

APLICAÇÃO DO MÉTODO PDCA NO CONTROLE DO RENDIMENTO METÁLICO DO MATERIAL NERVURADO DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE UMA SIDERURGIA

Milena Aparecida Fernandes Garcia¹
Natália Fernandes Pinto²

RESUMO

Tendo em vista que os *KPI's* são de extrema importância dentro de uma organização, uma vez que auxiliam na gestão à vista, no controle de processo, na implementação de ações, na tomada de decisões e na redução de custos, o presente artigo aponta o rendimento metálico como um dos indicadores mais relevantes em um processo de laminação. A metodologia utilizada é classificada como aplicada e exploratória, iniciando com um estudo bibliográfico para embasar o estudo que envolve dados quantitativos e qualitativos. Em seguida, foram filtrados os principais argumentos e elaborado o plano de ação utilizando três ferramentas da qualidade com o intuito de reduzir perdas metálicas e atingir a meta do indicador chave de desempenho, buscando sempre a melhoria contínua. Durante o estudo foi possível entender melhor o processo produtivo de um laminador, as perdas que ocorrem no material laminado, as ferramentas da qualidade e a importância de indicadores chave de desempenho dentro do setor. Através da aplicação do método *PDCA*, do diagrama de causa e efeito e da planilha *5W2H*, criou-se nove ações que resultaram no aumento gradativo em relação ao ano anterior. Infelizmente, não foi possível realizar o último "*H*" *How Much* da planilha *5W2H* que significa "quanto custará" por se tratar de dados financeiros confidenciais da empresa, mas é de suma importância ressaltar que o controle de um indicador chave de desempenho de rendimento metálico impacta diretamente nos custos de processos de laminação de uma siderurgia.

Palavras-chave: rendimento metálico; indicador chave de desempenho; laminação; material nervurado; método *PDCA*.

ABSTRACT

Given that KPIs are extremely important within an organization, since they assist in sight management, process control, implementation of actions, decision making and cost reduction, this article points to performance metallic as one of the most relevant indicators in a rolling process. The methodology used is classified as applied and exploratory, starting with a bibliographic study to support the study that involves quantitative and qualitative information. Then, the main arguments were filtered and the action plan was elaborated using three quality techniques in order to reduce metallic losses and reach the goal of the key performance indicator, always seeking continuous improvement. During the study it was possible to better understand the

¹ Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora – milenafernandesgarcia@gmail.com
(Graduando em Engenharia de Produção)

² Rede de Ensino Doctum – Unidade Juiz de Fora – natyferf@hotmail.com (Orientadora)

production process of a laminator, the losses that occur in the laminated material, the quality techniques and the importance of key performance indicators within the sector. Through the application of the PDCA method, the cause and effect diagram and the 5W2H spreadsheet, nine actions were created that resulted in a gradual increase compared to the previous year. Unfortunately, it was not possible to perform the last “H” How Much of the 5W2H spreadsheet which means “how much it will cost” because it is confidential financial information of the company, but it is extremely important to emphasize that the control of a key performance indicator of metallic performance directly impacts the costs of a steel mill's rolling processes.

Keywords: metallic yield; key performance indicator; lamination; ribbed material; PDCA method.

1. Introdução

Diante do atual cenário competitivo, as empresas que fazem parte do setor siderúrgico no Brasil visam a melhoria de processos e produtos, afim de fazer parte do mercado com produtos de alta qualidade e custos baixos. De acordo com Lopes *et al.* (2016), o Brasil é afetado pela concorrência, onde o aço importado entra no mercado a baixo custo e a redução dos custos de produção é fundamental para a operação contínua da siderúrgica nacional. Um fator que influencia na busca por resultados satisfatórios nos principais indicadores chave de desempenho (*KPI*) da área de laminação de uma siderurgia são as perdas metálicas que ocorrem durante o processo.

A empresa do ramo siderúrgico se juntou a essa situação e, de acordo com a política de melhoria contínua, visa garantir a qualidade de seus produtos a custos baixos. Desse modo, é fundamental evoluir o índice do rendimento metálico (RM) que influencia diretamente no custo de produção do laminador.

Conseqüentemente, os objetivos do presente artigo científico são: aplicar ferramentas da qualidade como, o método *PDCA*, a planilha *5W2H* e o diagrama de causa e efeito no controle do indicador chave de desempenho do material nervurado do processo de laminação a quente de uma siderurgia, com base nos dados coletados durante o período de janeiro a dezembro de 2019 referentes às perdas metálicas durante o processo, atingir a meta estabelecida no indicador chave de desempenho mensalmente e trabalhar a melhoria contínua.

Segundo Pereira (2019), para qualquer empresa que queira permanecer no mercado competitivo atual, a necessidade de melhoria ainda é inerente, o que torna a busca por ferramentas de qualidade muito intensa para aprimorar seus processos e

serviços. Os métodos do estudo bibliográfico tiveram como tipo de pesquisa: aplicada e exploratória envolvendo dados quantitativos e qualitativos.

2. Referencial Teórico

2.1. Gestão da Qualidade Total

No ano de 1950 surgiu o nascimento de uma nova filosofia de trabalho, voltada para gestão de qualidade propriamente dita, sendo desenvolvidos novos métodos, técnicas e conceitos. O pós-guerra teve importância crucial nesse desenvolvimento, uma vez que as necessidades do mercado se alteraram e era necessário se adaptar ao ambiente externo. Em um cenário de escassez, as empresas se viram obrigadas a pensar em um planejamento estratégico, porém este planejamento se consolidou apenas na década de 1980 (BALSANELLI; JERICÓ, 2005). Segundo Carpinetti (2016), a Gestão de Qualidade Total (GQT) tem como base o foco no cliente, trabalho em equipe envolvendo a organização como um todo e tomada de decisões a partir de dados obtidos, além da busca por melhoria contínua. Nesse modelo de gestão é importante que haja grande engajamento dos gestores e de toda equipe, buscando melhorias no processo e, conseqüentemente, melhores resultados. Com a filosofia da GQT, todo o sistema da organização é afetado.

Para Paladini (2019), o princípio básico parte de atender ao cliente da melhor forma possível, para isso, os erros devem ser corrigidos de forma eficiente para que não ocorram novamente, os sistemas de controle devem ser abrangentes a todas as áreas envolvidas, gerando espírito de equipe e responsabilidade sobre os envolvidos.

2.1.1. Método PDCA

Segundo Andrade (2003), na década de 1930 o engenheiro e estatístico Walter A. *Shewhart* deu origem ao ciclo de “*Shewhart*” mais conhecido como ciclo “*PDCA*”. Posteriormente na década de 1950 o engenheiro William E. *Deming* utilizou o *PDCA* como ferramenta da gestão da qualidade junto aos japoneses, desde então essa ferramenta se popularizou e passou a ser conhecida como ciclo de “*Deming*”.

De acordo com Rodrigues *et al.* (2008), na língua inglesa *PDCA* significa (*Plan-Do-Check-Act*), na língua portuguesa significa (Planejar-Executar-Verificar-Agir). Conforme figura 1, o ciclo possui quatro etapas. Henrique (2019) descreve as etapas como:

- P: planejar, identificar a falha, estabelecer metas, elaborar o plano de ação, analisar o fenômeno;
- D: executar o plano de ação, implementar o planejamento;
- C: verificar dos resultados e comparar com as metas;
- A: atuar criando novas ações para o início de um ciclo e/ou padronizar o resultado obtido.



Figura 1 – Fases do ciclo *PDCA*

Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Para Gomes Filho e Gasparotto (2019), a ferramenta é um ciclo que se utiliza na gestão da qualidade e no controle de processos obtendo vantagens competitivas, possibilitando altos níveis de melhorias contínuas de desempenho, identificando e analisando causas fundamentais, planejando ações de melhoria, avaliando o progresso, controlando a conformidade da produção, atendendo a requisitos e reduzindo custos. Uma vez que um ciclo que encerra, é de suma importância o começo de outro, dando continuidade à melhoria contínua.

2.1.2. 5W2H

Segundo Mello *et al.* (2019), a planilha *5W2H* é uma ferramenta de planejamento constituída por um relatório dividido por colunas, onde cada uma delas é encabeçada por um título (onde as letras representam iniciais de palavras em inglês, na sua origem). De acordo com a figura 2 o modelo conceitual do *5W2H* é descrito da seguinte forma:

MÉTODO	PERGUNTA	SIGNIFICADO	EXPLICAÇÃO
5W	WHAT?	O QUE SERÁ FEITO?	AÇÃO, ETAPAS, DESCRIÇÃO
	WHY?	PORQUE SERÁ FEITO?	JUSTIFICATIVA, MOTIVO
	WHERE?	ONDE SERÁ FEITO?	LOCAL
	WHEN?	QUANDO SERÁ FEITO?	TEMPO, DATAS, PRAZOS
	WHO?	POR QUEM SERÁ FEITO?	RESPONSABILIDADE PELA AÇÃO
2H	HOW?	COMO SERÁ FEITO?	MÉTODO, PROCESSO
	HOW MUCH?	QUANTO CUSTARÁ?	CUSTO OU GASTOS ENVOLVIDOS

Figura 2 – Modelo conceitual do *5W2H*

Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Santos *et al.* (2014), afirmam que a ferramenta possibilita que todas as informações necessárias estejam organizadas para a execução de um planejamento. A ferramenta é citada por pesquisadores da área como sendo uma planilha de fácil entendimento e que possibilita a organização efetuar o plano de modo organizado fazendo com que os gestores executem o mesmo de forma bem planejada.

2.1.3. Diagrama de causa e efeito

De acordo com Carpinetti (2016), o diagrama de Ishikawa é uma ferramenta da gestão da qualidade total, desenvolvida pelo engenheiro químico Kaoru Ishikawa, com o objetivo de demonstrar a alguns engenheiros de uma indústria japonesa como os processos são interligados. Devido ao seu formato, é conhecido também como diagrama espinha de peixe e como diagrama de causa e efeito. É uma ferramenta utilizada no controle de gestão da qualidade, na melhoria contínua de processos, na ramificação de causas prováveis de um problema e na tomada de decisões. Conforme figura 3, o diagrama é estruturado em “6M” sendo eles: método, material, mão de obra,

medidas, máquinas e meio ambiente.

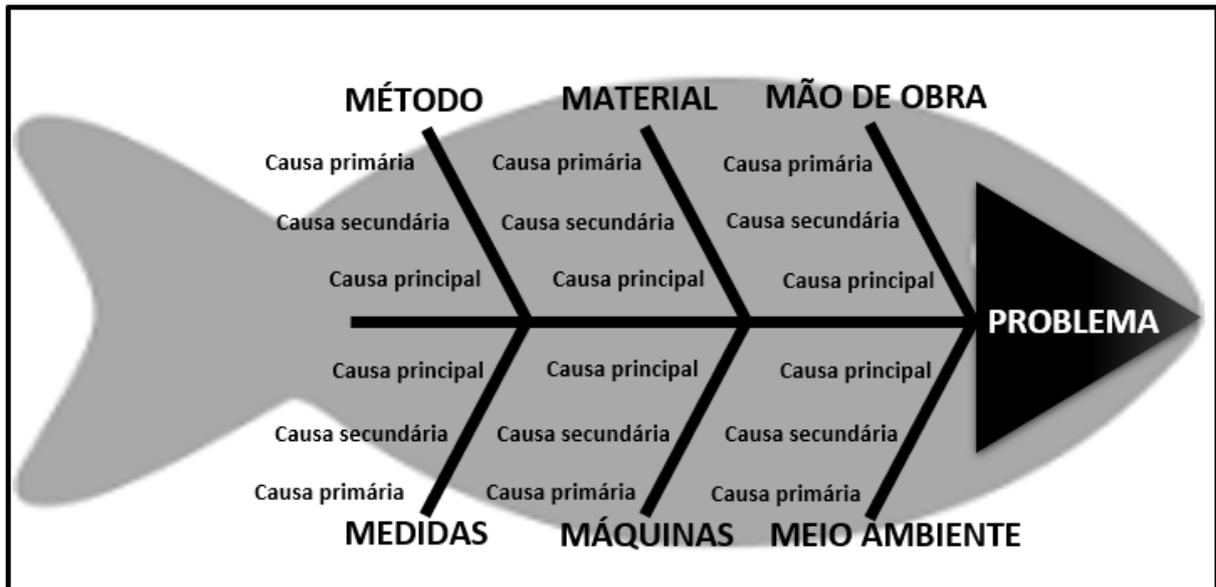


Figura 3 – Diagrama de causa e efeito

Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Para Cyrino (2016), método: é o procedimento no qual se executa o problema; material: é a matéria-prima utilizada para causar o efeito; mão-de-obra: são os colaboradores que atuam diretamente na falha; medida: são dispositivos que mensuram o produto durante a sua fabricação; máquinas: são os equipamentos que influenciam nas anomalias; meio ambiente: são todos os fatores externos (clima, layout, calor, atmosfera) que atuam causando avarias.

2.2. Tipos De Indicadores

De acordo com Ferreira (2019), os indicadores são geralmente divididos em dois tipos. O primeiro fornece informações sobre o sucesso da estratégia seguida (ou seja, fatos passados) e o segundo tipo oferece informações que direcionam ou podem ser relevantes para o desempenho futuro da empresa. Esse tipo de indicador permite que os profissionais tomem medidas preventivas para aumentar a probabilidade de alcançar objetivos estratégicos. Geralmente são métricas capturadas em cada nível do processo.

Para Parmenter (2015), os indicadores são divididos em três níveis: indicadores chave de resultados (*KRI*), indicadores de desempenho (*PI*) e indicadores chave de desempenho (*KPI*). Os *KRI*'s são usados para analisar longos períodos (como mensais ou trimestrais) e indicar se a empresa está se movendo na direção certa e

são caracterizados através de indicadores que refletem a satisfação do cliente e o retorno de investimentos. Posteriormente aponta os indicadores de desempenho (*IP*), que são caracterizados por um período mais curto e se concentram em uma atividade. Por fim descreve sobre os *KPI's*, como representação de um conjunto de medidas destinadas ao desempenho da organização, que são essenciais para o sucesso atual e futuro da organização.

2.2.1. Indicadores Chave de Desempenho

Para Borges e Carvalho (2011), na língua inglesa *KPI* significa (*Key Performance Indicator*) e na língua portuguesa significa “Indicadores chave de desempenho”. Os *KPI's* são ferramentas para avaliar o desempenho da organização, suas métricas devem ser comparadas às metas previamente estabelecidas. Segundo Prado (2019), empresas utilizam *KPI's* com o intuito de mensurar o seu progresso, demonstrando a eficiência com que ela atinge os seus objetivos.

Conforme Batista (2011), os *KPI's* surgiram da necessidade de as organizações medirem o efeito desejado, ou seja, para quantificar o desempenho de uma determinada organização, dessa maneira, seus gerentes podem entender melhor os resultados de suas atividades para determinar o nível de funcionários e departamentos, diante disso essa ferramenta tem sido amplamente utilizada em grandes empresas. Os *KPI's* reduzem a complexidade de verificar o desempenho organizacional por meio de um pequeno número de indicadores chave, facilitando assim o processo de avaliação e melhoria contínua.

2.3. Processo De Conformação Mecânica

Segundo Kiminami *et al.* (2013), denomina-se processo de conformação qualquer ação durante um processo a qual se aplica uma força mecânica resultando em deformação plástica de formas e dimensões em matriz de corpos metálicos. Para Soares e Cavalcanti (2013), o processo de conformação é de suma importância uma vez que se produz peças com qualidade em suas propriedades mecânicas com o mínimo de perda metálica.

2.3.1. Conformação Plástica

De acordo com Groover (2014), quando se aplica forças que excedem o limite de escoamento do material através de uma matriz em um corpo metálico causando a deformação plástica do mesmo denomina-se de conformação plástica. Esse processo pode ser classificado conforme alguns princípios como: temperatura e tipo de esforço. Os tipos de esforços exercidos são: tração, compressão, cisalhamento, flexão e torção. Em relação a temperatura de trabalho, cada processo requer um tipo de temperatura, podendo ser a frio, a morno ou a quente.

Para Bresciani Filho (2011), tração é um tipo de esforço aplicado nas extremidades de um material alongando o mesmo no sentido da reta de ação da força aplicada, compressão é um esforço externo realizado sobre o corpo metálico, cisalhamento são forças opostas com o intuito de romper o material, flexão é um esforço que tende a curvar ou dobrar o material, torção é uma força giratória sobre uma peça. Kiminami *et al.* (2013), cita os processos divididos em dois grupos: conformação de volumes e conformação de chapas. O grupo de conformação de volumes é caracterizado por trabalhar com a temperatura a quente e ter grandes deformações como no processo de laminação, trefilação, forjamento e extrusão. O grupo de conformação em chapas é caracterizado por realizações de trabalho a frio como nos processos de estampagem e dobramento. De acordo com a figura 4, os processos de conformação plástica podem ser classificados como: laminação, forjamento, extrusão, trefilação, dobramento e estampagem.

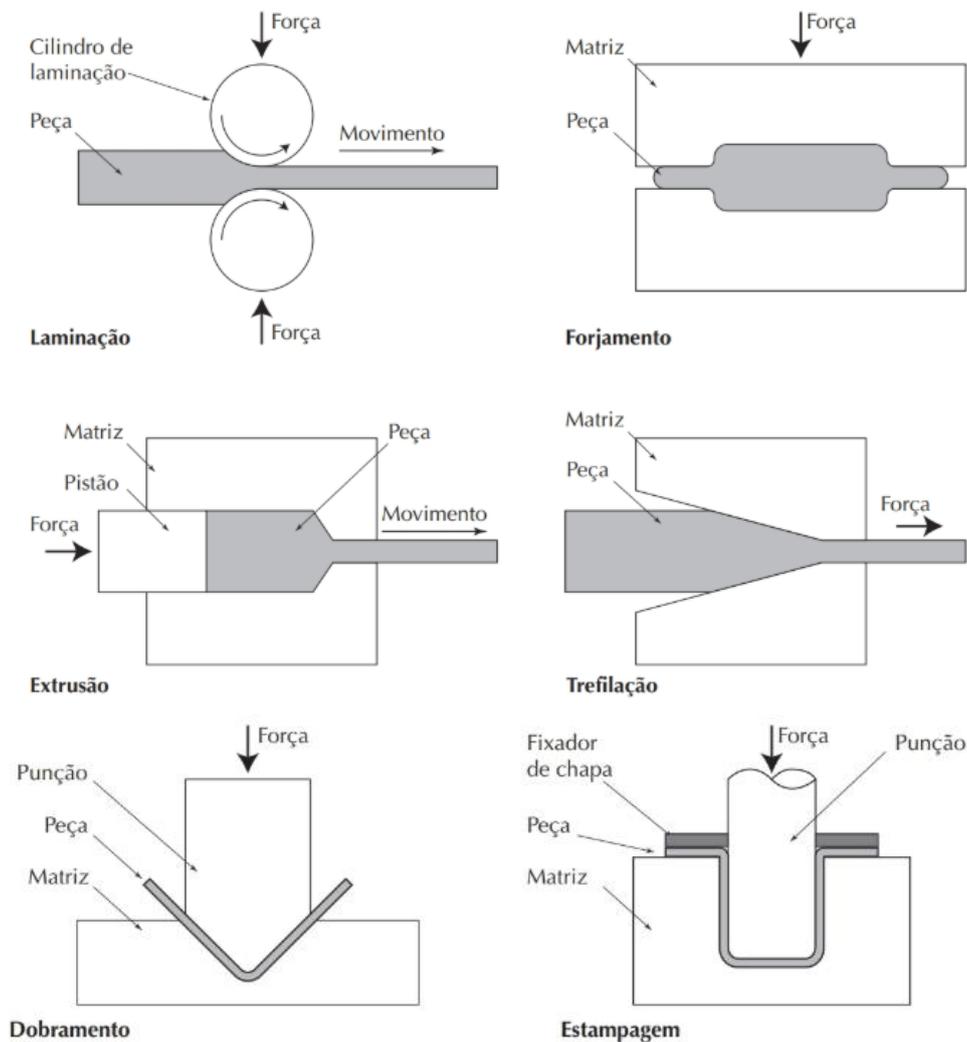


Figura 4 – Tipos de processo de conformação mecânica

Fonte: Adaptado de KIMINAMI *et al.*, (2013), p. 69.

Soares e Cavalcanti (2013) descreve os processos de conformação plástica como:

- Laminación: onde um corpo metálico, por exemplo, um tarugo, passa entre cilindros com a finalidade de reduzir o diâmetro do material de acordo com as especificações da produção sendo realizado a quente utilizando a força de compressão;
- Forjamento: é um processo realizado a quente com o esforço de compressão através de martelos ou prensas, ainda assim em alguns casos como na fabricação de peças pequenas como pinos e parafusos é utilizado a temperatura a frio;

- Extrusão: através de uma matriz o material é submetido a forças de compressão elevadas afim de reduzir a sua seção transversal;
- Trefilação: ao contrário da extrusão onde o material é “empurrado”, no processo de trefilação o mesmo é “puxado” com o intuito de reduzir o diâmetro;
- Dobramento: chapas finas metálicas são submetidas a forças de flexão em duas direções opostas provocando a deformação plástica, em ângulo, com raio de concordância em sua junção.
- Estampagem: uma força de compressão chamada “punção” é aplicada sobre chapas finas afim de estabelecer a forma de acordo com a matriz.

2.3.2. Laminação

Segundo Lira (2018), a laminação é um dos processos mais utilizados dentro dos métodos de conformação mecânica, afim de reduzir grandes seções como tarugos, para seções menores como vergalhões ou fio-máquina. Consiste em um processo contínuo de conformação à quente executado por compressão direta, sem retirada de material, visando obter deformações plásticas no corpo metálico.

De acordo com Vieira (2019), na primeira etapa do processo de laminação o material permanece dentro de um forno de reaquecimento a uma temperatura em torno de 900 a 1200°C até que o mesmo esteja uniformemente aquecido para reduzir o esforço que o laminador deve fazer para deformá-lo. Posteriormente o material sai do forno com uma temperatura por volta de 1200°C passando pela segunda etapa da laminação, o trem de desbaste; trem é um termo aplicado que significa um conjunto de gaiolas, cada gaiola possui um par de cilindros girando no sentido oposto. No processo de desbaste, o tarugo sofre deformações com alta temperatura em razão da temperatura que o mesmo saiu do forno. A terceira etapa do processo é conhecida como intermediário, ou trem médio, onde ocorre uma maior redução do diâmetro do material, a quarta etapa é conhecida como laminador acabador uma das etapas mais importantes, visto que, é nessa fase que ocorre os ajustes dimensionais da bitola³ do produto final, além do registro da logomarca no produto.

França *et al.* (2015), descreve o processo de laminação em relação a fabricação de vergalhões e fio-máquina em rolos partindo da quinta etapa do processo. Essa etapa é chamada de “stelmor” e é constituída por um formador de

³ Bitola: valor em milímetros do diâmetro da peça

espiras após a gaiola acabadora da quarta etapa, onde é espiralado e projetado sobre a esteira transportadora, que tem como objetivo transportar as mesmas até o coletor, onde as espiras são coletadas por ganchos e transportadas para o processo final. Por fim as bobinas são compactadas, amarradas, pesadas e transportadas para o setor de expedição da indústria. Takahashi (2014), descreve o processo de laminação em relação a fabricação de vergalhões em barras. Logo após a gaiola acabadora, as barras são cortadas conforme as especificações da produção e são conduzidas ao leito de resfriamento. A função do leito de resfriamento consiste em receber as barras com altas temperaturas e resfria-las até a temperatura ambiente para poder transportá-las para o processo final. No processo final, as barras são amarradas, pesadas e conferidas visualmente pelos colaboradores, afim de minimizar produtos não conformes, logo em seguida, as mesmas são encaminhadas para o setor de expedição.

Para Castro (2005), durante um processo de laminação a quente o material a ser laminado sofre perdas metálicas. A carepa é uma perda metálica que consiste em uma camada escura que ocorre na superfície dos metais durante um processo de fabricação a quente e através de uma reação com o meio externo, sendo assim, é necessário remover essa carepa com jatos d'água afim de se obter qualidade no produto final. Existem quatro etapas da carepa, sendo elas:

- A primeira carepa é aquela formada dentro do forno de reaquecimento devido à alta temperatura, em razão disso, é necessário à sua remoção durante a etapa de desbaste através de jatos d'água de alta pressão.
- A segunda é formada após a remoção da primeira durante a laminação no desbaste, e é removida durante a laminação no intermediário.
- A terceira é formada após a remoção da segunda durante o processo no laminador acabador.
- A quarta é uma junção da terceira camada de carepa com uma carepa adicional que surge durante o processo de resfriamento do produto no transporte das espiras para rolos e no leito de resfriamento para barras.

3. Metodologia

3.1. A empresa

Os dados obtidos para o estudo de caso são de uma indústria siderúrgica brasileira de grande porte. A área de laminação de produtos longos dessa empresa

possui uma capacidade produtiva de 1.000.000 toneladas/ano produzindo tanto rolo de fio máquina e vergalhão quanto barras de vergalhão.

3.2. Descrição do processo

O processo de laminação (figura 5) da empresa é dividido em dois laminadores sendo eles: laminador de rolos e laminador de barras.

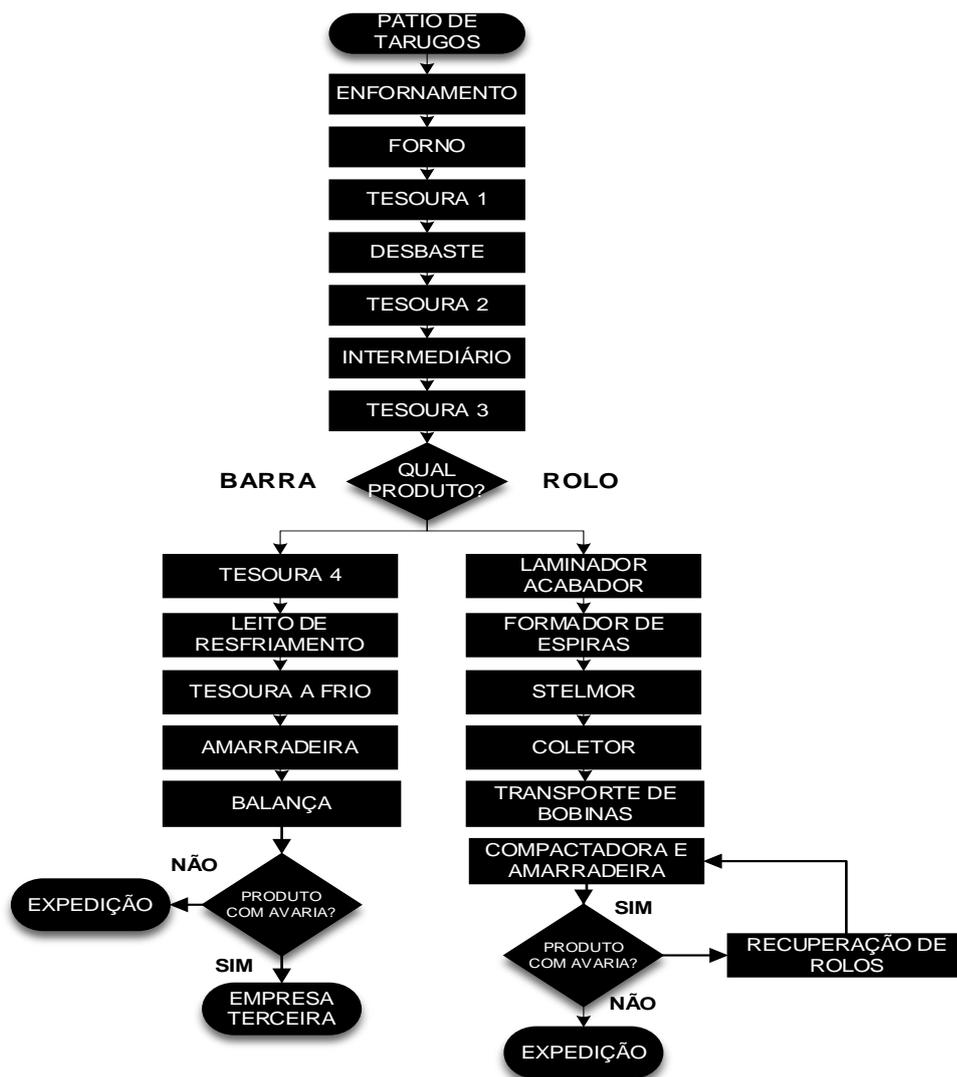


Figura 5 – Processo de laminação

Fonte: Elaborada pela autora (2020)

A matéria prima fica armazenada em um pátio de tarugos, em seguida o processo se inicia com o tarugo sendo pesado em uma balança e ao passar pela cabine de enforamento o mesmo é levado até o forno de aquecimento, onde permanece por volta de duas horas, após a saída do forno existe a tesoura 1, os

despontes realizados nela ocorrem quando há a necessidade de eliminar a cabeça fria de uma peça, em seguida o tarugo é encaminhado para o laminador desbastador onde sofre deformações com alta temperatura, ao sair da última gaiola do desbaste, o mesmo passa pela tesoura 2, sua função é descartar a cabeça e cauda do material devido baixa temperatura e defeitos em função de trincas internas e corte irregular, em seguida o mesmo passa pelo processo intermediário, onde ocorre uma maior redução do diâmetro, após essa etapa existe a tesoura 3 que realiza cortes na cabeça do corpo metálico e após essa etapa ocorre a divisão do laminador, de acordo com a produção programada o que for rolo segue pelo laminador de rolos e o que for barras segue pelo laminador de barras. No laminador de rolos após o intermediário, o tarugo passa pelo laminador acabador onde ocorre os ajustes dimensionais da bitola do produto final, além do registro da logomarca no produto, logo após a última gaiola do acabamento, o material é espiralado no formador de espiras e impulsionado sobre o stelmor, que tem como objetivo transportar as mesmas até o coletor, onde as espiras são coletadas por ganchos e transportadas para o processo de final.

Por fim as bobinas são compactadas, amarradas, pesadas e transportadas para o setor de expedição. Quando é detectada alguma avaria no rolo após sua compactação, o mesmo deve retornar ao processo para que possa ser recuperado. Para o processo de laminação de barras que ocorre após a gaiola acabadora, as barras são fracionadas pela tesoura 4 para serem conduzidas ao leito de resfriamento, posteriormente as mesmas sofrem cortes em uma tesoura a frio conforme as especificações do cronograma de produção, após são amarradas, pesadas e conferidas visualmente pelos colaboradores, afim de minimizar produtos não conformes, logo em seguida, as mesmas são encaminhadas para o setor de expedição e quando é detectada alguma avaria nas barras após a sua amarração, as mesmas são levadas a uma empresa terceira para sua recuperação.

3.3. Material Nervurado

De acordo com Nunes (2009), os materiais nervurados são barras de aço com seção transversal circular, utilizadas para reforçar os edifícios civis com estruturas de concreto armado. Nas construções civis, o concreto pode resistir à compressão e à tração das barras de aço, mas como as barras são dispostas em várias direções, elas também podem resistir às forças de torção e flexão.



Figura 6 – Material nervurado

Fonte: Elaborada pela autora (2020)

Os materiais nervurados (figura 6), são produzidos no Brasil em conformidade com a norma NBR7480, o que significa que todos os nervurados usados neste país devem ser certificados por um órgão de certificação e passar por auditorias regulares de produtos e processos de produção para atender às especificações da norma.

Para a norma ABNT NBR 7480, os nervurados podem ser realizados em barras ou fios de aço. Segundo Daroit (2012), o diâmetro da barra de aço é de 6,3 mm ou mais, e é produzida apenas pelo processo de laminação a quente sem quaisquer outros tipos de deformação e o fio de aço tem um diâmetro de 10 mm ou menos e é feito por um processo de conformação mecânica a frio (como trefilagem ou laminação de fio).

3.4. Método

O método utilizado no desenvolvimento do presente artigo é classificado como aplicado e exploratório por se tratar de um estudo de caso. A princípio a exploração de conteúdos que fundamentam o trabalho e ampliam o nível de conhecimento foi através de um estudo bibliográfico sobre o tema em eventos de engenharia, livros disponíveis na biblioteca digital do centro de engenharias Doctum, em teses, dissertações e artigos publicados.

A pesquisa foi desenvolvida em uma empresa de grande porte, do segmento siderúrgico. Por se tratar de um estudo que envolve dados quantitativos e qualitativos, coletou-se dados referentes ao período de janeiro a dezembro de 2019 relativos às perdas metálicas, visto que o indicador de desempenho de rendimento metálico é um dos indicadores mais relevantes em um processo que laminação a quente.

Posteriormente através dos dados coletados gerou-se gráficos que demonstrassem a evolução do rendimento metálico em relação a meta proposta pela alta gerência e se concluiu que somente no mês de março de 2019 obteve sucesso no indicador de desempenho.

Para auxiliar os colaboradores que atuam diretamente no processo relataram quais eram os principais fatores que causavam o aumento de perdas metálicas. Em seguida, foram filtrados os principais argumentos e elaborado o método *PDCA*, diagrama de causa e efeito, a planilha *5W2H* e o plano de ação utilizando três ferramentas da qualidade que auxiliam no planejamento, execução, verificação e aprimoramento de ações que foram implementadas com o intuito de reduzir perdas metálicas e atingir a meta do indicador de desempenho, buscando sempre a melhoria contínua.

4. Aplicação Do Método *PDCA*

4.1. Identificação do Problema (PLAN)

De acordo com Lopes *et al.* (2016), o rendimento metálico é um dos principais indicadores no setor de laminação, visto que afeta diretamente nos custos de produção, sendo essencial no atual cenário econômico do setor metalúrgico brasileiro. Rendimento metálico é uma das variáveis determinantes na busca por resultados satisfatórios dentro dos *KPI's* e se dá pela razão entre o peso capturado do produto na balança do processo final pelo peso do tarugo capturado na balança que fica posicionada em frente a cabine de enformamento no início do processo:

$$\text{Rendimento Metálico: } \frac{\text{Peso do produto final}}{\text{Peso do tarugo}} \% \quad (1)$$

Denomina-se perdas metálicas a diferença entre 100% e o rendimento metálico:

$$\text{Perdas Metálicas: } 100\% - \text{Rendimento Metálico} \quad (2)$$

Conforme figura 7, o eixo x faz referência aos meses e o eixo y faz referência ao rendimento. Somente durante o mês de março de 2019 atingiu-se a meta de 97,80% proposta pela gerência. Diante desse fato, surgiu-se a necessidade da atual pesquisa buscando propor ações que influenciam a redução de perdas, melhoria contínua no controle de processo e robustez na operação.

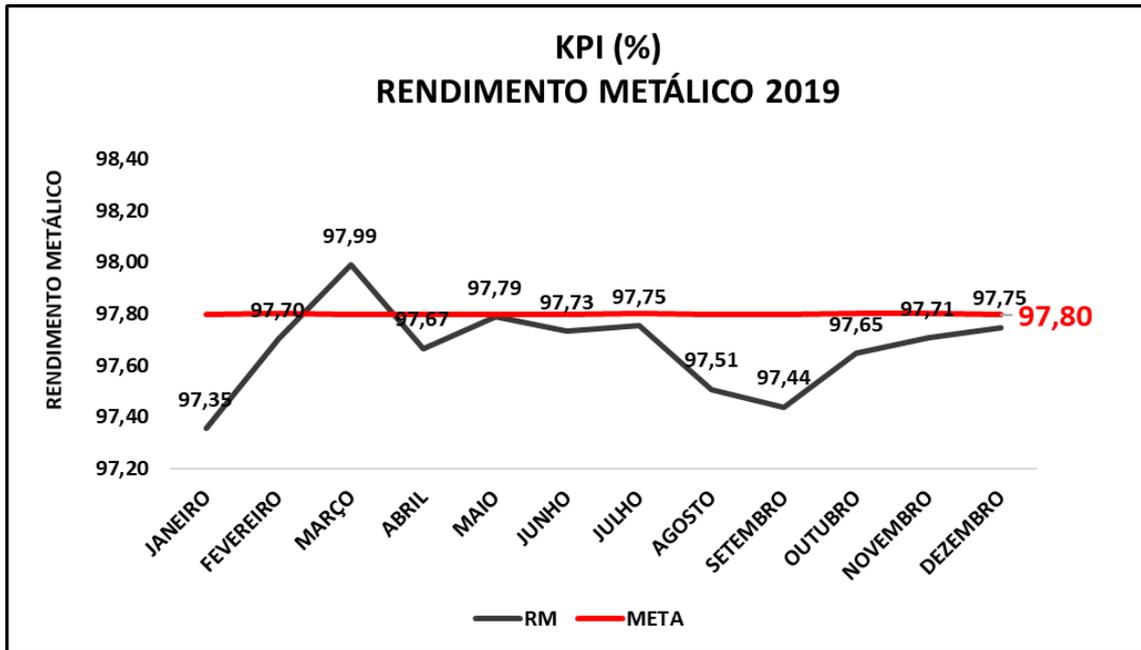


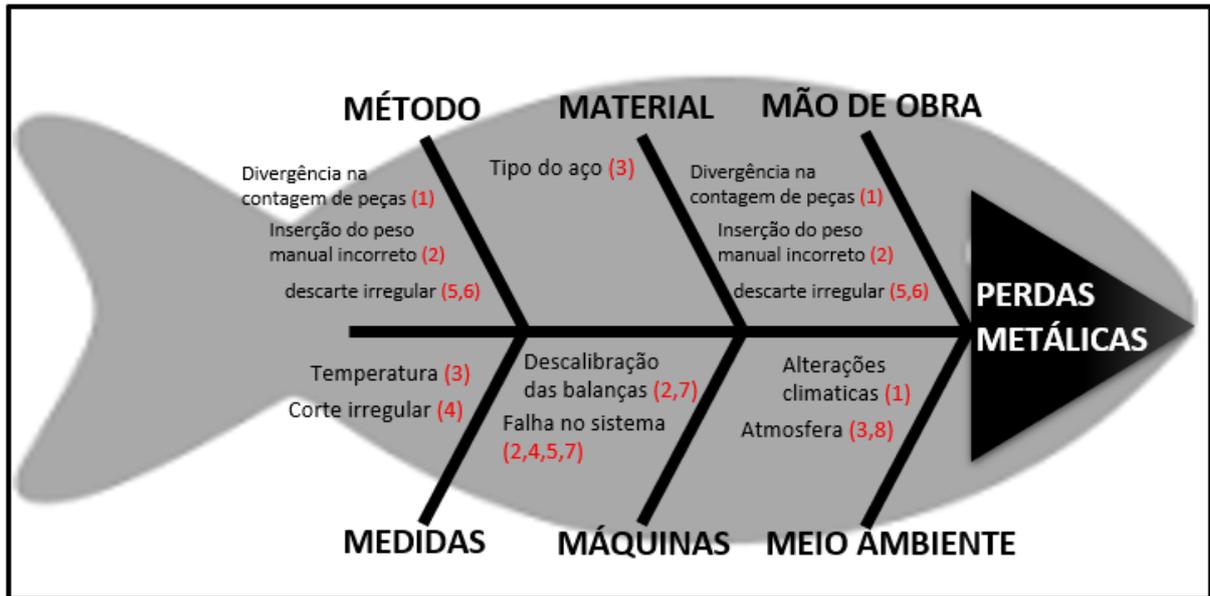
Figura 7 – Indicador de Rendimento Metálico 2019

Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Esse indicador evidencia a porcentagem em peso do tarugo que de fato foi convertido a produto depois das perdas provenientes do processo de laminação. Desse modo é fundamental identificar as principais causas que afetam o indicador citado.

4.1.1. Tipos de Perdas Metálicas

Com base nos resultados obtidos, realizou-se uma reunião com operadores, analistas, técnicos e supervisores com o intuito de analisar quais são os tipos de perdas metálicas durante o processo afim de aplicar ações para reduzir essa perda e aumentar o indicador de desempenho de rendimento metálico. Realizou-se um diagrama de causa e efeito para uma melhor visualização das causas (figura 8).



LEGENDA	
1	PÁTIO DE TARUGOS
2	BALANÇA DE ENFORNAMENTO
3	PERDA AO FOGO
4	TESOURAS
5	STELMOR
6	RECUPERAÇÃO DE ROLOS
7	BALANÇA DE ROLOS E BARRAS
8	Parada não programada

Figura 8 – Diagrama de causa e efeito

Fonte: Elaborado pela autora (2020)

As perdas são encontradas em algumas áreas como: pátio de tarugos, balança de enforamento, forno de reaquecimento, tesouras, stelmor, balança de rolos, balança de barras e podem ser encontradas também nas paradas não programadas que geram sucatas.

4.1.2. Pátio de Tarugos

Os tarugos são armazenados em um pátio coberto, porém estão expostos ao ar e as alterações climáticas, influenciando na qualidade dos mesmos, diante disso o rendimento metálico é afetado, uma vez que, defeitos físicos podem gerar sucatas e materiais rejeitados. Outro fator que impacta no rendimento é a divergência entre a

contagem de peças por corrida⁴ que o operador da cabine de enformamento faz com o operador do pátio.

4.1.3. Balança de Enformamento

O tarugo é direcionado para a balança de enformamento pelo operador, o peso é capturado pelo sistema e o tarugo é enformado automaticamente, porém existem algumas situações onde o peso do mesmo não é capturado pela balança e o operador deve inseri-lo no sistema manualmente. Há algumas situações em que a balança não se estabiliza rapidamente ou o sistema não consegue capturar o peso a tempo, assim, a alimentação do peso é feita pelo operador que coloca um peso padrão, alterando assim o rendimento real daquela peça. Em torno de 3% dos tarugos são enformados com peso manual. Outro fator que poderá afetar os índices de rendimento é a possibilidade de a balança estar descalibrada, ou seja, ela lerá o peso do tarugo errado e assim prejudicará o rendimento.

4.1.4. Perda ao Fogo

A perda ao fogo se dá pela formação de carepa na superfície do material laminado e a sua espessura depende da temperatura envolvida no processo, do tempo de exposição nestas temperaturas, da atmosfera e do tipo de aço. Normalmente um tarugo perde de 0,6 a 0,9% de massa metálica devido a oxidação⁵, que ocorre em grande parte no forno. Quando o tarugo é laminado a alta temperatura, a perda ao fogo é maior, quanto maior a perda ao fogo, menor é o índice de rendimento metálico. É de extrema importância controlar o tempo que o tarugo permanece no forno e em caso de paradas não programadas no laminador o indicador de RM é afetado.

4.1.5. Tesouras

Os cortes que são efetuados no material durante o processo são importantes para se obter qualidade no produto final. Existem quatro tesouras de cortes no laminador, sendo elas:

⁴ Corrida: conjunto de peças por bitola

⁵ Oxidação: ocorre quando a superfície metálica entra em contato direto com o ar, vapor d'água ou água.

- Tesoura 1: despontes realizados na tesoura 1 ocorrem quando é necessário eliminar cabeça fria de peça que ficou exposta ao ar no momento em que saiu do forno e não foi laminado no mesmo instante. Se ela não estiver bem regulada, o desponte não é bem realizado, havendo a necessidade de um novo corte, influenciando assim no RM.
- Tesoura 2: são realizados os despontes de 19 cm da cabeça e de 19 cm da cauda, com o intuito de eliminar a área fria da peça (cabeça) e as áreas com lasca (cabeça e cauda). A perda metálica é objetivada em 0,3% no RM, que corresponde a 6,3kg considerando um tarugo de 2089kg.
- Tesoura 3: são realizados despontes de cabeça de aproximadamente 60cm para eliminar a região fria da peça.
- Tesoura 4: as barras que serão encaminhadas ao leito de resfriamento são fracionadas para caber no leito, se por acaso acontecer uma falha no sistema, a barra é cortada indevidamente impactando no RM.
- Tesoura a frio: são realizados cortes nas barras de acordo com as especificações de produção, caso o comprimento de corte ajustado seja divergente do corte real, o RM é afetado.

4.1.6. Stelmor

No stelmor são descartadas 3 espiras na cauda de cada bobina e eventualmente são realizados cortes devidos a avarias visualizadas pelos operadores. Quedas irregulares das bobinas no formador de espiras e má formação de cabeça e de cauda geram danos ao material, forçando os operadores a realizar cortes fora do padrão.

4.1.7. Recuperação de Rolos

Quando é detectada alguma avaria no rolo após sua compactação, o mesmo deve retornar ao processo para que possa ser recuperado. O setor de recuperação de rolos é o setor onde ocorre o maior descarte de material em todo o processo de laminação, são retiradas todas as espiras que sofreram avarias e não foram identificadas durante o processo. Descarte irregular de espiras, sem seguir a quantidade padrão pode influenciar no rendimento.

4.1.8. Balança de Rolos e Barras

Na balança de rolos e de barras são pesadas todas peças laminadas e existe a possibilidade do surgimento de alguns problemas que podem influenciar diretamente no RM, são eles: falha das balanças, falha de aferição, falha no sistema na captação do peso e balança descalibrada.

4.1.9. Sucatas

O processo de laminação pode ser interrompido por diversos motivos, são eles: motivo elétrico, é quando ocorre picos de energia; motivo mecânico é caracterizado por falha nos equipamentos e operacional é quando os operadores cometem erros. As sucatas são geradas quando ocorre alguma interrupção no processo, além de afetar na produção, afeta diretamente no índice de rendimento metálico.

4.2. Execução do Plano de Ação (DO)

Após análise do indicador de desempenho de rendimento metálico referente aos meses de 2019 e os tipos de perdas metálicas. Conforme figura 9, um plano de ação foi elaborado para que o índice alcançasse a meta mensal durante os próximos meses.

PLANO DE AÇÃO						
O QUE?	POR QUÊ?	ONDE	COMO?	QUEM?	QUANDO	STATUS
Redução de 10cm no corte da tesoura 2	Aumento do RM em 0,08%	Tesoura 2	Fazendo testes e alterando os procedimentos	Analistas e operadores	02/01/2020	
Descarte correto na recuperação dos rolos	Para não reduzir o indicador	Recuperação de rolos	Reciclagem com os operadores repassando os procedimentos da empresa referente as inspeções de	Analistas	03/01/2020	
Contagem correta de tarugos no pátio	Contagem incorreta impacta nas corridas, logo impacta no RM	Pátio de tarugos e cabine de enformamento	Reciclagem com o operador da cabine de enformamento mostrando o impacto da contagem incorreta	Analistas	06/01/2020	
Corte correto nas tesouras	Corte incorreto reduz o rendimento e/ou gera sucata	Tesoura 1,2,3,4 e fria	Reciclagem com os operadores repassando os procedimentos da empresa referente aos cortes	Analistas	06/01/2020	
Procedimento para manutenção nas balanças de 15 em 15 dias	Captação do peso incorreto impacta no RM	Balança de enformamento / Balança de rolos / Balança de barras	Calibração	Operadores	06/01/2020	
Procedimento para controle da temperatura do forno de acordo com cada bitola em todas as corridas	Temperatura muito alta, maior perda metálica	Forno	Controlar pelo sistema de acordo com cada bitola a ser laminada	Operadores	06/01/2020	
Procedimento para manutenção nas tesouras de 15 em 15 dias	Corte incorreto reduz o rendimento	Tesoura 1,2,3,4 e fria	Manutenção nas navalhas, lubrificação do equipamento	Operadores	06/01/2020	
Procedimento para manutenção das correntes do stelmor de 15 em 15 dias	Para não gerar sucata ou cortes maiores de espiras	Stelmor	Manutenção preventiva	Operadores	06/01/2020	
Procedimento para manutenção do formador de espiras de 15 em 15 dias	Para não gerar sucata ou cortes maiores de espiras	Stelmor	Manutenção preventiva	Operadores	06/01/2020	

LEGENDA:	 CONCLUÍDO	 EM ANDAMENTO	 ATRASADO
-----------------	---	--	--

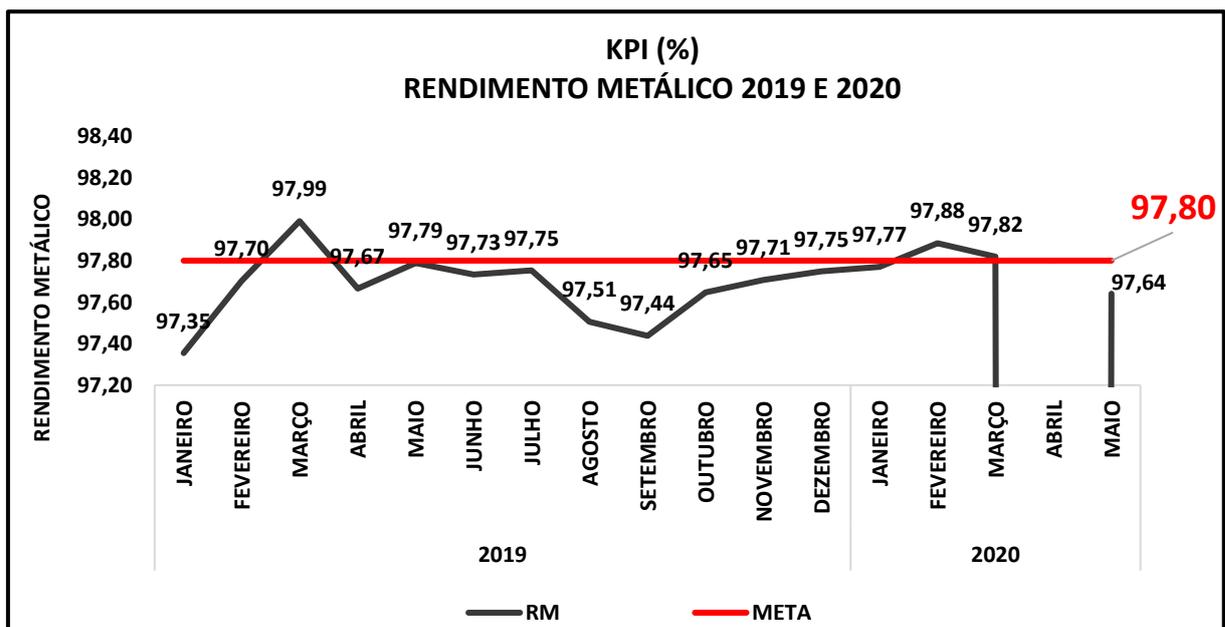
Figura 9 – Plano de ação

Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Nove ações foram implantadas com o intuito de reduzir perdas metálicas e atingir a meta mensal do indicador de rendimento. A primeira ação foi uma redução no corte da tesoura 2 em 10cm, com o intuito de aumentar o RM em 0,08%. A segunda, terceira e a quarta ação concluída foram as reciclagens⁶ com os operadores da cabine de enformamento demonstrando o impacto da contagem incorreta de tarugos no rendimento metálico e a reciclagem com todos os operadores com o intuito de repassar os procedimentos da empresa referente ao padrão de cortes e descarte de espiras na recuperação de rolos conforme os padrões já estabelecidos. As últimas cinco ações foram o desenvolvimento de procedimentos como: manutenção nas balanças, controle de temperatura do forno de acordo com cada bitola em todas as corridas, manutenção nas tesouras, manutenção no formador de espiras e nas correntes do stelmor.

4.3. Verificação dos Resultados (CHECK)

De acordo com a figura 10, o eixo x faz referência aos meses e o eixo y faz referência ao rendimento, a linha preta faz referência ao rendimento metálico dos meses, a linha vermelha é a meta proposta pela gerência.



⁶ Reciclagem: Aprender coisas novas e/ou revisar o que já foi aprendido.

Figura 10 – *KPI* rendimento metálico de 2019 e 2020

Fonte: Elaborado pela autora (2020)

No mês de janeiro de 2020 houve o aumento de 0,43% em relação ao mês de janeiro de 2019, em fevereiro 0,18% de aumento, em março uma perda de 0,17%, em abril uma perda de 100% devido a parada na produção por conta da pandemia contra o covid-19⁷, em maio uma perda de 0,15%.

Observa-se que o índice está aumentando gradativamente em relação ao ano anterior, uma vez que todas as ações foram implantadas com sucesso, com exceção do mês de abril onde a empresa sofreu 100% de perda em relação ao ano de 2019 por conta da parada na produção devido à crise em que o país está passando e o mês de maio onde a produção retomou depois da parada. Não foi possível a realização de coleta dos dados dos meses posteriores devido ao encerramento de vínculo com a empresa citada.

4.4. Padronização (ACT)

Após verificar todos os resultados obtidos através das ações implantadas, começa-se a analisar os demais processos do setor para solucionar novos problemas e aperfeiçoar todas as atividades, obtendo a melhoria contínua. Apesar do encerramento do vínculo com a empresa citada, é necessário que os analistas efetuem análises do indicador todos os meses e realize reuniões para que os resultados satisfatórios sejam padronizados.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo científico buscou, por meio de um estudo de caso, analisar dados coletados referentes a um dos principais indicadores chave de desempenho do setor de laminação de uma siderurgia mineira denominado rendimento metálico. Frente ao mercado cada vez mais exigente em termos de qualidade e custos baixos, surgiu a necessidade da aplicação de ferramentas da qualidade com o intuito de fracionar, detalhar e solucionar o problema em questão. Durante o estudo foi possível entender melhor o processo produtivo de um laminador a quente, as perdas que

⁷ Covid-19: é uma doença infecciosa recém-descoberta.

ocorrem no material laminado e a importância de indicadores de desempenho dentro do setor.

Através da aplicação do método *PDCA*, do diagrama de causa e efeito e da planilha *5W2H*, criou-se ações que resultassem no aumento do rendimento metálico de acordo com a meta proposta pela gerência. Implantou-se e concluiu-se nove ações que resultaram no aumento gradativo em relação ao ano anterior. Infelizmente, não possível realizar o último “*H*” *How Much* da planilha *5W2H* que significa “quanto custará” por se tratar de dados financeiros confidenciais da empresa, mas é de suma importância ressaltar que o controle de um indicador chave de desempenho de rendimento metálico impacta diretamente nos custos de processos de laminação de uma siderurgia.

Finalmente, vale ressaltar que este estudo não esgota as questões sobre o tema proposto, portanto, como sugestão para futuras pesquisas tem-se a análise e comparação do rendimento metálico fracionado por cada bitola e tipo de aço existentes no processo de laminação da empresa, visto que, os indicadores de desempenho são de suma importância para a melhoria contínua, redução de custos, sendo assim, ainda há espaço para dúvidas sobre o tópico proposto e amplia o roteiro para futuros conhecimentos e pesquisas.

Referências

LOPES, Rafael; DUARTE, Daniel Mesquita; RIBEIRO, Rogério Ferreira; SILVA JUNIOR, Elias Ferreira da; SILVA, Leandro Luís da; PIMENTEL, Isabel Cristina Silvestre Baião Tavares. *Aumento Do Rendimento Metálico Do Laminador De Bobinas De Fio Máquina E Vergalhão*. p. 476-486. In: 53° SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO, Rio de Janeiro, 2016.

PEREIRA, Felipe Eduardo Daher. *Aplicação do pdca na otimização da logística e do estoque em uma pequena empresa da zona da mata mineira*. 2019. 12 f. TCC - Curso de Engenharia de Produção, Centro Universitário Unifacig, Manhauçu, 2019.

BALSANELLI, Alexandre Pazetto; JERICÓ, Marli de Carvalho. *Os reflexos da gestão pela qualidade total em instituições hospitalares brasileiras*. 2005. 6 f. TCC (Graduação) - Curso de Enfermagem, Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto, São José do Rio Preto, 2005.

CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. *Gestão da Qualidade: Conceitos e Técnicas*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2016. 248 p.

PALADINI, Edson Pacheco. *Gestão da qualidade: Teoria e Prática*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2019. 280 p.

ANDRADE, Fábio Felipe de. *O Método De Melhorias PDCA*. 2003. 169 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Construção Civil e Urbana, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

RODRIGUES, Cláudia Medianeira Cruz; ESTIVALETE, Vania de Fátima Barros; LEMOS, Antônio Carlos Freitas Vale de. *A Etapa Planejamento Do Ciclo PDCA: Um Relato De Experiências Multicasos*. In: XXVIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção, 18., 2008, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: Enegep, 2008. p. 1 - 15.

HENRIQUE, Mayara Ribeiro. *A Aplicação Do Método PDCA No Setor De Desenvolvimento De Produtos: um estudo de caso realizado em uma indústria têxtil do sul de Minas Gerais*. 2019. 19 f. TCC - Curso de Engenharia de Produção, Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, 2019.

GOMES FILHO, Valdeci; GASPAROTTO, Angelita Moutin Segória. *A importância do ciclo PDCA aplicado à produtividade da indústria no brasil*. Revista Interface Tecnológica, Taquaritinga, v. 16, n. 2, p.383-392, dez. 2019.

MELLO, Mario Fernando de; CUNHA, Luiza Antônia; SILVA, Nilson Josimar da. *A Importância Do Nível De Acuracidade Para Redução Nos Registros De Aparentamentos De Faltantes: Estudo De Caso Em Buffer De Peças*. In: XXXIX Encontro Nacional De Engenharia De Produção, 39., 2019, Santos - Sp. Anais. Santos- SP: Enegep, 2019. p. 1-15.

SANTOS, Lucas Almeida dos; LUZ, Alexandre de Crescenzo Guedes da; HAMMES, Juliano; BIEDACHA, Thaiana Ardenghi; GODOY, Leoni Pentiado. *Implantação De Layout Celular Em Uma Empresa Startup De Tecnologia*. In: XXXIV Encontro Nacional De Engenharia De Produção, 34., 2014, Curitiba-pr. Anais. Curitiba-PR: Enegep, 2014. p. 1-18.

CYRINO, Luis. Diagrama de causa e efeito - Ishikawa. 2016. *Manutenção em foco*. Disponível em: <https://www.manutencaoemfoco.com.br/diagrama-de-causa-e-efeito-ishikawa/>. Acesso em: 22 mar. 2020.

FERREIRA, Rafael Gomes. Definição e Monitorização de Indicadores Chave de Desempenho (KPI) para Controlo de Operações na Indústria Corticeira. 2019. 87 f. Dissertação - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, 2019.

PARMENTER, David. *Key Performance Indicator: Developing, Implementing, and Using Winning Kpis*. 3. ed. Canadá: Wiley, 2015. 444 p.

BORGES, Julia Garaldi; CARVALHO, Marly Monteiro de. *SISTEMAS DE Indicadores De Desempenho Em Projetos*. Revista de Gestão e Projetos - GEP, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 174-207, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5585/gep.v2i1.39>. Acesso em: 26 abr. 2020.

PRADO, Hayrton. *O que são os Key Performance Indicators (KPI)*. 2019. Revista Digital AdNormas. Disponível em: <https://revistaadnormas.com.br/2019/02/05/o-que-sao-os-key-performance-indicators-kpi/>. Acesso em: 20 mar. 2020.

BATISTA, Fernando Manuel Sousa Conceição. *Implementação de indicadores chave de desempenho no corpo de fuzileiros*. 2011. 120 f. Dissertação - Curso de Ciências Militares Navais, Escola Naval Departamento de Formação de Fuzileiros, Lisboa, 2011.

KIMINAMI, Claudio Shyinti; CASTRO, Walman Benício de; OLIVEIRA, Marcelo Falcão de. *Introdução Aos Processos De Fabricação De Produtos Metálico*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2013. 236 p.

SOARES, Christianne Lacerda; CAVALCANTI, Washington Moreira. *Tixoconformação e hidroconformação: uma revisão de literatura sobre os processos não convencionais de conformação mecânica*. In: XXXIII Encontro Nacional De Engenharia De Produção, 33., 2013, Salvador. Anais. Salvador: Enegep, 2013. p. 1-16.

GROOVER, Mikell P. *Introdução aos processos de fabricação*. Rio de Janeiro: Ltc, 2014. 758 p.

BRESCIANI FILHO, E. (Coord. e Rev.); SILVA, I. B. (pesq. atual); BATALHA, G.F. (transc. dig); BUTTON, S.T. (rev. ed. dig). *Conformação plástica dos metais*. 6 ed. (1ª digital), São Paulo: EPUSP, 2011.

LIRA, Valdemir Martins. *Princípios dos processos de fabricação utilizando metais e polímeros*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2018. 240 p.

VIEIRA, Matheus de Lima. *Caracterização microestrutural e análise da influência do tamanho de grão em um aço microligado ao vanádio*. 2019. 44 f. Monografia - Curso de Engenharia Metalúrgica, Centro de Tecnologia e Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

FRANÇA, José Raphael Olegário; LIMA, Aline da Costa Miranda; KLUG, Jeferson Leandro. *Desenvolvimento Do Tratamento Térmico Do Vergalhão Ca50 Em Rolo Pelo Processo Stelmor*, p. 596-603. In: 52º Seminário de Laminação, Rio de Janeiro, 2015.

TAKAHASHI, Renata Jesuína. *Estudo da microestrutura e propriedades mecânicas de barras laminadas a quente*. 2014. 63 f. TCC - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, Lorena - SP, 2014.

CASTRO, Geovane Martins. *Estudo Da Oxidação A Quente No Aço Inoxidável Ferrítico ABNT 430*. 2005. 139 f. Dissertação - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

NUNES, Leonardo Miranda. *Desenvolvimento De Aço Microligado Para A Produção De Vergalhões Nervurados*. 2009. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - Puc-Rio, Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480: *Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação*. Rio de Janeiro, 2007.

DAROIT, M. *Estudo de aço microligado ao vanádio para a produção de barra nervurada para concreto armado com característica de soldabilidade segundo a norma ABNT NBR 8695:1985*. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.