetros diz respeito à lubrificação da massa, e que controla a lubrificação tanto em quantidade quanto em frequência de diversos elementos, tais como esteira principal, garra e espetos, martelo da prensa, empurrador, faca, etc. Quando a lubrificação em quantidade e frequência é menor do que deveria, a massa gruda nos elementos da máquina, dificultando muito o processo de conformação, corte e embalagem da mesma. No caso de a lubrificação ser muito alta, a massa fica com muito óleo, sendo deletério tanto do ponto de vista de embalagem, quanto do de custo.

Tem-se que quando a massa tem um índice de extrusão muito baixo, (inferior a 5), a massa tende a cada vez mais aderir aos diferentes elementos de máquina (esteira, prensa, manipulador, faca, empurrador), o que acaba por dificultar consideravelmente a conformação dessas massas. Assim sendo, é de suma

importância para essas massas que a lubrificação esteja correta, a fim de evitar grandes dificuldades no tocante à conformação da massa.

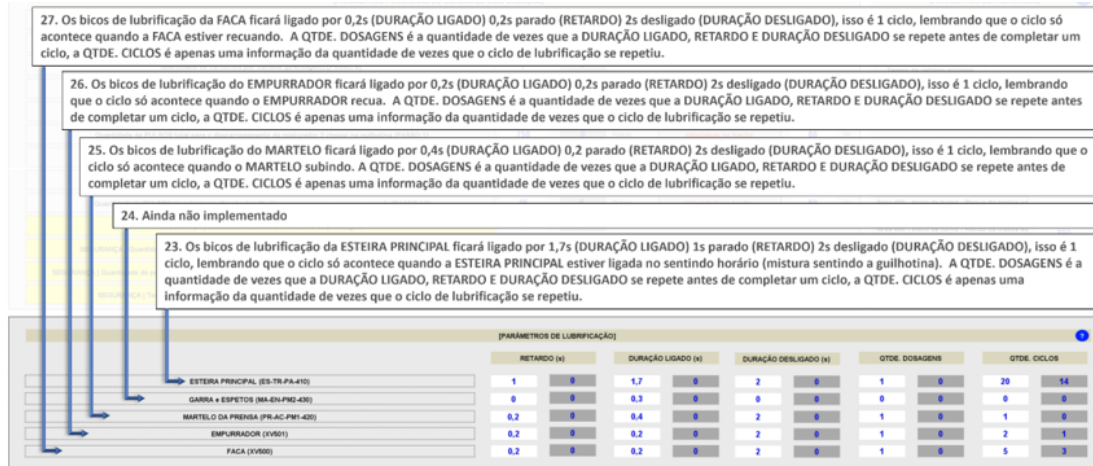


Figura 12 - Parâmetros de lubrificação.

Anteriormente ao projeto de automação, considerável parcela dos problemas que impactavam a produtividade da máquina estava atrelado com a produção de massas moles, que por conta de uma lubrificação inadequada, apresentavam incontáveis problemas no tocante à conformação e embalagem. Assim sendo, com a total automação desse grupamento de parâmetros, e criação de parâmetros individuais por massa, todos os problemas dessa natureza foram permanentemente sanados.

#### 10.4 Parâmetros especiais

O quarto e último grupo de parâmetros diz respeito a parâmetros especiais, que só são utilizados em situações de pouca frequência, tais como início de turno e final de turno, onde os mesmos não têm a mesma importância dos outros 3 grupos supracitados.

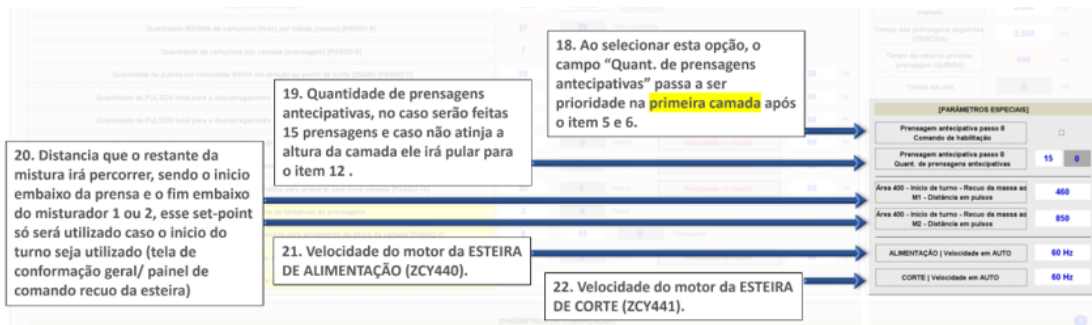


Figura 13 - Parâmetros especiais.

## 11.RESULTADOS

Após a entrega do projeto, no início do mês de março de 2023, o desempenho da máquina nos 5 meses seguintes foi muito positivo em diversos aspectos.

Uma das conquistas mais notáveis foi o impacto direto da automação de parâmetros nos recordes de volume mensal e produtividade. Ao permitir ajustes precisos e imediatos dos parâmetros de conformação, observamos um aumento substancial na quantidade de massa de tamponamento processada por período. Essa melhoria contínua também levou a recordes significativos em termos de produtividade, demonstrando a eficácia da abordagem.

A fins de esclarecimento, os dados a seguir, que corroboraram a melhoria do processo produtivo, estão dispostos de forma a não revelar informações sensíveis de produtividade, volume e custos da empresa.

Tabela 2 - Tabela comparativa de desempenho mensal da máquina (Jan/22 – Jul/23).

| MESES  | TURNOS | PRODUTIVIDADE (%) | TEMPO EM PRODUÇÃO (H) |
|--------|--------|-------------------|-----------------------|
| jul/23 | 3      | 6,92              | 279,68                |
| jun/23 | 3      | 0,15              | 294,25                |
| mai/23 | 3      | 2,15              | 241,65                |
| abr/23 | 3      | 8,92              | 278,78                |
| mar/23 | 2      | 6,15              | 264,78                |
| fev/23 | 2      | -8,77             | 185,27                |
| jan/23 | 2      | -5,38             | 229,88                |
| dez/22 | 2      | 1,08              | 167,75                |
| nov/22 | 2      | 0,46              | 194,95                |
| out/22 | 2      | -8,46             | 206,23                |
| set/22 | 2      | 3,38              | 206,42                |
| ago/22 | 3      | -6,62             | 272,18                |
| jul/22 | 2      | -3,85             | 229,80                |
| jun/22 | 3      | -8,31             | 358,18                |
| mai/22 | 3      | -24,15            | 282,18                |
| abr/22 | 3      | -7,54             | 170,93                |
| mar/22 | 3      | -14,15            | 359,98                |
| fev/22 | 3      | -12,31            | 239,80                |
| jan/22 | 2      | -14,31            | 190,82                |

A tabela acima mostra em termos de produtividade, como foi o desempenho mensal da máquina, tendo como parâmetro um valor de meta fixa. Comentando criticamente sobre a tabela em questão, podemos analisar que os 5 meses seguintes após a entrega do projeto de automação de parâmetros conseguiram bater a meta mensal estipulada de produtividade. Também podemos verificar, que em um histórico recente, antes do projeto, a máquina na grande maioria das vezes não conseguia atingir a meta de produtividade mensal, sendo que em 2022 apenas 3 dos 12 meses atingiram a meta mínima de produtividade, ao passo que após o projeto, todos os 5 meses atingiram a produtividade necessária.

Além disso, nesse período em específico, houve um volume de produção bem expressivo, com média mensal 17,1% superior à média mensal do melhor ano em volume (2021). Ademais, como mostrado na tabela abaixo, os meses precedentes ao projeto apresentaram volume de produção significativamente inferior, com tempos de produção por vezes maiores que os atuais.



Tabela 3 - Tabela de desempenho anual da máquina.

| PERÍODOS        | MÉDIA MENSAL VOLUME (%) | MÉDIA MENSAL PROD. (%) | % MESES ACIMA DA MÉTRICA | PRODUÇÃO ANUAL (%) |
|-----------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------|
| 2020            | ( - 31,1%)              | ( - 11,14%)            | 8,33% (1/12)             | ( - 29,02%)        |
| 2021            | ( - 17,1%)              | ( - 9,68%)             | 25% (3/12)               | ( - 15,96%)        |
| 2022            | ( - 22,42%)             | ( - 12,17%)            | 25% (3/12)               | ( - 20,96%)        |
| 2023            | ( - 7,2%)               | ( - 3,37%)             | 71,43% (5/7)             | ( - 6,72%)         |
| Mar/23 - Jul/23 | ***                     | ***                    | 100% (5/5)               | ***                |

A tabela acima mostra, por período, os números da máquina em termos de volume e produtividade, comparando os números do período pós projeto com os números dos períodos precedentes. Fazendo uma análise da tabela acima, podemos verificar que desde 2020, as metas de produtividade da máquina não eram atingidas em quase toda a totalidade dos meses, tendo também volumes médios mensais abaixo do esperado. Quando comparamos as médias de desempenho dos 3 anos anteriores com o período de 5 meses pós-automação, é possível atestar, de forma cristalina, uma melhora de desempenho muito significativa tanto no tocante à média de volume de produção, quanto à média de produtividade.

A título de exemplo, comparando as médias obtidas do melhor ano da companhia, no caso 2021, com as médias do período pós-automação, verificamos que o período de março a julho deste ano foi superior em todas as médias, 17,1% na média mensal de volume, 9,68% na média mensal de produtividade, 75% a mais dos meses com produtividade acima da meta, e volume previsto no ano 15,96% maior.

Tabela 4 - Recordes alcançados após a implementação da automação de parâmetros.

| MARÇO/23 - JULHO/23  |
|--|
| Recorde de produção mensal em 2 turnos: Mar/23   |
| Recorde absoluto de produção por turno   |
| Recorde de Produção diário em 2 turnos   |
| Recorde de produção diário em 3 turnos   |
| Recorde de produção no 1º turno  |
| Recorde de produção no 2º turno  |
| Recorde de produção no 3º turno  |
| Recorde de produtividade mensal: Abr/23 (9% acima da métrica)  |
| Maior média mensal de volume por período: (17,1% maior que a média do melhor ano (2021))                       |
| Maior média mensal de produtividade por período: (9,7% maior que a média do melhor ano (2021))                 |
| 100% dos meses atingiram a métrica estipulada (dos 38 meses anteriores, apenas 7 atingiram, 18,42% do período) |

## 11.1 Saving

Tem-se que a economia de custos, também conhecida como “Saving”, está relacionada a qualquer ação que reduza os gastos recorrentes ou os níveis de endividamento. O Saving pode ser usado como um indicador (KPI) para os setores

financeiro e de compras e é extremamente benéfico para empresas no que diz respeito às suas finanças.

Anteriormente, a companhia enfrentava desafios significativos com “savings” negativos na máquina. No entanto, este projeto buscou reverter esse cenário, promovendo economias mensuráveis que tiveram um impacto positivo em toda a operação, como mostrado na tabela abaixo de forma mensal:

Tabela 5 – Média mensal de custo/volume da máquina.

| Meses  | Despesas/Volume (R\$/Kg) |
|--------|--------------------------|
| jan/22 | 1,24                     |
| fev/22 | 1,05                     |
| mar/22 | 0,68                     |
| abr/22 | 1,28                     |
| mai/22 | 1,49                     |
| jun/22 | 0,85                     |
| jul/22 | 0,89                     |
| ago/22 | 0,75                     |
| set/22 | 1,01                     |
| out/22 | 0,99                     |
| nov/22 | 1,39                     |
| dez/22 | 1,44                     |
| jan/23 | 0,96                     |
| fev/23 | 1,23                     |
| mar/23 | 0,82                     |
| abr/23 | 0,93                     |
| mai/23 | 0,96                     |
| jun/23 | 0,87                     |
| jul/23 | 0,85                     |

Realizando uma análise por período, comparando o ano de 2022 com o período de 5 meses pós-automação, podemos verificar que anteriormente a máquina apresentava como média mensal de saving, um valor negativo, ou seja, em relação a despesas, a máquina não era produtiva o suficiente para absorver os custos de operação, gerando prejuízo para companhia nesse indicador específico. Quando passamos a analisar o período pós-automação, a mesma apresentou uma média mensal de saving positiva. Tais números são exemplificados na tabela abaixo através da análise da razão custo/volume :

Tabela 6 – Custo/volume por período da máquina.

| BALANÇO         |                                |
|-----------------|--------------------------------|
| Períodos        | Média/mês<br>(Despesas/Volume) |
| 2022            | 1,09                           |
| Set/22 - Jan/23 | 1,16                           |
| 2023            | 0,94                           |
| Mar/23 - Jul/23 | 0,89                           |

Acima, podemos ver que a relação custo/volume no período pós projeto é 23,3% menor que o último período de 5 meses que precedeu a automação dos parâmetros, ou seja, o custo por volume produzido está significativamente menor do que nos períodos anteriores.

Em suma, a transformação dos savings negativos em positivos por meio da automação de parâmetros representa um marco significativo no aprimoramento do processo de conformação por prensagem de massa de tamponamento. Os resultados obtidos refletem diretamente a eficácia das estratégias implementadas.

## 12. CONCLUSÃO

Por meio deste estudo, buscou-se analisar a implementação da automação de parâmetros no processo de conformação por prensagem de massas de tamponamento para furos de corrida em altos-fornos. Exploramos como essa abordagem poderia impactar a eficiência, a produtividade e a qualidade do processo. No decorrer do estudo, concentramos nossos esforços em compreender como a automação pode contribuir para a otimização dos parâmetros de conformação, levando a melhorias mensuráveis.

Ao explorar as contribuições da automação de parâmetros, percebemos que a eficiência operacional do processo de conformação foi significativamente ampliada. Com o uso de sistemas automatizados, a otimização em tempo real dos parâmetros de conformação permitiu uma adaptação mais ágil às variações nas condições de operação. Isso resultou em ciclos de produção mais curtos, menos interrupções e uma utilização mais eficaz dos recursos disponíveis.

Uma das conquistas notáveis alcançadas durante este estudo foi a quebra de vários recordes relacionados ao volume mensal de produção e à produtividade. Ao implementar a automação de parâmetros, observamos um aumento substancial no volume de produção mensal, superando as expectativas anteriores. Além disso, os índices de produtividade atingiram níveis nunca alcançados, refletindo diretamente a eficácia das estratégias implementadas.

À medida que concluímos o presente estudo, reforçamos a relevância da automação de parâmetros como uma ferramenta transformadora para a melhoria de processos industriais. Os resultados obtidos não apenas demonstram a viabilidade técnica dessa abordagem, mas também ressaltam os ganhos tangíveis em termos de eficiência, produtividade e qualidade.

### **13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Diccini, G. L. **Estudo comparativo entre massas de tamponamento com ligante alcatrão/resina fenólica**. 2019. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2019.

KAGEYAMA, T. **Eco-friendly high performace taphole mix**. UNITECR 05. Anais...Orlando, USA: 2005

MIRANDA, R. R. **Desenvolvimento De Massas De Tamponamento a Base De Material Refratário E Alumina Para Vedação De Furos De Corrida De Fornos De Redução**. 69 congresso anual da abm, 2014.

MUROI, N. **New taphole mud for blast furnace**. Tailabutsu Overseas, v. 19, n. 3, p. 24–27, 1999.

RIBEIRO, A. S. **ANÁLISE SISTÊMICA DAS MASSAS DE TAMPONAMENTO PARA ALTOS- FORNOS** Aloísio. Tese de mestrado UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, 2010.

RIBEIRO, A. S. **Técnicas de caracterização para o desenvolvimento de massas de tamponamento para altos-fornos.** Ceramica, v. 59, n. 349, p. 47–58, 2013.

SCUDELLER, L. A. M. **Avaliação da massa de tamponamento através da sua caracterização e da monitoração e simulação operacional do furo de corrida de alto-forno.** Tese de mestrado, Universidade Federal de São Carlos, 1997.

SHENG IRON REFRACTORIES. **V-Ti Tap Hole Clay.** Disponível em: <https://www.sirefractories.com/products/anhydrous-taphole-clay/>. Acesso em: 13 jul. 2023.

YOUN, S. I.; KIM, K. C.; CHOI, M. J. **Development and application of high Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> taphole clays for blast furnace.** p. 195, 1997.

YOUTUBE. **Tap Hole extrusion with JC Steele & Sons.** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=5WYur7NO2hM>. Acesso em 30 jul. 2023.