

## MONITORAÇÃO DO CONTROLE DE PRESSÃO DAS CENTRAIS DE LUBRIFICAÇÃO DO LAMINADOR DE UMA USINA SIDERÚRGICA

*SOUZA NETO, Gustavo<sup>1</sup>*  
*Centro Universitário Academia - UniAcademia*  
*SILVA JÚNIOR, Dalmo Cardoso da<sup>2</sup>*  
*Centro Universitário Academia – UniAcademia*  
*ABRITTA, Camila do Carmo Almeida<sup>3</sup>*  
*Centro Universitário Academia – UniAcademia*

Linha de pesquisa: Automação

### RESUMO

Criar métodos para auxiliar o aumento de produtividade e confiabilidade de processos operacionais do ramo siderúrgico é fundamental para beneficiar o processo de laminação que está alocado em um mercado que cresce de forma exponencial no cotidiano. As equipes de manutenção necessitam de ferramentas que ofereçam análises precisas e eficientes para uma atuação contundente, beneficiando o processo produtivo, conseqüentemente reduzindo os índices de parada não programada. Monitorar os sinais do controle de pressão é fundamental para garantir a segurança e a confiabilidade do processo e dos componentes associados. O presente trabalho apresenta uma abordagem geral voltada ao processo de laminação de uma usina siderúrgica localizada na cidade de Juiz de Fora, e a implementação de um sistema de monitoramento de controle de pressão das centrais de lubrificação do referido laminador.

**Palavras-chave:** Laminação. Confiabilidade. Manutenção. Automação.

### 1 INTRODUÇÃO

Analisando o mercado, que se apresenta cada vez mais competitivo, as empresas reconhecem a necessidade imperativa de implementar técnicas de melhoria contínua direcionadas aos domínios industriais. O controle de processos, associado a

---

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Elétrica pelo Centro Universitário Academia - UniAcademia.

<sup>2</sup>Professor Doutor do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia - UniAcademia.

<sup>3</sup>Professora Mestra do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Academia - UniAcademia.

automação e a otimização são fundamentais para o aumento da rentabilidade e segurança do processo, qualidade dos produtos, confiabilidade dos sistemas e equipamentos, bem como a minimização da necessidade de reprocessamento (Campos; Teixeira, 2010).

A produtividade e competitividade estão diretamente relacionados. Por consequência dessa união, a indústria se reinventa e se mantém ativa em mercados cada vez mais agressivos comercialmente (Monteiro, 2023).

Segundo Silva (2019), a evolução das inovações tecnológicas nos processos industriais resulta em benefícios significativos em várias esferas. No contexto de uma usina siderúrgica de escala multinacional, as noções de aprimoramento e inovação são de suma importância, dado que desempenham um papel crucial na busca por uma produtividade otimizada e custos reduzidos, o que se traduz em produtos de qualidade superior.

Com o objetivo de ampliar a produtividade geral do setor de laminação e fortalecer a confiabilidade dos equipamentos, este estudo apresenta a proposta de um projeto para implementar uma linha de monitoramento dos valores de controle de pressão em sistemas hidráulicos. A monitoração desse sistema é crucial para fornecer à equipe de manutenção dados precisos e instantâneos sobre o desempenho do sistema, simplificando o diagnóstico e reduzindo o tempo de parada não programada do processo.

O projeto de monitoramento do controle de pressão das centrais de lubrificação visa acompanhar os valores de pressão, bem como o percentual de abertura e fechamento do posicionador pneumático que opera sobre a válvula controladora de pressão.

A introdução desse sistema de monitoramento possibilita a realização de análises abrangentes e precisas relacionadas ao desempenho global do sistema. Além disso, permite o desenvolvimento de técnicas avançadas de controle estatístico de processos, associadas à inteligência artificial, com o intuito de identificar possíveis falhas e implementar estratégias de prevenção por meio da manutenção preditiva.

O objetivo da implementação deste projeto é oferecer benefícios substanciais para a empresa, pois a ausência de monitoramento do controle de pressão resulta em falhas pontuais que causam altos índices de paradas no laminador.

A implementação bem-sucedida do sistema traz melhorias operacionais tangíveis e demonstra o compromisso contínuo dos setores industriais com a inovação

tecnológica, a melhoria contínua e a excelência operacional. Esses elementos contribuem significativamente para alcançar resultados positivos em termos de produtividade, confiabilidade dos equipamentos e competitividade no mercado.

O trabalho aborda a realidade de uma empresa do ramo siderúrgico em Juiz de Fora. A base teórica tem como fundamento o processo de laminação, que por definição é um processo de conformação no qual o material é forçado a passar entre dois cilindros ou discos, girando em sentidos opostos, com praticamente a mesma velocidade superficial e espaçados entre si a uma distância menor que o valor da dimensão inicial do material a ser deformado. Ao passar entre os cilindros, a tensão surgida entre o produto em processamento e os cilindros promove uma deformação plástica na qual a espessura é diminuída, o comprimento é aumentado e a largura reduzida (Rizzo, 2007).

Aprimorar o controle de pressão das centrais de lubrificação do laminador foi estabelecido como uma prioridade, devido ao considerável tempo de parada não planejada decorrente de anomalias no sistema. Esta necessidade surge da impossibilidade de conduzir análises concretas para identificar as causas das falhas eventuais.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho é desenvolver uma linha de monitoramento com o propósito de solucionar falhas que ocasionam altos índices de paradas não programadas, fornecendo informações sobre pressão e porcentagem de abertura e fechamento da válvula controladora em centrais de lubrificação. Esses dados são fundamentais para compenetrar as equipes de manutenção, viabilizando uma intervenção eficaz e eficiente, além de facilitar a implementação de técnicas de manutenção preditiva. Antecipando falhas e interrupções potenciais do processo, espera-se um aumento na confiabilidade e produtividade dos processos industriais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentado o processo de siderúrgico na usina de maneira geral e de forma detalhada, o processo de laminação, uma vista a respeito de

conceitos relacionados e ainda, o funcionamento das centrais de lubrificação do referido laminador.

## 2.1 O PROCESSO SIDERÚRGICO DA USINA

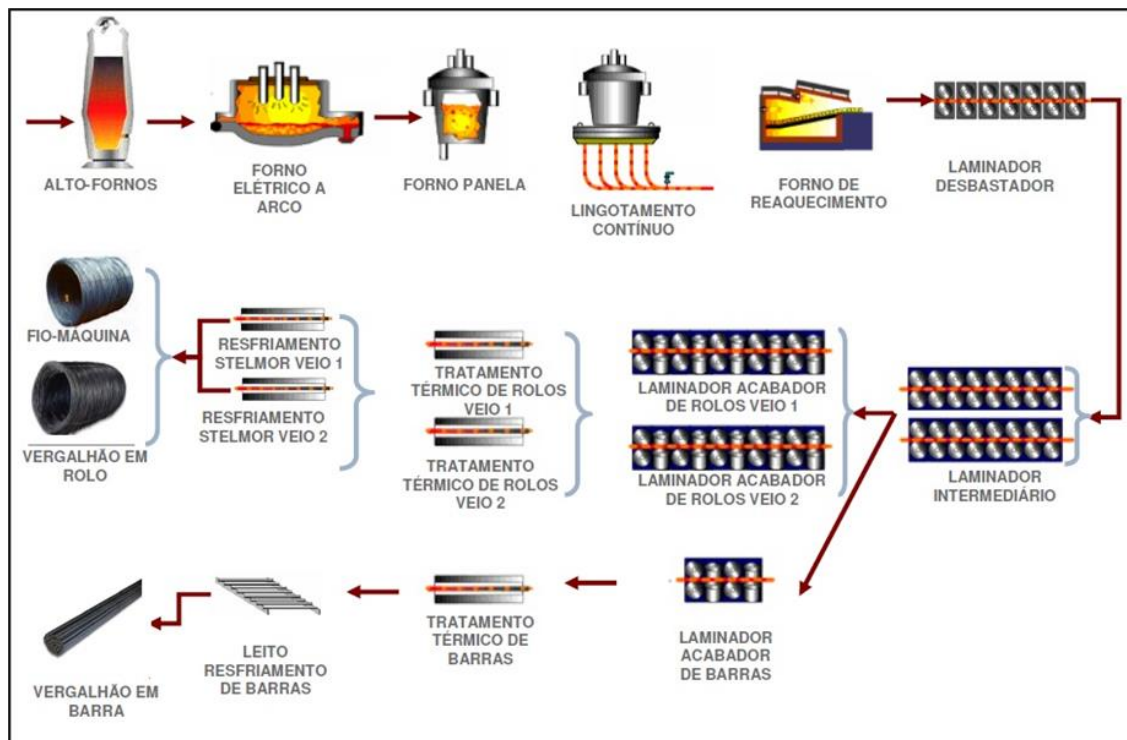
A empresa de estudo é a maior produtora de aços no mundo, tendo seu *know-how* na produção de fio-máquina para aplicações na indústria automotiva, construção civil, trefilados e uso geral.

Segundo Mourão (2007), o ferro é um metal de propriedades que apresentam grandes variações, em função de sua composição química e histórico de tratamento termo-mecânico. Em particular, o carbono, sempre presente no ferro devido ao processo de obtenção com o uso de carvão, afeta muitas das propriedades importantes no processo de obtenção e nas características do produto final.

O processo de produção da usina é semi-integrado, utilizando como matéria-prima principal sucata metálica e gusa sólido, destinando-se à fabricação de laminados não-planos longos. Mourão (2007) define este tipo de usina como uma recicladora de aço, devido ao seu processo de reaproveitamento de sucatas metálicas dos mais diversos tipos e formatos.

A siderúrgica é dividida em três setores principais: alto-forno, aciaria e laminação. Cada setor é responsável por uma parte da fabricação do aço, iniciando o processo da siderurgia nos altos-fornos, passando pela aciaria, e finalizando na laminação, tendo seu produto final definido como vergalhão em rolo ou vergalhão em barra de aço. O fluxo de produção é demonstrado na Figura 1.

FIGURA 1: Fluxo de produção da usina siderúrgica.



Fonte: Apostila de Treinamento de Laminação (2012) - Adaptado pelo autor.

De acordo com Araújo (2005), o processo siderúrgico por de trás da laminação dos produtos de aço começa com a produção do material nas usinas. Em usinas integradas, utiliza-se o coque e o minério de ferro para abastecer um reator denominado alto-forno, no qual produz-se o ferro-gusa, produto que posteriormente é enviado para a etapa de refino na aciaria para produzir o aço. Já em usinas semi-integradas, faz-se a redução e refino de sucata ferrosa selecionada para produção do material. O metal produzido nas aciarias passa pelo processo de lingotamento convencional ou contínuo, e o produto gerado são tarugos lingotados. Este material é empregado em um processo posterior, a laminação.

O alto-forno é o setor responsável pela fundição do minério de ferro a fim de transformá-lo em ferro gusa, descrito como uma liga obtida através da mistura do ferro, carbono e outros elementos. O combustível utilizado nessa ligação é o coque, elemento derivado do carvão betuminoso.

O ferro gusa produzido no alto-forno é utilizado, juntamente com as sucatas metálicas, na produção de vários tipos de aço, na forma de tarugos, pela aciaria. A

transformação do gusa em tarugos é obtida através dos forno elétrico e do forno panela; o primeiro, responsável pela homogeneização e derretimento do gusa e das sucatas, seu princípio ativo é a conversão de energia elétrica em energia térmica através dos eletrodos, que entram em atrito com as peças metálicas. E o segundo, pelo tratamento térmico do aço e a adição das ligas de ferro para formular o tipo de aço desejado.

Após o processo de refino feito na aciaria, os tarugos são encaminhados para a laminação, onde é feito o processo de acabamento do aço. Esse setor é responsável por dar forma e finalidade ao aço, transformando-o em vergalhões e fios-máquina em rolos ou vergalhões em barras. O processo de laminação conta com diversas etapas que, por sua vez, respondem pela forma - barras ou rolos -, diâmetro do material, dureza, elasticidade e modelo – se é liso, nervurado, octogonal ou redondo.

## 2.2 O PROCESSO DE LAMINAÇÃO

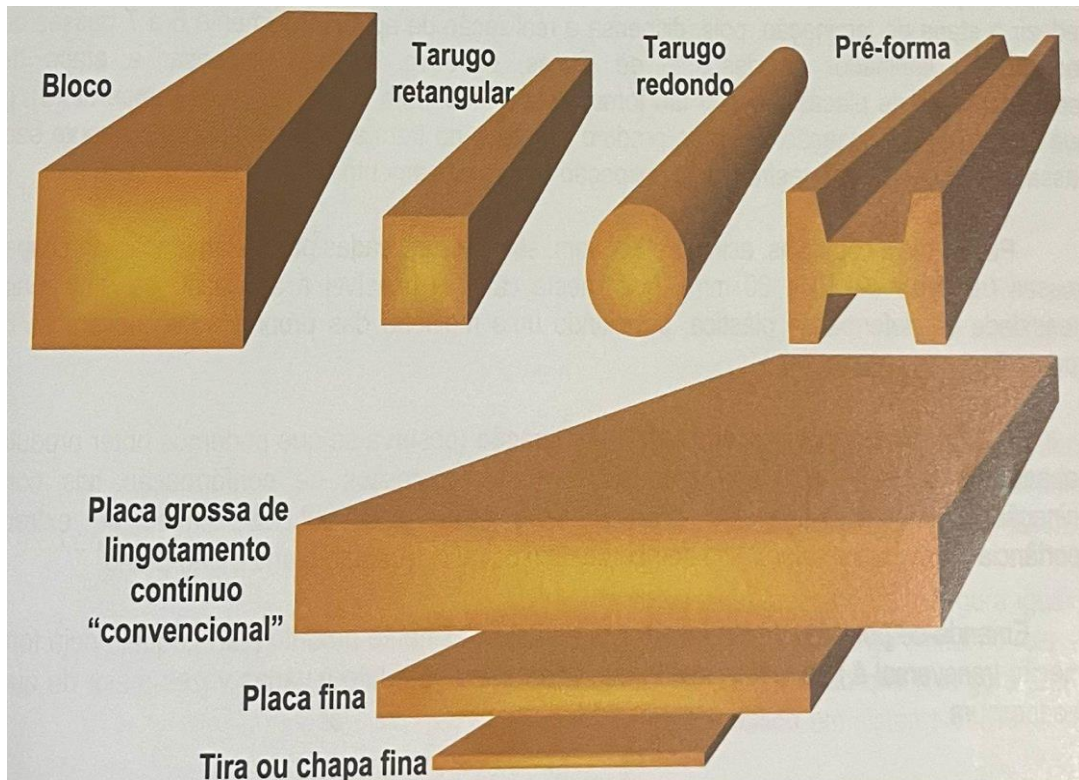
A laminação a quente de aços longos consiste, inicialmente, em aquecer o material até a temperatura de encharque para a austenitização, realizar deformações programadas nas etapas entre o desbaste e o acabamento e em seguida promover o resfriamento controlado do material (Regone, 2001).

O processo de laminação tem como matéria-prima o produto semi-acabado da aciaria, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em sua norma NBR 6215 de 1986 classifica os produtos semi-acabados, representado na Figura 2, de acordo com a área da seção transversal e sua forma em:

- Bloco - é um produto semi-acabado cuja seção transversal é superior a  $22.500\text{mm}^2$  e com relação entre altura e espessura igual ou menor que 2; as arestas são arredondadas;
- Tarugo ou palanquilha - é um produto semi-acabado cuja seção transversal é menor ou igual a  $22.500\text{mm}^2$  e a relação largura e espessura igual ou menor que 2; as arestas são arredondadas as tolerâncias dimensionais menos restritivas que as de barras;
- Placa - é um produto semi-acabado com seção transversal retangular, com espessura maior que 80mm (100mm segundo a norma NBR 5903 de 1983-1987) e relação largura e espessura maior que 4.



**FIGURA 2:** Representação esquemática das formas típicas da seção transversal dos produtos.



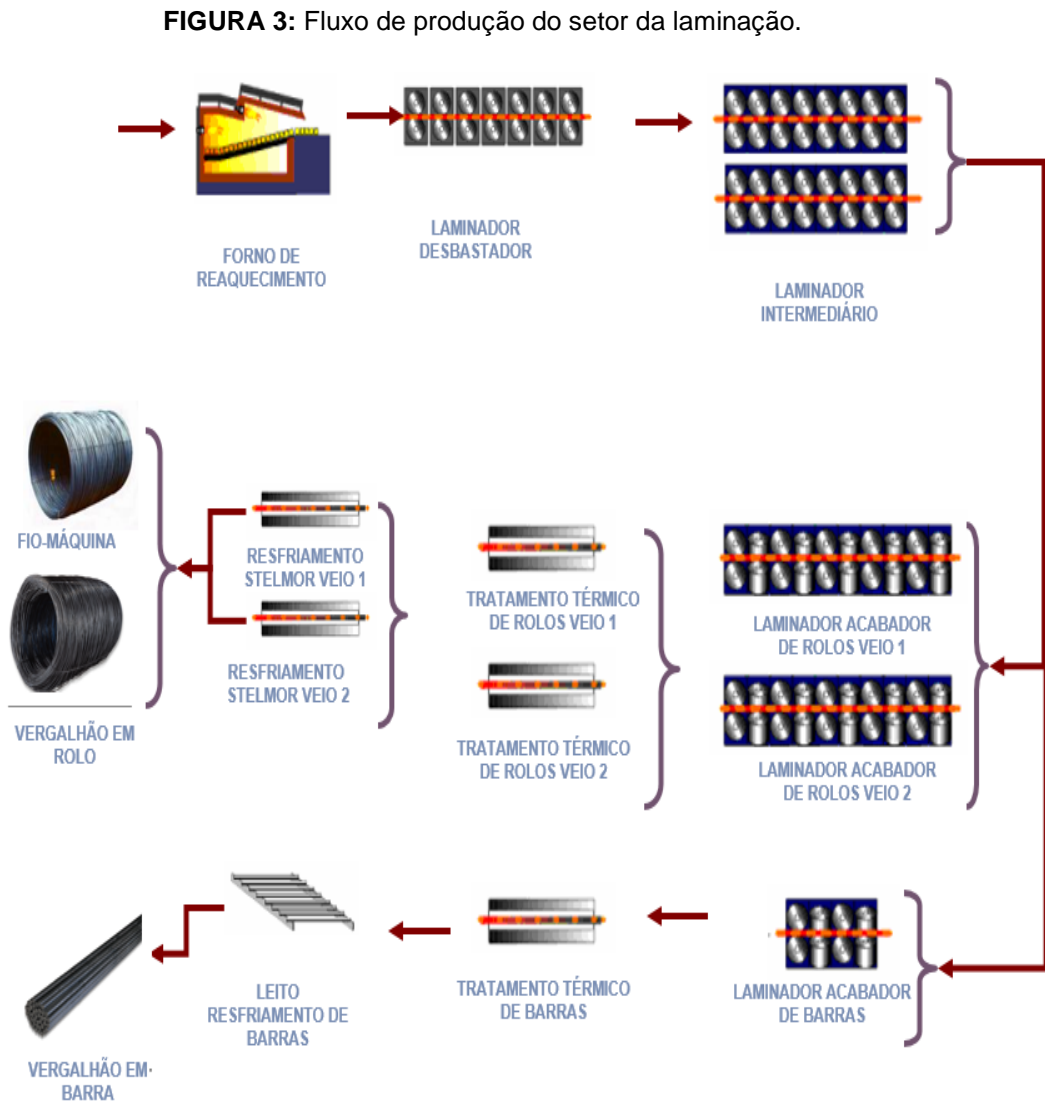
Fonte: RIZZO, 2007.

Existem empresas e países que utilizam outros critérios e denominações e que o comprimento do semi-acabado é função dos produtos finais a serem obtidos a partir dos mesmos, respeitando as limitações de equipamento de cada laminação. Outros aspectos podem ser utilizados para estabelecer a separação entre tarugos e blocos (Rizzo, 2007).

A usina siderúrgica tratada no presente trabalho faz uso de tarugos retangulares de espessura de 130 X 130 mm e largura de 11 a 15,8 m como matéria-prima para o processo de laminação.

O processo de laminação é dividido em etapas, as quais apresentam suas particularidades e são muito relevantes para uma execução precisa de todo o processo. O laminador da usina siderúrgica tratada tem a capacidade de produzir simultaneamente, 2 tarugos por vez, visto que é contemplado de 2 veios - caminho

que o tarugo segue para que o processo seja realizado. A Figura 3 retrata como é dividido o fluxo de produção do setor de laminação.



Fonte: Apostila de Treinamento de Laminação (2012) - Adaptado pelo autor.

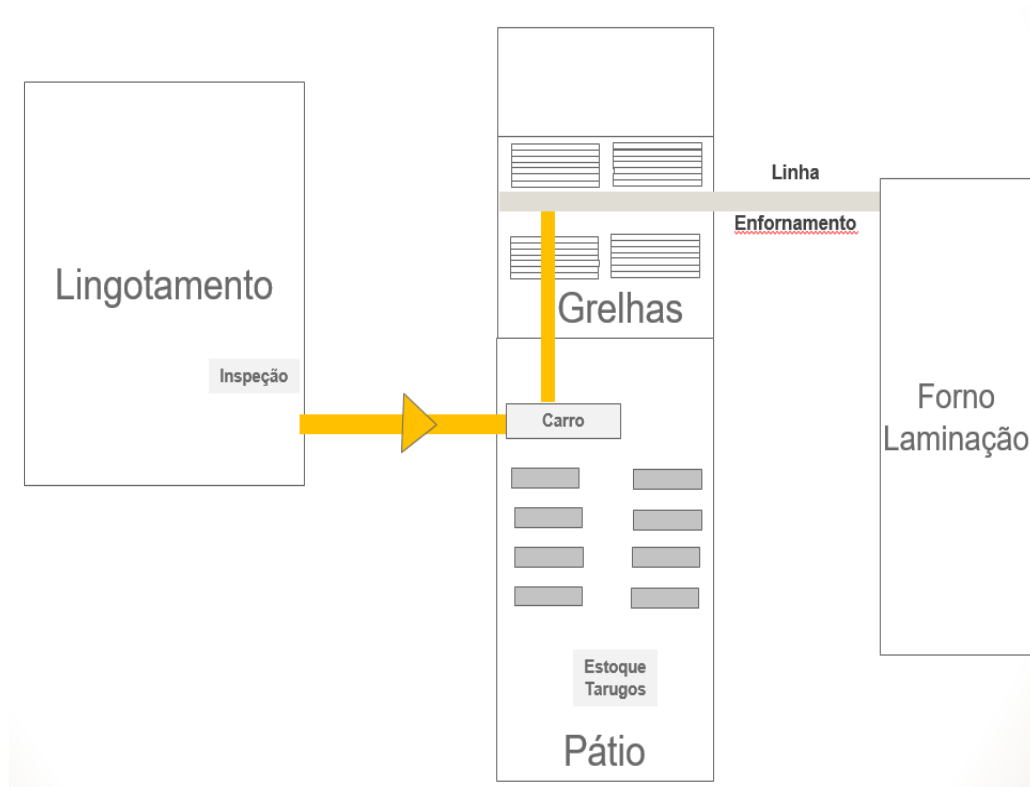
### 2.2.1 Enfornamento

O tarugo após sair da aciaria é depositado em um galpão denominado pátio de tarugos, o qual tem a função de gerir o estoque desta matéria-prima e por consequência, o resfriamento, uma vez que os tarugos saem da aciaria ainda com uma temperatura entre 200 e 500° C, proveniente do processo do setor.



A Figura 4 evidencia a rota do tarugo que a partir do pátio de tarugos, é depositado em grelhas, através de uma ponte rolante, e aguarda ser arrastado até uma mesa de rolos, onde será deslocado até o interior do forno de reaquecimento de tarugos.

**FIGURA 4:** Rota do tarugo.



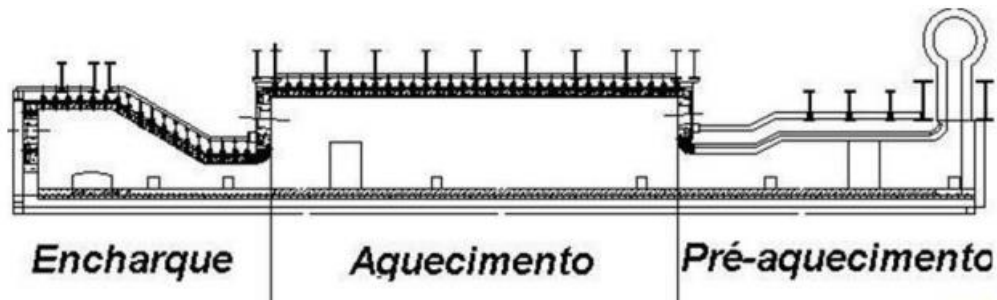
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

### 2.2.2 Forno de Reaquecimento de Tarugos

Trata-se de um forno com comprimento interno de 28 m, 16,5 m de largura e altura máxima de 8,8m, tendo a capacidade de comportar até 136 tarugos. Atualmente, é dividido em 5 zonas, sendo a 1ª de pré-aquecimento, a 2ª de aquecimento e as 3ª, 4ª e 5ª zonas de encharque, ou seja, de homogeneização da temperatura, tal divisão é apresentada na Figura 5. O forno atinge uma temperatura máxima de 1350° C, tendo seu sistema de aquecimento através de queimadores, alimentados por Gás Natural (GN) e Gás de Alto-Forno (GAF), sendo um total de 27 queimadores divididos por 5 zonas. É contemplado também de 3 ventiladores de combustão, que injetam ar dentro do forno) e 2 ventiladores de exaustão (retiram os

gases queimados na combustão). O forno funciona com um sistema de soleira móvel, a qual faz a movimentação dos tarugos internamente, através das zonas. Cada tarugo necessita ficar em média 1 h e 40 minutos no interior do forno para atingir a temperatura de 1200° C, valor considerado ideal para se iniciar o processo de laminação do material.

**FIGURA 5:** Representação do Forno de Reaquecimento de Tarugos.



Fonte: Apostila de Treinamento de Laminação (2012) - Adaptado pelo autor.

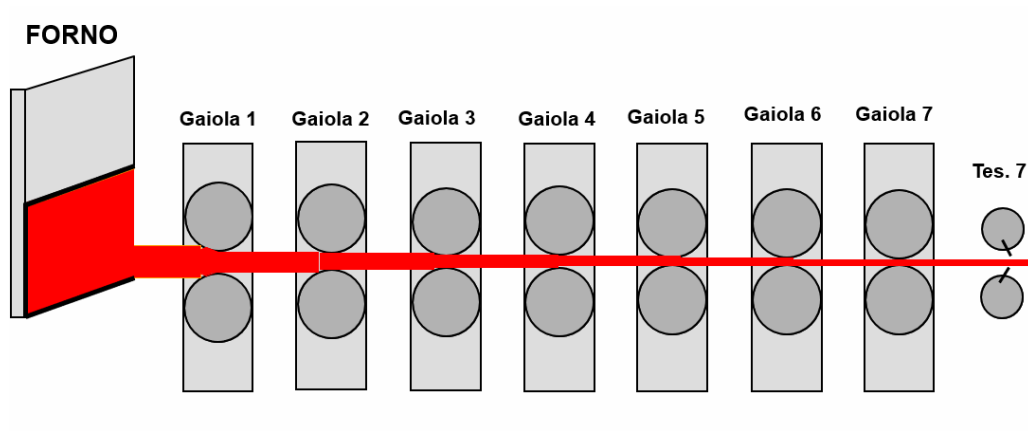
### 2.2.3 Laminador Desbastador

Após atingir a temperatura de 1200° C, o tarugo é removido do forno de reaquecimento e inicia-se o processo de laminação em sua primeira etapa, denominada processo de desbaste. O laminador desbastador possui 7 cadeiras<sup>4</sup> convencionais ou gaiolas, sendo que o cilindro de cada cadeira possui 6 canais dos quais 2 são usados na produção simultânea pelos laminadores intermediários (Pinezi, 2006). Essa configuração permite que sejam laminados, 2 tarugos simultaneamente.

As cadeiras são dispostas uma após a outra, no mesmo eixo de laminação, assim como demonstrado na Figura 6, com os cilindros girando no mesmo sentido e com determinado afastamento entre as mesmas.

<sup>4</sup> Conjunto formado pelos cilindros de laminação, com seus mancais, montantes, suportes, etc. (Rizzo, 2007).

**FIGURA 6:** Representação do Laminador Desbastador.



Fonte: Apostila de Treinamento de Laminação (2012) - Adaptado pelo autor.

#### 2.2.4 Laminador Intermediário

A seção do laminador intermediário é dividida em 2 veios completamente distintos. Contemplado de 2 tesouras de desponete e de 8 cadeiras cantilever (Figura 7) por veio, com acionamentos independentes (Pinezi, 2006).

As cadeiras do laminador intermediário são alocadas alternadamente nas posições horizontais e verticais.

As tesouras de desponete tem a função de retirar as extremidades do material, com o intuito de facilitar a guagem através de todo o laminador. Essa condição ocorre devido à deformação sofrida pelo tarugo na seção do Desbaste, bem como o resfriamento do mesmo durante o processo, assim são descartadas suas extremidades para que não haja interferências durante os passos subsequentes. Essas tesouras também têm a função de sucatear todo o material, no caso de alguma intercorrência durante o processo de laminação, evitando assim que o material fique embolado no decorrer da linha de laminação.

Rizzo (2007) define cadeiras cantilever como

Tipo de cadeira utilizado na laminação de produtos longos, quando não houver uma variação muito grande do tipo de produto laminado. Os cilindros da cadeira são apoiados em mancais em apenas um lado, como se fosse uma viga em balanço. As cadeiras podem ser montadas na horizontal ou na vertical (RIZZO, 2007, p. 30).

### 2.2.5 Laminador Acabador

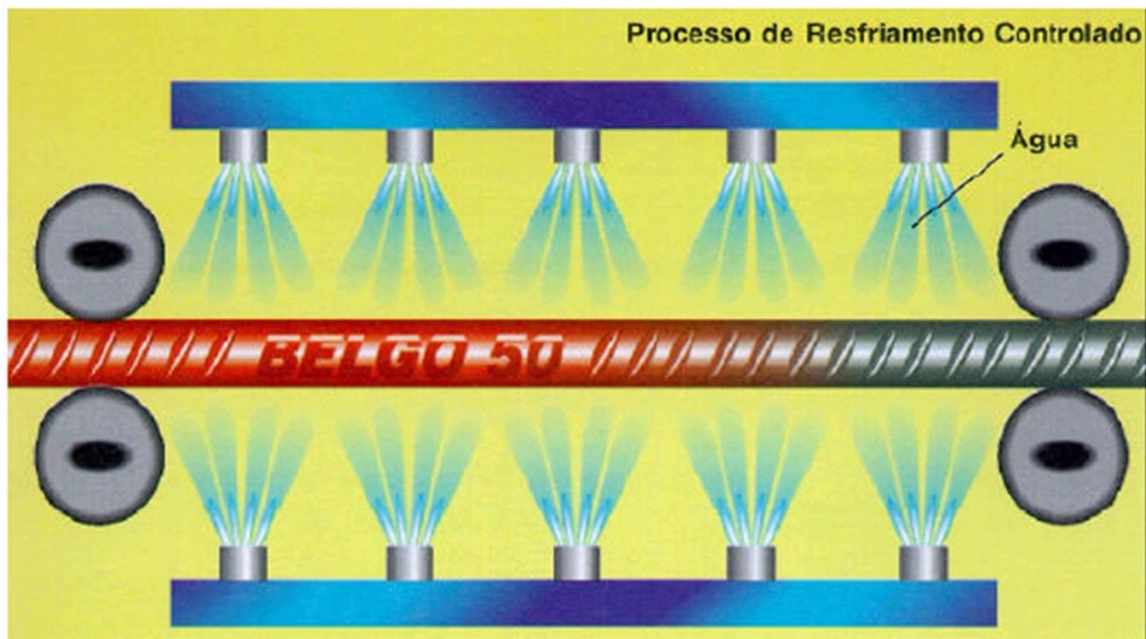
O laminador acabador, denominado também como bloco acabador, devido ao fato de ser formado por um conjunto de cadeiras cantilever em posições oblíquas, ou seja, posicionadas em um ângulo de  $45^\circ$  alternadamente, montadas a uma pequena distância uma da outra. De maneira precisa, o bloco acabador é formado por 10 cadeiras por veio, com recursos para produzir produtos de diferentes diâmetros (Pinezi, 2006).

É nesta seção que ocorre a conformação final do material, ou seu acabamento propriamente dito, de acordo com as condições previamente ajustadas. A seção transversal do material sofre pequena diminuição em relação às demais etapas do processo, tendo assim, suas medidas definidas, adquirindo maior precisão dimensional. No bloco acabador, o material pode atingir sua velocidade máxima no processo de cerca de 90 m/s, quando na produção de sua bitola mínima ( $5,50\text{mm}^2$ ).

### 2.2.6 Tratamento Térmico de Rolos (TTR)

O material após passar pelo bloco acabador, é submetido a uma condição severa de resfriamento, como representado na Figura 7, utilizando água com vazão e pressão controladas, gerando uma camada superficial refrigerada e endurecida. O núcleo da barra que permanece quente reaquece a camada endurecida e promove seu revenimento, evitando que a camada temperada fique quebradiça. Tal processo consiste em submeter o material a um tratamento de têmpera superficial obtendo assim uma coroa martensítica. A segunda parte do processo é o revenimento, onde o núcleo do material que não foi resfriado irá aquecer a superfície por propagação de calor, aliviando as tensões superficiais causadas pela têmpera. Tem como objetivo resfriar o material de forma controlada de forma a obter características de propriedades mecânicas e de microestruturas e uma formação de carepa mais fina, além de proporcionar um material com boa soldabilidade e melhor ductilidade.

FIGURA 7: Representação do Processo de Tratamento Térmico.



Fonte: Apostila de Treinamento de Laminação (2012) - Adaptado pelo autor.

### 2.2.7 Resfriamento Controlado

O setor de resfriamento controlado trata-se de uma esteira transportadora de espiras que tem a função de transportar as espiras com uma velocidade regulável. Sob a esteira transportadora há ventiladores centrífugos de alta capacidade instalados para que haja um resfriamento ao ar das espiras. Esse trecho é denominado Stelmor e é nesta esteira que as propriedades metalúrgicas desejadas são obtidas (França; Lima; Klug, 2015).

### 2.2.8 Estação Coletora de Bobinas

A estação coletora de bobinas é um elemento de acabamento do laminador, que faz a coleta das espiras que saem do setor de resfriamento controlado (Stelmor), objetivando uma melhor formação da bobina. A formação da bobina deve ocorrer de forma a minimizar o tempo de ciclo da finitura do processo. Tem o intuito de reduzir a altura da bobina e em paralelo eliminar as perdas que podem ocorrer durante o manuseio da bobina na etapa seguinte (Primetals, 2020).

### 2.2.9 Transportadores de Bobinas e Compactação

As bobinas são depositadas em ganchos do tipo C, os quais se deslocam por caminhos pré-definidos para que possa ser realizado o manuseio e inspeção do material, posteriormente segue para a fase de compactação e amarração da bobina, a fim de deixar a mesma em condições adequadas para ser estocada ou transportada até o cliente (Primetals, 2020).

### 2.2.10 Laminador de Barras

Ao final da seção do laminador Intermediário do veio 2 é possível fazer uma derivação no caminho de laminação e direcionar o material para o laminador de Barras, este é contemplado de 6 cadeiras que fazem a conformação do produto com bitolas entre 10mm<sup>2</sup> e 32mm<sup>2</sup>. O Laminador de Barras já oferece o produto final em tamanhos específicos, pertinente com a solicitação do cliente.

## 2.3 MANUTENÇÃO

De maneira geral, a manutenção engloba todos os procedimentos necessários para manter instalações, máquinas, equipamentos e todos os recursos de infraestrutura requeridos (Almeida, 2018).

### 2.3.1 Gestão da Manutenção

Se trata da correta administração da manutenção, ou seja, a organização dos recursos humanos e materiais, dos insumos e planejamento estratégico necessários para que máquinas, equipamentos e instalações de qualquer empresa estejam em boas condições de funcionamento e atendam às necessidades produtivas existentes (Almeida, 2017).



### 2.3.2 Manutenção Preditiva

Este tipo de manutenção se baseia em inspeções periódicas das reais condições do equipamento, além de permitir um acompanhamento da evolução de algum defeito, possibilitando o planejamento em curto prazo para a realização de intervenções para que o defeito seja sanado, possibilita também, indicar o tempo de vida útil do componentes da máquinas. Todas as características são baseadas nas análises de variáveis como temperatura, pressão, vibração, ruídos excessivos, etc. os quais são analisados através de instrumentos específicos para cada aplicação (Almeida, 2018).

Para a implantação da manutenção preditiva, são necessários instrumentos e equipamentos específicos, além de treinamentos que capacitam a equipe de manutenção a atuar nos instrumentos e no sistema como um todo, a fim de realizar análises precisas e confiáveis.

## 2.4 LUBRIFICAÇÃO

Têm-se exemplos de lubrificação desde as primeiras invenções. É de fundamental relevância a preocupação com a mesma. Desde a fase de projeto e fabricação de máquinas e equipamentos, se faz necessário o estudo sobre os métodos de lubrificação, bem como as propriedades dos lubrificantes a serem utilizados, visando a aplicação correta, uma vez que um pequeno equívoco pode ocasionar danos mecânicos e representar riscos elevados de acidentes de trabalho. O conceito de lubrificação é baseado na inserção de um elemento lubrificante intermediário entre as superfícies em contato das peças de um conjunto mecânico que se busca reduzir o atrito (Almeida, 2017).

Elementos de transmissão de movimentos que são encontrados nos mais variados equipamentos industriais exercem movimentos rotativos, lineares, e até mesmo um conjunto de movimentos que geram a força de trabalho do equipamento. Através de um motor que transmite o movimento rotativo para eixos e árvores mecânicas, e estes transmitem e transformam o movimento recebido com maior força e variedade de movimentos. Tais elementos trabalham em contato constante devido a função da transmissão de movimento que têm o papel de executar, assim,

resultando um atrito que ocasiona um excessivo e prematuro desgaste, além de aquecimento e demais situações que influenciam negativamente no funcionamento das peças que compõem o conjunto mecânico dos elementos das máquinas (Almeida, 2017).

#### 2.4.1 Lubrificantes

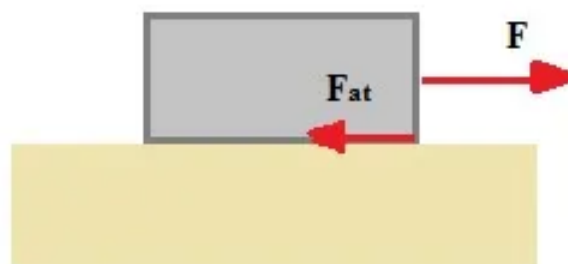
Segundo Abreu (2023), os óleos lubrificantes são uma mistura de óleos base e aditivos. São substâncias que inseridas entre duas superfícies móveis ou uma fixa e a outra móvel, é formada uma película de proteção que tem a função de reduzir o atrito, o desgaste e ainda auxiliar no controle de temperatura, vedação, limpeza das peças do conjunto e proteção contra corrosão decorrente dos processos de oxidação.

Em geral, todos os fluidos possuem propriedades lubrificantes, no entanto, no âmbito industrial, as substâncias derivadas do petróleo demonstram excelentes propriedades lubrificantes para a maioria das aplicações (Almeida, 2017).

#### 2.4.2 Atrito

A força de atrito é uma força que se opõe ao movimento dos corpos. Podendo ser estática, caso o corpo esteja em repouso, ou dinâmica, quando o corpo está em movimento (Abreu, 2023). A figura 8 mostra que a força de atrito tem sentido contrário à força  $F$  e ao movimento do corpo.

**FIGURA 8:** Diagrama de Forças



Fonte: ABREU, 2023.

O módulo da força de atrito estático depende de fatores relacionados ao módulo da força normal às superfícies de contato e aos materiais que constituem essas superfícies e definem o coeficiente de atrito ( $\mu$ ) entre eles. A força de atrito deve-se a pequenas rugosidades que existem entre as superfícies, essas imperceptíveis microscopicamente, tais irregularidades são responsáveis pela força de atrito, dificultando, assim, o movimento dos objetos e gerando calor (Abreu, 2023).

No estudo do atrito e seus efeitos para sistemas mecânicos, a tribologia<sup>5</sup> é fundamental para reduzir as consequências indesejáveis do atrito e apresentar um rumo para o planejamento da lubrificação e seus métodos (Almeida, 2017).

### 2.4.3 Desgaste

Perda irreversível de material de superfícies em interação (Abreu,2023).

O contato da superfície das peças durante o funcionamento de máquinas e equipamentos podem causar deformações em função do atrito existente entre elas, tais deformações são caracterizadas como desgaste e podem ocasionar danos de diversos níveis. Com o intuito de minimizar o atrito entre as peças, e conseqüentemente a força de trabalho para que o movimento seja realizado, é aplicado um fluido entre as superfícies das peças com movimento relativo entre si (Almeida, 2017).

O desgaste ocorre de diversas maneiras e o conhecimento delas é relevante para a investigação de suas origens, bem como a melhor forma de evitar ou reduzir os seus efeitos nos conjuntos mecânicos. Os tipos de desgaste são:

- Desgaste adesivo: aderência total ou parcial das superfícies das peças em contato em um sistema mecânico que causa pequena deformação plástica na região de contato, podendo ocasionar trincas na região, devido o deslizamento normal ser impedido.
- Desgaste abrasivo: remoção de material da superfície. Ocorre em função da dureza e formato dos materiais em contato.
- Desgaste por fadiga: alto número de repetições do movimento.

---

<sup>5</sup> Ciência e tecnologia da interação de superfícies em movimento relativo.

- Desgaste corrosivo: ocorre em meios corrosivos, líquidos ou gasosos. São formados produtos de reação devido às interações químicas e eletroquímicas, que produzem uma intercamada na superfície.

## 2.5 SINAIS E SISTEMAS

Os conceitos de sinais e sistemas são fundamentais para o entendimento e desenvolvimento de áreas relacionadas a telecomunicações, controle e engenharia como um todo, criando uma interação essencial entre as mesmas.

### 2.5.1 Sinais

Um sinal pode ser definido como toda e qualquer entidade portadora de informação. De maneira generalizada, um sinal é uma forma de caracterizar matematicamente a informação (Curtarelli, 2020).

### 2.5.2 Sistemas

Se trata da ferramenta ou método para a transformação ou transporte de um sinal. O mecanismo que realiza uma operação sobre um sinal de entrada, gerando assim, um sinal de saída (Curtarelli, 2020).

## 2.6 CONTROLE AUTOMÁTICO DE PROCESSOS

O controle automático tem o intuito de manter condições específicas que possam garantir o funcionamento seguro e adequado do processo. Controlar um processo é manipular variáveis de maneira que estas interajam de modo ordenado, mantendo-as o mais próximo possível de valores considerados ideais para o bom êxito do processo (Garcia, 2018).

De maneira análoga, o controle de processos se refere a sistemas que têm por objetivo manter certas variáveis de uma planta industrial entre os seus limites operacionais desejáveis (Campos; Teixeira, 2010).

O controle automático de processos industriais mudou o relacionamento do homem com o processo, liberando-o de tarefas sistemáticas, repetitivas e sem interesse intelectual para tarefas mais nobres, nas quais ele pode desenvolver sua imaginação e criatividade (Garcia, 2018).

Campos e Teixeira (2010), definem os sistemas de controle podendo ser de malha aberta ou de malha fechada.

- Sistemas de Malha Aberta: são sistemas mais simples e baratos. Não faz a compensação de possíveis variações internas e nem perturbações externas inerentes a um processo industrial.
- Sistemas de Malha Fechada: Monitora informações sobre como a saída de controle está evoluindo e as utilizam para determinar o sinal de controle que deve ser aplicado ao processo em um instante específico. Buscando a precisão do sistema e minimizando a reação às perturbações externas, o sinal de saída é comparado com um sinal de referência (*setpoint*), e o erro (*offset*) entre estes sinais é utilizado com o intuito de determinar o sinal de controle que será efetivamente aplicado ao processo. Basicamente, o sinal de controle é determinado a fim de corrigir o erro entre o sinal de saída e o sinal de referência. De acordo com Franchi (2015), os sistemas de controle realizam as seguintes

etapas:

- 1) Medição de um estado ou condição de um processo;
- 2) Um controlador calcula uma ação com base em um valor medido de acordo com um valor desejado;
- 3) Um sinal de saída resultante dos cálculos do controlador é utilizado para manipular uma ação do processo na forma de um atuador;
- 4) O processo reage ao sinal aplicado, mudando o seu estado ou condição;

O controle de processos possui seu próprio conjunto de termos comuns, com o intuito de padronizar as condições (Franchi, 2015).

- Variável de Processo (PV): variável que se deseja controlar em um processo.
- *Setpoint* (SP): valor que se deseja manter para a variável de processo.
- Variável Manipulada (MV): grandeza que é alterada para manter a variável de processo no valor desejado.
- Erro (*offset*): diferença entre a variável de processo e o *setpoint*, podendo ser positiva ou negativa.

### 2.6.1 Sistema de Aquisição de Dados

É necessário realizar a medição das variáveis de processo, antes mesmo da execução da tarefa de controle. Um sistema de aquisição de dados, basicamente, é composto por um computador padrão e um *software* de gerenciamento, esses são utilizados com o intuito de coletar os valores das variáveis analógicas ou discretas do processo, para que posteriormente sejam tratadas e o fornecimento de informações seja utilizado para o gerenciamento e controle (Fonseca; Santos; Coelho, 2016).

### 2.6.2 Controlador

Instrumento cuja saída se altera para regular uma variável controlada. Apresenta a função de manter automaticamente uma variável do processo em um valor desejado através de um sinal de saída continuamente variável. Em um controlador, a modificação da saída é automática em resposta a uma variável de processo medida (Fanchi, 2015).

De forma conexa, o controlador compara o valor desejado com o valor medido, e caso haja algum desvio entre estes valores, a sua saída é manipulada buscando eliminar este desvio ou erro (Campos; Teixeira, 2010).

### 2.6.3 Sistemas de Controle

Sistemas de controle de processo para condições industriais envolvem a obtenção de dados através de sensores e posteriormente o controle, propriamente dito em malha fechada por meio de atuadores acoplados individualmente a controladores. As tarefas que os controladores necessitam executar são definidas de maneira clara e objetiva (Fonseca; Santos; Coelho, 2016).

### 2.6.4 Sistemas monitoramento

Trata especificamente de informações fornecidas para um melhor nível de conhecimento e maior controle do processo de operação, visando reduzir os esforços e simplificar os procedimentos. Tem a capacidade de fornecer informações sobre o estado de operação, bem como as variáveis que evidenciam a ocorrência de condições extraordinárias (Fonseca; Santos; Coelho, 2016).



## 2.7 MEDIÇÃO DE PRESSÃO

Pressão é uma das variáveis medidas mais relevantes para o controle de um processo, uma vez que a partir deste princípio, se torna possível a obtenção de valores de vazão, nível e densidade (Senai, 2015).

### 2.7.1 Pressão

Pressão pode ser definida com uma força que atua sobre uma superfície, assim como representado na expressão (1):

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Onde:

P = pressão;

F = força;

A = área

### 2.7.2 Unidade de pressão

A unidade de força no Sistema Internacional (SI) é o Newton (N); a unidade de área é o metro quadrado (m<sup>2</sup>) e a unidade de pressão é o Pascal (Pa). Dessa maneira, 1 Pa equivale à força de 1N aplicada sobre uma superfície com área de 1m<sup>2</sup>, assim como apresentado na expressão (2):

$$Pa = \frac{N}{m^2} \quad (2)$$

Outra unidade de pressão conhecida é o bar, que equivale à força aplicada de 10<sup>6</sup> dinas sobre superfície de 1 cm<sup>2</sup>. A relação entre bar e Pa pode ser dada por:

$$1 \text{ bar} = 100.000 \text{ Pa ou } 100\text{kPa}$$

### 3 METODOLOGIA

O estudo de caso do presente trabalho consiste na implementação do monitoramento para o sistema de controle de pressão de centrais de lubrificação do laminador de rolos de uma usina siderúrgica. O controle de pressão das centrais de lubrificação do laminador ocorre de maneira inacessível. Com o intuito de solucionar a atual condição foi realizado um estudo para a implementação de um sistema de monitoramento que permita a visualização do comportamento do sistema em tempo real.

O projeto, contempla a instalação de um conversor SMAR HCC301, em paralelo com o posicionador pneumático SMAR FY301 que atua na válvula controladora da linha de pressão das centrais de lubrificação, permitindo o envio de um sinal de corrente através para uma entrada analógica de um CLP (Controlador Lógico Programável) e assim, após tratar através da lógica de programação, realizar a comunicação dos sinais com o *software* ibaPDA, ter acesso à leitura do percentual de abertura do posicionador pneumático.

A seguir será apresentado os componentes e equipamentos, bem como o funcionamento dos mesmos para a viabilidade da implementação do sistema de monitoramento.

#### 3.1 CENTRAIS DE LUBRIFICAÇÃO DO LAMINADOR

O conjunto mecânico dos equipamentos costumam apresentar elevados atritos, ocasionados pela movimentação e rotação dos eixos, gerando um aumento da temperatura e desgaste. Visando a redução de tais aspectos, é realizada a aplicação de técnicas de lubrificação, uma vez que esta possibilita a redução do contato e degradação do material (Eximport Lubequip, 2017).

O laminador da usina siderúrgica tratada no presente trabalho é contemplado de 5 centrais de lubrificação, denominadas OA, OB, OC, OD e OE. Cada uma delas é responsável pela lubrificação de componentes de setores distintos.

- Central OA: lubrifica os redutores das cadeiras 1 a 7 do laminador Desbastador também das Tesouras de Desponte, também denominadas de Tesoura 7.
- Central OB: responsável por lubrificar os redutores das cadeiras 8, 9 e 10 de ambos os veios do laminador intermediário.

- Central OC: realiza a lubrificação de dos redutores das cadeiras 11 a 15 dos dois veios do processo de produção do laminador intermediário.
- Central OD: lubrifica todo o laminador acabador de ambos os veios, bem como alguns equipamentos auxiliares, como tesouras de desponete, impulsionadores e formadores de espiras.
- Central OE: faz a lubrificação dos redutores das cadeiras 16 e 17 do laminador de barras, além do conjunto mecânico da Tesoura Divisora de Barras.

### 3.1.1 Componentes das Centrais de Lubrificação

Em função da variedade de componentes que necessitam de sistemas de lubrificação específicos e da necessidade de se evitar a utilização em excesso de lubrificantes - o que ocasiona desperdícios, contaminação ao meio ambiente e que pode danificar o sistema em caso de pressões elevadas - sistemas de lubrificação planejados e controlados foram sendo adaptados (Almeida, 2017).

Uma central de lubrificação é disposta de diversos componentes que interligados proporcionam seu funcionamento adequado:

- Reservatórios: armazena o fluido em repouso. Disponibiliza o óleo que sugado pela bomba durante a operação. Após o lubrificante ter efetuado sua função retorna ao tanque por gravidade (Moreira, 2015).
- Bombas de Sucção: o componente mais importante do sistema, converte energia mecânica em energia hidráulica, enviando um fluxo de óleo do reservatório para o circuito hidráulico. Tem seu acionamento feito por motor elétrico de corrente alternada. O eixo do motor é acoplado diretamente à bomba por meio de luvas elásticas. Ao ser energizado, o motor gira e transfere o movimento para que haja a rotação da turbina da bomba. A ação mecânica da bomba hidráulica produz um vácuo parcial no pórtico de entrada, fazendo com que a pressão atmosférica empurre o óleo do reservatório para dentro da bomba, através da linha de sucção. Uma vez dentro da bomba, o óleo é, então forçado para fora, através do mecanismo, gerando um fluxo hidráulico no pórtico de saída (Fernandes Filho, 2018).

- Filtros: componentes de vital importância nos circuitos hidráulicos, com a função de evitar boa parte da contaminação do óleo, retendo todos os contaminantes insolúveis e partículas sólidas (Moreira, 2015).
- Acumuladores de Pressão: armazenam determinado volume de óleo, sob pressão, para fornecê-lo ao sistema hidráulico quando necessário. De modo geral, o volume de óleo necessário para o ciclo de trabalho de máquinas hidráulicas costuma ser menor que a vazão nominal da bomba. O excesso de óleo é, então, armazenado no acumulador, para ser utilizado posteriormente, nos momentos em que se necessita uma vazão maior do que a bomba pode fornecer (Moreira, 2015).

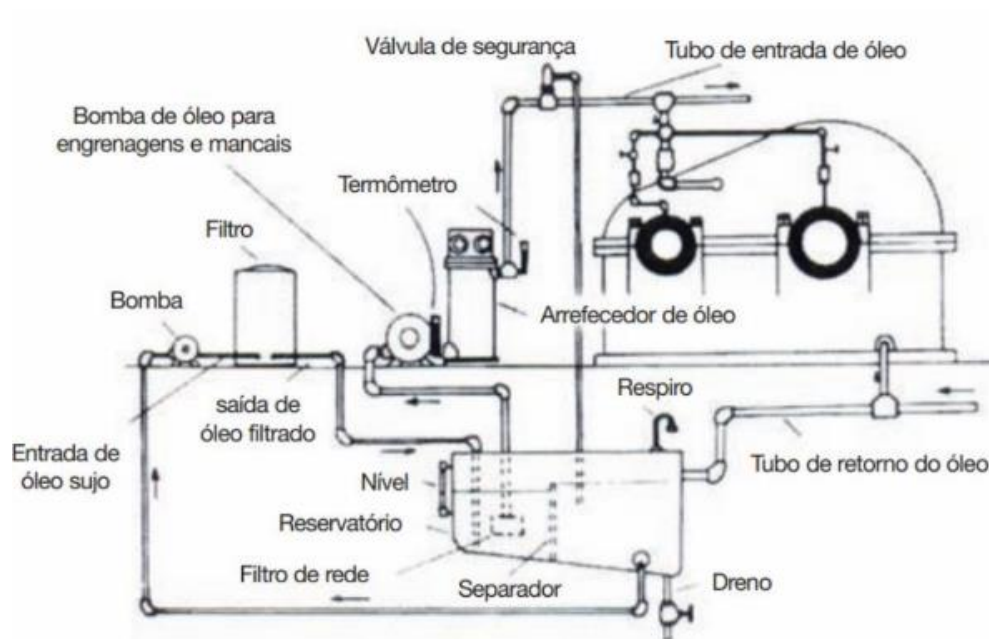
### 3.1.2 Funcionamento das Centrais de Lubrificação

O método de lubrificação aplicado pelas centrais é o de lubrificação por circulação, ilustrado na Figura 9. Neste método, basicamente, o lubrificante é bombeado por meio de um sistema fechado para as superfícies que serão lubrificadas e, ao final do processo, o elemento lubrificante retorna ao reservatório (Eximport Lubequip, 2017).

O fluido, ao ser bombeado, sai do reservatório e inicialmente passa pelos filtros, os quais são monitorados por pressostatos diferenciais de pressão, que fazem a leitura do valor de pressão antes e após os filtros. Caso o diferencial seja maior que 1 bar, é gerado um alarme indicando que o filtro está sujo, condição que pode influenciar na redução do fluxo de óleo e consequente perda de pressão. A filtragem do óleo é fundamental para que particulados indesejados não circulem junto ao fluido e influencie negativamente no funcionamento dos componentes a serem lubrificadas.

Após a etapa de filtragem, ocorre o controle de pressão propriamente dito, através da válvula controladora de pressão que é modulada por meio de uma malha de controle fechada. A válvula atua controlando o fluxo de óleo que é direcionado à linha de lubrificação. Caso a pressão monitorada esteja baixa, a válvula controladora fecha para restringir o fluxo de óleo e consequentemente, aumentar a pressão. Em ocasiões em que a pressão esteja alta, a válvula controladora abre para que o fluxo aumente e a pressão diminua.

**FIGURA 9:** Representação de uma Central de Lubrificação por Circulação.



Fonte: ABREU, 2023.

## 3.2 COMPONENTES DO SISTEMA DE CONTROLE

Para que o sistema de controle de pressão da central de lubrificação ocorra de forma correta e precisa, é necessário que os componentes responsáveis estejam alinhados e em perfeito funcionamento, possibilitando o monitoramento de todos os sinais relacionados ao sistema. Toda a instrumentação é instalada na própria central de lubrificação e é composta por transdutor de pressão, controlador automático NOVUS, posicionador pneumático e válvula controladora.

### 3.2.1 Transdutor de Pressão

Equipamento piezoelétrico que ao ser submetido a uma tensão mecânica coleta um sinal relacionado à pressão, sofre excitação e o converte em um sinal elétrico, podendo ser analógico e/ou digital, de acordo com a aplicação. O transdutor de pressão utilizado para a monitoração da variável de processo, está representado na Figura 10, trata-se do modelo IFM PN3093. O sinal do transdutor de pressão passa

a ser monitorado através do *software* IBA Analyser, ao ser conectado o seu sinal em uma entrada analógica do CLP.

**FIGURA 10:** Transdutor de Pressão IFM PN3093.



Fonte: IFM (2024)<sup>6</sup>

### 3.2.2 Controlador Automático

É o componente responsável por realizar a comparação da variável de processo com um valor de *set point*, verificar a diferença entre ambos e agir, enviando um sinal para o instrumento subsequente, para que a diferença, caso haja, seja reduzida ao máximo. Para a realização de tal função, é utilizado o controlador apresentado na Figura 11, o NOVUS N1200, que se trata de um controlador PID com a capacidade de reunir em um único modelo as principais características necessárias aos mais diversos processos industriais.

---

<sup>6</sup> Disponível em: <https://www.ifm.com/br/pt/product/PN3093>.



**FIGURA 11:** Controlador NOVUS N2000.



Fonte: NOVUS (2022)<sup>7</sup>

### 3.2.3 Posicionador Pneumático

Posicionador inteligente para válvulas de controle, tem seu funcionamento baseado no sensor de posição por efeito Hall, sem contato físico, que fornece elevado desempenho e operação segura. O modelo utilizado é o SMAR FY301, o qual está demonstrado na Figura 12.

**FIGURA 12:** Posicionador pneumático SMAR FY301.



Fonte: SMAR (2024)<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Disponível em: <https://www.novus.com.br/pt/produto/controladores/n2000>.

<sup>8</sup> Disponível em: <https://www.smar.com.br/pt/produto/fy301-posicionador-inteligente-de-valvulas>.

### 3.2.4 Válvula Controladora

Instrumento utilizado para o controle de direção, volume e pressão de fluidos no circuito hidráulico. Apresenta características e funções que proporcionam benefícios, garantindo eficácia e qualidade ao processo. Os modelos utilizados são distintos para cada central de lubrificação, mas todos apresentam a mesma funcionalidade, diferenciando apenas em quesitos técnicos referentes à maneira de instalação em campo, conforme modelo de conexão, tamanho e faixa de operação. A Figura 13 ilustra um dos modelos de válvula controladora utilizados.

**FIGURA 13:** Válvula controladora de pressão de óleo



Fonte: Elaborado pelo autor (2024). Acervo pessoal.

## 3.3 SISTEMA DE MONITORAMENTO DO CONTROLE DE PRESSÃO

O projeto de monitorar o sistema de controle é baseado na obtenção do sinal da porcentagem de abertura e fechamento da válvula controladora que é modulada pelo posicionador pneumático.

O posicionador pneumático recebe um sinal do controlador e faz a modulação da válvula controladora de pressão, a posição real do posicionador é possível ser observada apenas na IHM (Interface Homem-Máquina) do instrumento, no entanto

não se obtém o armazenamento dos valores para que possa ser realizado análises posteriores em caso de falhas no sistema.

Para que a monitoração desse sinal ocorra de maneira remota e permita o armazenamento dos valores obtidos, o projeto considera a instalação de um módulo conversor que envia o sinal de posição real do posicionador pneumático para a entrada analógica de um CLP, o conversor a ser instalado é o SMAR HCC301.

### 3.3.1 Conversor SMAR HCC301

Representado na Figura 14, trata-se de um conversor a dois fios capaz de gerar um sinal de corrente de 4-20mA através de uma variável de comunicação HART (*Highway Addressable Remote Transducer*). Essa condição permite transferir informações de equipamentos HART aos controladores e assim, otimizar a performance do controle e processo.

Tem a capacidade de atuar como mestre primário do barramento HART e continuamente fazer o *polling*<sup>9</sup> de uma variável em um outro equipamento HART, convertendo a mesma dinamicamente a um valor em corrente de 4-20mA proporcional a uma escala pré-configurada.

**FIGURA 14:** Representação do conversor SMAR HCC301.



Fonte: SMAR (2024)<sup>10</sup>

<sup>9</sup> Processo em que o dispositivo de controle aguarda que um dispositivo externo verifique seu estado.

<sup>10</sup> Disponível em: <https://www.smar.com.br/pt/produto/hcc301-conversor-hart-para-corrente>.

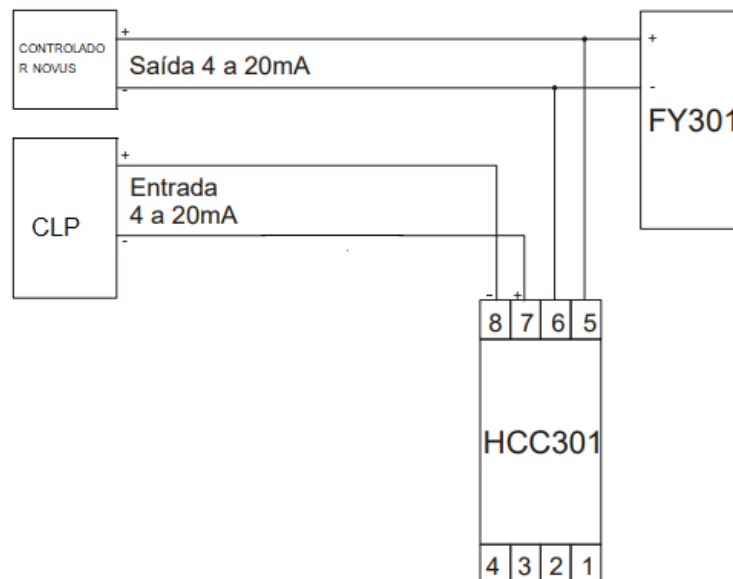
### 3.3.2 Protocolo de Comunicação HART

O protocolo HART utiliza um padrão para sobrepor sinais de comunicação digital a um sinal analógico 4-20mA proveniente de um transdutor. A transferência de dados ocorre a 1200 bps (*bits* por segundo) sem interromper o sinal analógico, além de permitir que uma aplicação mestre obtenha duas ou mais atualizações por segundo. Todavia, este protocolo de comunicação fornece, pelo menos, dois canais de comunicação simultâneos: o sinal analógico de 4-20mA e um sinal digital. O sinal analógico comunica o valor primário medido, no caso da presente aplicação, o percentual de abertura do posicionador pneumático que modula a válvula controladora. O sinal digital comunica informações adicionais, mas não será utilizado para a aplicação.

### 3.4 INSTALAÇÃO

A implementação do conversor no circuito se dá através de ligações elétricas básicas em que o sinal de corrente enviado do controlador automático para o posicionador pneumático, é recebido também pelo conversor e através da comunicação HART, envia uma saída de corrente para o CLP, assim como representado no diagrama da Figura 15.

**FIGURA 15:** Diagrama Elétrico de Ligação do Conversor Smar HCC301.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

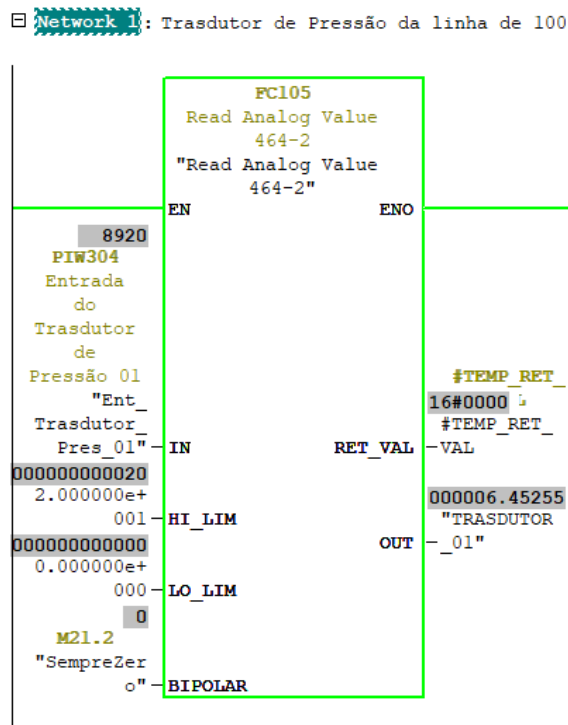
Realizada todas as implementações em campo, através da instalação dos componentes em meio ao sistema de controle, objetivando um monitoramento preciso, é possível obter os sinais do controle para auxílio do processo operacional.

### 4.1 MONITORAÇÃO DO SINAL DO TRANSDUTOR DE PRESSÃO

A monitoração de todos os sinais do laminador, inclusive o do transdutor de pressão é realizada a partir de um *software* específico de monitoração de sinais, de maneira instantânea e ainda sendo possível a armazenagem de históricos dos dados monitorados.

Após a realização de toda a ligação elétrica, o sinal de corrente fornecido pelo instrumento é lido na lógica do CLP através da entrada analógica do mesmo. Posteriormente foi realizado o tratamento deste sinal em um bloco de leitura de sinais analógicos. Na figura 16, é possível analisar o bloco que recebe o sinal proveniente do instrumento e realiza o tratamento do mesmo.

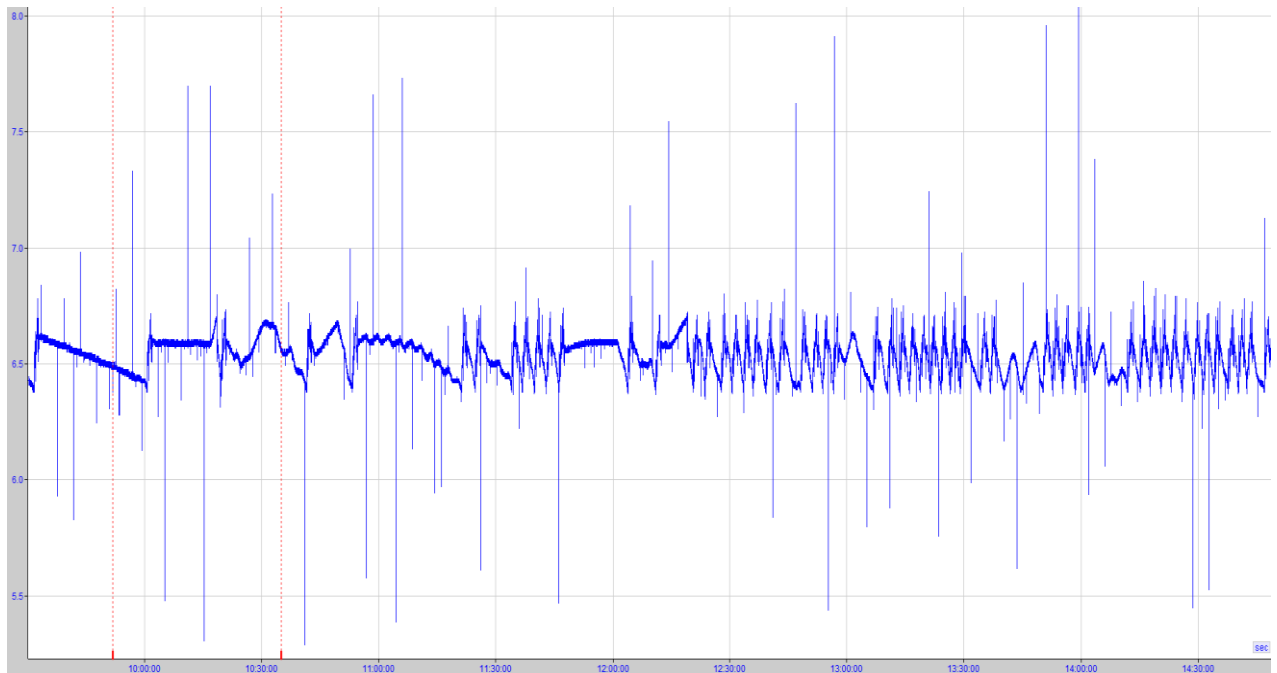
**FIGURA 16:** Bloco de leitura e tratamento de valores analógicos do transdutor de pressão.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

Através do sinal disponível no CLP foi realizada a comunicação do mesmo com o *software* de monitoramento de sinais sendo possível analisar o mesmo de maneira temporal, assim como pode ser observado na Figura 17, onde o sinal lido na saída do bloco do CLP é monitorado em tempo real, evidenciando o valor de pressão da linha que normalmente varia entre 5 e 7 bar, mas sempre objetivando estar sobre o *set point* estabelecido pelo controlador de 6,5 bar.

**FIGURA 17:** Representação do sinal lido pelo transdutor de pressão



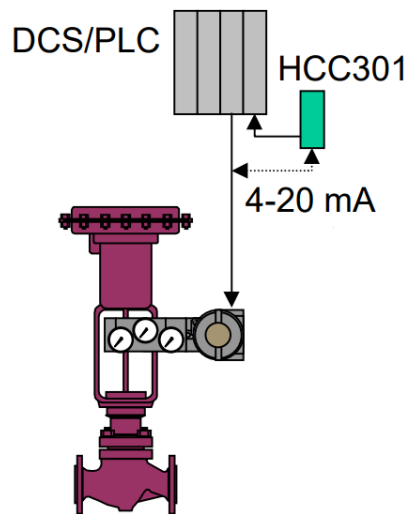
Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

## 4.2 MONITORAÇÃO DO SINAL DO POSICIONADOR

Realizando a instalação do conversor HCC301 no circuito, obtém-se a configuração apresentada na Figura 18, a qual mostra o *layout* físico de forma simplificada do sistema de controle de pressão. Onde é possível visualizar o sinal que é emitido do controlador para o posicionador pneumático, passando pelo conversor HCC301 e retornando através deste para um CLP.

Seguindo o esquema de ligação demonstrado anteriormente na Figura 15, é possível receber o sinal de corrente na entrada analógica do CLP. Assim como na monitoração do sinal do transdutor, foi utilizado um bloco de leitura e tratamento do sinal analógico no *software* Siemens *Step7*, responsável pela programação do CLP.

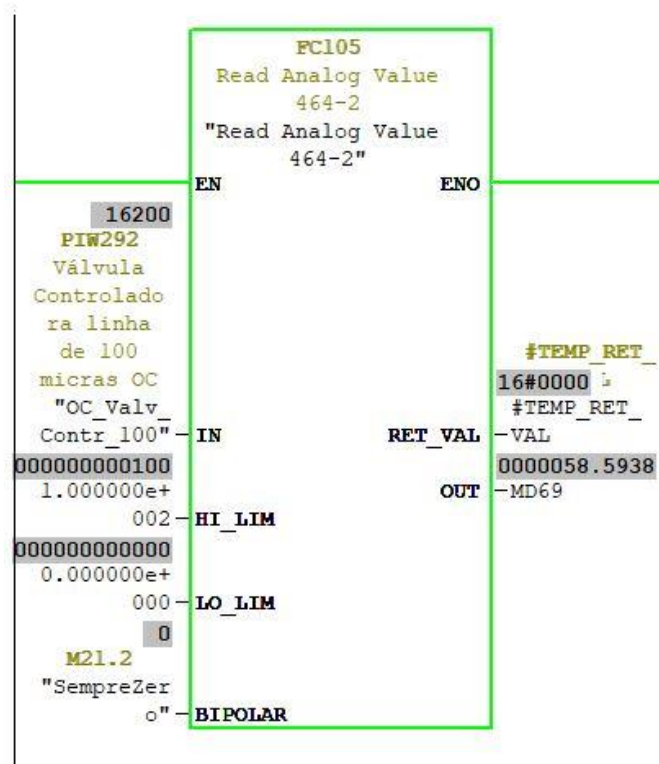
FIGURA 18: Layout do Controle de Pressão



Fonte: SMAR (2008). Adaptado pelo autor (2024).

A Figura 19 apresenta como foi parametrizado o bloco mencionado, utilizando os valores de 0 e 100 para limites mínimo e máximo, respectivamente. Tais valores representam o range do percentual de abertura da válvula controladora.

FIGURA 19: Bloco de leitura e tratamento de valores analógicos do posicionador.



Fonte: SMAR (2008). Adaptado pelo autor (2024).



Na saída do bloco de monitoração e tratamento do sinal, foi utilizado uma memória para que se obtenha o valor da porcentagem de abertura em tempo real. Tal memória foi direcionada, realizando a comunicação através do *software* do CLP para o *software* de monitoração de sinais objetivando a monitoração gráfica temporal e com histórico para busca de eventos. Na Figura 20, pode-se observar o comportamento do sinal, o mesmo retrata diretamente o funcionamento e posição física da válvula controladora em campo, realizando o controle de pressão.

**FIGURA 20:** Representação do sinal de porcentagem de abertura do posicionador.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2024).

Analisando a composição do sinal obtido no monitoramento, é possível concluir que há uma tendência no comportamento do controle, em condições normais de operação e com o processo de laminação completamente estabilizado.

#### 4.3 CONTROLE PREDITIVO DE FALHAS

A partir da obtenção do sinal da porcentagem de abertura da válvula controladora, é possível realizar diversos tratamentos em relação ao sinal. Essa oportunidade necessita de uma avaliação minuciosa do comportamento do sinal durante o funcionamento, com o intuito definir quais são as características do mesmo

pertinente com as diversas condições oferecidas pelo processo de laminação. Após compreender tal desempenho, é factível a introdução de aspectos preditivos para auxílio no monitoramento de falhas relacionadas ao processo de controle de pressão.

Em conformidade com o comportamento do sinal, se torna executável a geração de alarmes em supervisorio e envio imediato de *e-mails* aos responsáveis técnicos, que evidenciam para a equipe de manutenção um comportamento anormal do controle de pressão, possibilitando assim o intertravamento das condições que permitem o prosseguimento do processo de laminação, impedindo que haja a ocorrência de sucata no laminador, cenário considerado o mais crítico em relação à produção, uma vez que gera grande desperdício de todos os fatores envolvidos para a obtenção do produto final. Além de dar o direcionamento para a causa da anormalidade, possibilitando uma rápida, assertiva e contundente atuação e solução do problema.

Os resultados obtidos através da monitoração são de enorme relevância para toda equipe de manutenção, uma vez que a partir do monitoramento em tempo real e o armazenamento destes dados, torna-se possível analisar com maior precisão as possíveis causas relacionadas ao sistema de controle de pressão, indicando quando a falha se iniciou e quais as características específicas da mesma, permitindo ainda uma atuação eficaz e eficiente para a solução.

#### 4.4 APLICAÇÃO E ABRANGÊNCIA DO PROJETO

A título de aplicação para o presente trabalho, o desenvolvimento do projeto foi realizado inicialmente em apenas uma linha de pressão da Central de Lubrificação OC. A partir do resultado completamente favorável obtido e eminente vantagem apresentada à equipe de manutenção, o projeto se encontra em abrangência para as demais linhas de pressão de todas as centrais de lubrificação do laminador, em fase de levantamento dos recursos necessários para que todo o processo esteja amparado pela monitoração criada.

## 5 CONCLUSÃO

Durante toda a elaboração do presente trabalho, foi apresentado o cenário vivenciado em uma usina siderúrgica multinacional, onde é necessário obter

resultados que são convertidos em lucro para a empresa, e a partir disto, toda e qualquer inovação implementada tem sua relevância, visando sempre reduzir os índices de parada de produção e por consequência, os riscos relacionados à segurança dos colaboradores que normalmente se envolvem diretamente para a resolução de falhas. Se tratando do controle de pressão de uma central de lubrificação do laminador, tais conceitos são profundamente abordados, uma vez que é uma etapa do processo de produção extremamente crítica. Os conceitos práticos tratados, atrelados aos conhecimentos teóricos, desenvolvidos durante a graduação são muito relevantes.

Métodos inovadores que oferecem novas ferramentas para a equipe de manutenção são bastante considerados. Etapas do processo que geram prejuízo para a boa funcionalidade da produção necessitam de atenção redobradas e criar um sistema de monitoração para o controle de pressão fornece um material muito produtivo para a manutenção, facilitando a atuação em campo, reduzindo os índices de parada de produção e sucata no processo, aumentando a confiabilidade, evitando trocas desnecessárias de componentes e consequentemente menores gastos e maiores lucros.

## **ABSTRACT**

Creating methods to help the increase of productivity and reliability of operational processes in the steel industry is essential to benefit the rolling process, which is located in a market that grows exponentially on a daily basis. Maintenance teams need tools that offer accurate and efficient analysis for effective action, benefiting the production process, consequently reducing unscheduled downtime rates. Monitoring pressure control signals is crucial to ensure the safety and reliability of the process and associated components. The present work presents a general approach focused on the rolling process of a steel plant located in the city of Juiz de Fora, and the implementation of a pressure control monitoring system in the lubrication plants of the referred rolling mill.

**Keywords:** Lamination. Reliability. Maintenance. Automation.

## **REFERÊNCIAS**

ABREU, Raul Amorim de. **Lubrificantes e Lubrificação**. v.1. São Paulo: Clube de Autores, 2023. 1 v.

ABREU, Raul Amorim de. **Lubrificantes e Lubrificação**. v.2. São Paulo: Clube de Autores, 2023.

ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Gestão da Manutenção Aplicado às Áreas Industrial, Predial e Elétrica**. São Paulo: Érica, 2017.

ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Lubrificação Industrial**: tipos e métodos de lubrificação. São Paulo: Érica, 2017.

ALMEIDA, Paulo Samuel de. **Manutenção Mecânica Industrial**: conceitos básicos e tecnologia aplicada. São Paulo: Érica, 2018.

ARAUJO, Luis Antonio de. **Manual de Siderurgia**. 2. ed. São Paulo: Arte e Ciência, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6215: **Produtos Siderúrgicos**. Rio de Janeiro.1962.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5903: **Produtos Planos Laminados de Aço**. Rio de Janeiro.1987.

BLAIN, Paul. **Laminação e Forjamento dos Aços**. São Paulo: Abm, 1964.

CAMPOS, Mário César M. de Massa; TEIXEIRA, Hebert C. G.. **Controles Típicos de Equipamentos e Processos Industriais**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

CURTARELLI, Vitor Probst. **Análise de Sinais e Sistemas Lineares**. Florianópolis: Clube de Autores, 2020.

EXIMPORT LUBEQUIP (org.). **Sistema de Lubrificação**. 2021. Disponível em: <https://eximport.com.br/onde-usamos-sistemas-de-lubrificacao-forcada/#:~:text=J%C3%A1%20no%20mecanismo%20de%20lubrificac%C3%A7%C3%A3o,antes%20do%20retorno%20ao%20reservat%C3%B3rio>. Acesso em: 26 abr. 2024.

FERNANDES FILHO, Guilherme Eugênio Filippo. **Bombas, Ventiladores e Compressores**: fundamentos. São Paulo: Érica, 2018.

FONSECA, Fabricio Ramos da; SANTOS, Fabio Lobue dos; COELHO, Marcelo Saraiva. **Sistemas Digitais de Controle industrial**. São Paulo: Senai, 2017.

FRANÇA, José Raphael Olegário; LIMA, Aline da Costa Miranda; KLUG, Jeferson Leandro. **Desenvolvimento do tratamento térmico do vergalhão CA50 em rolo pelo processo stelmor**. In: 52º Seminário de Laminação, Rio de Janeiro, 2015.

FRANCHI, Claiton Moro. **Instrumentação de Processos Industriais: princípios e aplicações**. São Paulo: Érica, 2015.

**FUNDAMENTOS de Instrumentação: pressão/vazão/temperatura**. São Paulo: Senai, 2017.

GARCIA, Claudio. **Controle de Processos Industriais**. São Paulo: Blucher, 2018.

MONTEIRO, Abner Quadros. **Gestão Industrial: com ênfase em inovação tecnológica**. São Paulo: Abner Quadros, 2023.

MOREIRA, Ilo da Silva. **Sistemas Hidráulicos Industriais**. São Paulo: Senai, 2015.

MOURÃO, Marcelo Breda *et al.* Introdução à Siderurgia. São Paulo: ABM - Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2007.

PARKER DISTRIBUIDOR (org.). **Reservatório Hidráulico: como cuidar do seu. Como Cuidar do Seu**. Disponível em: [https://industrial4-0.com.br/reservatorio-hidraulico-como-cuidar-do-seu/#:~:text=O%20reservat%C3%B3rio%20armazena%20o%20fluido,equipamento%20\(linha%20de%20suc%C3%A7%C3%A3o\)](https://industrial4-0.com.br/reservatorio-hidraulico-como-cuidar-do-seu/#:~:text=O%20reservat%C3%B3rio%20armazena%20o%20fluido,equipamento%20(linha%20de%20suc%C3%A7%C3%A3o).). Acesso em: 24 abr. 2024.

PINEZI, A. **Descrição Funcional: automação do DS8 e PLC**. Juiz de Fora: Abb, 2006.

PRIMETALS (org.). **Coil handling and compacting systems**. Worseter: Primetals, 2020. Disponível em: [https://www.primetals.com/fileadmin/user\\_upload/content/01\\_portfolio/4\\_hot-rolling-long/rod-mill/COIL\\_HANDLING\\_AND\\_COMPACTING\\_SYSTEMS.pdf](https://www.primetals.com/fileadmin/user_upload/content/01_portfolio/4_hot-rolling-long/rod-mill/COIL_HANDLING_AND_COMPACTING_SYSTEMS.pdf). Acesso em: 16 abr. 2024.

---

PRIMETALS (org.). **Morgan stelmor controlled cooling conveyor system.** Worseter: Primetals, 2020. Disponível em: [https://www.primetals.com/fileadmin/user\\_upload/content/01\\_portfolio/4\\_hot-rolling-long/rod-mill/brochures/MORGAN\\_STELMOR\\_CONTROLLED\\_COOLING\\_CONVEYOR\\_SYSTEM.pdf](https://www.primetals.com/fileadmin/user_upload/content/01_portfolio/4_hot-rolling-long/rod-mill/brochures/MORGAN_STELMOR_CONTROLLED_COOLING_CONVEYOR_SYSTEM.pdf). Acesso em: 15 abr. 2024.

REGONE, Wilson. **Simulação da laminação a quente de um aço livre de intersticiais através de ensaios de torção.** 2001. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2001.

RIZZO, Ernandes Marcos da Silveira. **Processo de Laminação dos Aços: Uma Introdução.** São Paulo: Blucher, 2007.

SENAI. **Instrumentação Geral.** São Paulo: Senai, 2015.

SMAR. **Conversor Hart para Corrente.** São Paulo: Smar, 2008.

**TREINAMENTO de Laminação.** Juiz de Fora: Arcelor Mittal, 2012.