



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



FABIANO MIRANDA BARBOSA

**PROPOSTA DE MELHORIA NA ETAPA DE CORTE A FRIO DO
PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE UMA EMPRESA SIDERÚRGICA
ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MANUTENÇÃO
CENTRADA EM CONFIABILIDADE**

**OURO PRETO - MG
2021**

FABIANO MIRANDA BARBOSA
fabiano.barbosa@aluno.ufop.edu.br

**PROPOSTA DE MELHORIA NA ETAPA DE CORTE A FRIO DO
PROCESSO DE LAMINAÇÃO DE UMA EMPRESA SIDERÚRGICA
ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MANUTENÇÃO
CENTRADA EM CONFIABILIDADE**

Monografia apresentada ao Curso de
Graduação em Engenharia Mecânica
da Universidade Federal de Ouro Preto
como requisito para a obtenção do
título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: DSc. Washington Luis Vieira da Silva

OURO PRETO – MG
2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

B238p Barbosa, Fabiano Miranda .

Proposta de melhoria na etapa de corte a frio do processo de laminação de uma empresa siderúrgica através da aplicação do método de manutenção centrada em confiabilidade. [manuscrito] / Fabiano Miranda Barbosa. - 2021.

129 f.: il.: color., gráf., tab.. + Diagrama Funcional. + Matriz.

Orientador: Prof. Dr. Washington Luis Vieira da Silva.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Mecânica .

1. Manutenção - Confiabilidade. 2. Manutenção. 3. Laminação. 4. Ferramentas - Tesoura a frio. 5. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). I. Silva, Washington Luis Vieira da . II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECANICA



FOLHA DE APROVAÇÃO

Fabiano Miranda Barbosa

Proposta de Melhoria na Etapa de Corte a Frio do Processo de Laminação de uma Empresa Siderúrgica através da Aplicação do Método de Manutenção Centrada em Confiabilidade

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico

Aprovada em 09 de dezembro de 2021

Membros da banca

DSc. Washington Luis Vieira da Siva - Orientador(a) (Universidade Federal de Ouro Preto)
DSc. Diogo Antônio de Sousa (Universidade Federal de Ouro Preto)
MSc. Sávio Sade Tayer (Universidade Federal de Ouro Preto)

Washington Luis Vieira da Siva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso daUFOP em 14/12/2021



Documento assinado eletronicamente por **Washington Luis Vieira da Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/01/2022, às 08:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0263648** e o código CRC **265F3619**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.000074/2022-57

SEI nº 0263648

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: (31)3559-1533 - www.ufop.br

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus, por me permitir alcançar este importante objetivo.

À minha mãe, que foi base de sustentação para a realização deste sonho, pois “caiu a chuva, transbordaram os rios, sopraram os ventos e deram contra aquela casa, e ela não caiu, porque tinha seus alicerces na rocha” (Mateus, 7, 25).

Aos meus irmãos, que sempre alegaram que a hipótese de não conseguir nunca existiu. Ao invés disso, o tema em pauta continuamente foi "onde", "como" e "quando" o sonho iria então ser alcançado.

Aos meus amigos que desde o início da jornada me apoiaram e incentivaram.

Ao meu orientador DSc. Washington Luis Vieira da Silva, pelo incentivo e orientação neste trabalho.

Aos docentes do curso de engenharia mecânica da UFOP por suas importantes contribuições para o meu desenvolvimento ao longo de toda a trajetória, especialmente aos professores Sávio e Elisângela.

Às companhias nas quais tive a oportunidade de fazer estágio e às pessoas que pude conhecer, aos meus mentores Nilton e Camila que me acolheram e me ensinaram de perto em tais essas experiências, e a toda a equipe do setor de laminação onde foi executado este trabalho.

À vida universitária de Ouro Preto e a todas as experiências inesquecíveis que pude viver nela.

“Tenha a coragem de seguir seu coração e intuição. De alguma forma, eles já sabem o que você realmente deseja se tornar”.

Steve Jobs

RESUMO

BARBOSA, Fabiano Miranda. **Proposta de melhoria na etapa de corte a frio do processo de laminação de uma empresa siderúrgica através da aplicação do método de manutenção centrada em confiabilidade**, 2021. Monografia. (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Ouro Preto.

Um dos efeitos do desenvolvimento econômico global foi o aumento da demanda por produtos de alta qualidade a custos otimizados. Neste cenário, a manutenção se tornou uma função organizacional estratégica para o alcance de resultados satisfatórios. Dessa maneira, o objetivo deste trabalho é propor a aplicação do método de Manutenção Centrada em Confiabilidade na etapa de corte a frio do processo de laminação de uma empresa siderúrgica. Para tanto, é elaborada uma pesquisa sobre os métodos de manutenção, Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) e processo de laminação, sendo que se discorreu de modo mais detalhado sobre a MCC, pois este é o assunto central do estudo. Devido à natureza do trabalho, o mesmo é classificado como uma pesquisa qualitativa, exploratória, bibliográfica, documental, e de estudo de caso. À vista disso, é feita preliminarmente uma apresentação da empresa e setor estudados, bem como uma breve explicação sobre o processo de laminação abordado. A etapa de corte a frio de barras laminadas é detalhada tendo como principais sistemas integrantes: mesa de rolos de entrada, tesoura a frio, aferidor, mesa basculante e mesa de rolos de saída, e é classificada como um processo de transformação a frio por ser realizada a uma temperatura menor que a de recristalização do aço. Através da utilização de técnicas de classificação de criticidade foi determinado que a tesoura a frio é o sistema crítico dentre os cinco. Então, procedeu-se com o detalhamento deste sistema e de seus principais itens físicos e conjuntos, os quais posteriormente são destrinchados e classificados conforme sua criticidade através do emprego de uma matriz de correlação de falhas funcionais e subsistemas/componentes. Com este resultado, elaborou-se uma Análise dos Modos e Efeitos de Falhas (FMEA) para cada subsistema/componente priorizado, o que possibilitou a avaliação crítica das possíveis causas das falhas levantadas e a proposição de ações mitigadoras ou eliminadoras para os modos de falha analisados. O plano de melhoria proposto busca contribuir com o possível aumento da confiabilidade e performance do sistema e consiste na combinação de atividades de manutenção apresentadas em planilhas de seleção de tarefas e planos de ação no formato de 5W1H.

Palavras-chave: Manutenção Centrada em Confiabilidade; Manutenção; Laminação; Tesoura a frio; FMEA.

ABSTRACT

One of the effects of global economic development has been the increased demand for high quality products at optimized costs. In this scenario, maintenance has become a strategic organizational function to achieve satisfactory. Thus, the objective of this work is to propose the application of the Reliability Centered Maintenance method on the cold shearing step of the rolling process of a steel company. For this purpose, a survey on maintenance methods, Reliability Centered Maintenance (RCM) and the rolling process is carried out, with a more detailed discussion about RCM, as this is the central subject of the study. Due to the nature of the work, it is classified as a qualitative, exploratory, bibliographical, documentary, and case study research. In view of this, a preliminary presentation of the company and sector studied is made, as well as a brief explanation about the rolling process covered. The cold shearing step of rolled bars is detailed, having as the main integrating systems: Input Roller Table, Cold Shear, Length Gauge, Tilt Table and Output Roller Table, and is classified as a cold transformation process as it is carried out at a temperature lower than that of steel recrystallization. Through the use of criticality classification techniques, it is determined that Cold Shear is the critical system among the five. Then, it is proceeded with the detailing of this system and its main physical items and sets, which are further broken down and classified according to their criticality through the use of a correlation matrix of functional failures and subsystems/components. With this result, an Analysis of Failure Modes and Effects (FMEA) is prepared for each prioritized subsystem/component, which enabled the critical assessment of the possible causes of the failures raised and the proposition of mitigating or eliminating actions for the failure modes analyzed. The proposed improvement plan seeks to contribute to the possible increase in system reliability and performance and consists of a combination of maintenance activities presented in task selection worksheets and action plans in the 5WIH format.

Key-words: *Reliability Centered Maintenance; Maintenance; Rolling Process; Cold Shear; FMEA.*

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASQC – *American Society for Quality Control*

FAA – *Federal Aviation Authority*

FMEA – *Failure Modes and Effects Analysis*

FTA – *Fault Tree Analysis*

J.I.P.M – *Japanese Institute of Plant Maintenance*

LCC – *Life Cycle Cost*

MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade

MSG – *Maintenance Steering Group*

MTBF – *Mean Time Between Failure*

MTTD – *Mean Time to Detect*

MTTF – *Mean Time to Failure*

MTTR – *Mean Time to Repair*

NASA – *National Aeronautics and Space Administration*

RCM – *Reliability Centered Maintenance*

RPN – *Risk Priority Number*

TPM – *Total Productive Maintenance*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquemático resumido das etapas de produção de aços especiais (usina semi-integrada).....	3
Figura 2. Ativo passível de manutenção.....	16
Figura 3. Ativo não passível de manutenção.....	17
Figura 4. Curva PF.....	19
Figura 5. Tempo Médio Entre Falhas (MTBF).....	22
Figura 6. MTBF de unidades reparáveis e seus componentes.....	24
Figura 7. Curva típica da vida de equipamentos.....	25
Figura 8. Formulário FMEA.....	29
Figura 9. Árvore de Falhas de um motor elétrico queimado.....	30
Figura 10. Classificação ABC (critérios e fluxo decisional).....	31
Figura 11. Ilustração do processo de laminação a quente.....	35
Figura 12. Bobinas laminadas.....	35
Figura 13. Barras redondas laminadas a quente.....	36
Figura 14. Esquemático do processo de laminação de barras.....	36
Figura 15. Fluxograma do trabalho.....	40
Figura 16. Barras laminadas de perfil chato, redondo e hexagonal.....	45
Figura 17. Organograma Gerência de Laminação.....	46
Figura 18. Organograma Gerência de Manutenção.....	46
Figura 19. Macro fluxo do processo de laminação.....	47
Figura 20. Corte por cisalhamento.....	48
Figura 21. Equipamentos da etapa de corte a frio.....	49
Figura 22. Mesa de rolos de entrada.....	49
Figura 23. Tesoura a frio.....	50
Figura 24. Aferidor.....	50

Figura 25. Mesa basculante.	51
Figura 26. Corte na tesoura a frio com mesa basculante na posição não-basculada.	51
Figura 27. Corte na tesoura a frio com mesa basculante na posição basculada.	52
Figura 28. Mesa de rolos de saída.	52
Figura 29. Delimitação da fronteira de análise MCC.	58
Figura 30. Caracterização das fronteiras - tesoura a frio.	59
Figura 31. Prendedor da tesoura a frio.	60
Figura 32. Conjunto de acionamento da tesoura a frio.	60
Figura 33. Facas superior e inferior da tesoura a frio.	61
Figura 34. Alinhador da tesoura a frio.	61
Figura 35. Varredor da tesoura a frio.	62
Figura 36. Fluxograma da fase de preparação.	63
Figura 37. Barras laminadas na fase de processamento.	63
Figura 38. Fluxograma de um ciclo de corte.	64
Figura 39. Fluxograma da fase de finalização.	65
Figura 40. Exemplo do processo de corte a frio com 7 cortes comerciais.	66
Figura 41. Diagrama funcional da fase de preparação.	67
Figura 42. Acionamento por eixo excêntrico.	68
Figura 43. Prensa com acionamento excêntrico.	69
Figura 44. Funções principais e secundárias da tesoura a frio.	71
Figura 45. Matriz de correlação de falhas funcionais e subsistemas/componentes (parcial). ..	73
Figura 46. Gráfico de Pareto: índice de criticidade de subsistemas/componentes da tesoura a frio.	75
Figura 47. Conjunto excêntrico da tesoura a frio.	77
Figura 48. FMEA do sistema de lubrificação (visão parcial).	79
Figura 49. Diagrama lógico de decisão MCC.	80

Figura 50. Planilha de seleção de tarefas de manutenção do prendedor (visão parcial).81

Figura 51. Plano de ação das facas superior e inferior (visão parcial).. 83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Evolução da manutenção.	7
Tabela 2. Itens do plano de ação formato 5W1H.	33
Tabela 3. Comparação de metodologias de implementação do método MCC.....	34
Tabela 4. Variáveis e Indicadores.....	42
Tabela 5. Critérios de seleção da metodologia base de implementação MCC.....	53
Tabela 6. Matriz de decisão para a seleção da metodologia base de implementação MCC. ...	54
Tabela 7. Classificação das funções dos sistemas da etapa de corte a frio.....	55
Tabela 8. Classificação ABC – Etapa de corte a frio processo de laminação.	55
Tabela 9. Operações da tesoura a frio no processo de corte.....	66
Tabela 10. Funções e falhas funcionais da tesoura a frio (visão parcial).	70
Tabela 11. Índice de criticidade dos subsistemas/componentes da tesoura a frio.	74
Tabela 12. Tratativas adotadas para os subsistemas/componentes analisados.....	84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do Problema.....	1
1.2	Justificativa.....	3
1.3	Objetivos.....	4
1.3.1	Geral	4
1.3.2	Específicos.....	4
1.4	Estrutura do Trabalho	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1	Aspectos Gerais da Manutenção.....	6
2.1.1	Histórico, Conceito e Objetivos da Manutenção.....	7
2.1.2	Métodos de Manutenção.....	9
2.2	Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).....	13
2.2.1	Breve Histórico da MCC	13
2.2.2	Conceito e Objetivos da MCC.....	14
2.3	Definições e Medidas de Confiabilidade Aplicadas na MCC	15
2.3.1	Funções e Padrões de Desempenho.....	15
2.3.2	Contexto Operacional	17
2.3.3	Falhas Funcionais e Potenciais	18
2.3.4	Modos de Falha	19
2.3.5	Efeitos da Falha	20
2.3.6	Consequências da Falha.....	20
2.3.7	Tempo Médio Entre Falhas (MTBF).....	21
2.3.8	Tempo Médio para Reparo (MTTR)	22
2.3.9	Disponibilidade Inerente.....	23
2.3.10	Manutenabilidade	24
2.3.11	Taxa de Falhas	24
2.3.12	Confiabilidade	26
2.4	Principais Ferramentas de Apoio à MCC	27
2.4.1	Análise dos Modos e Efeitos de Falhas (FMEA)	27
2.4.2	Árvore de Análise de Falhas (FTA)	29
2.4.3	Análise de Criticidade	31
2.4.4	Plano de Ação.....	32
2.5	Metodologias de Implementação da MCC	33

2.6	Visão Geral do Processo de Laminação	34
2.7	Considerações finais do capítulo	37
3	METODOLOGIA.....	38
3.1	Tipos de Pesquisa	38
3.2	Materiais e Métodos	40
3.3	Variáveis e Indicadores	41
3.4	Instrumentos de Coleta de Dados	42
3.5	Tabulação de Dados.....	43
3.6	Considerações Finais do Capítulo	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	Caracterização da Empresa e Setor	45
4.2	Caracterização da Etapa de Corte a Frio e Dos Equipamentos Envolvidos	46
4.3	Seleção da Metodologia Base de Implementação da MCC.....	53
4.4	Identificação do Sistema Crítico e Suas Fronteiras	54
4.4.1	Apresentação do Sistema Crítico.....	59
4.4.2	Diagrama Funcional do Sistema Crítico.....	62
4.4.3	Funções e Falhas Funcionais do Sistema Crítico	69
4.5	Seleção dos Subsistemas ou Componentes Críticos.....	71
4.6	FMEA dos Subsistemas ou Componentes Críticos	76
4.7	Proposta de Melhoria Para a Tesoura a Frio a Partir da MCC	80
5	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	85
5.1	Conclusão	85
5.2	Recomendações	86
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	87
	APÊNCIDES	90

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do Problema

As revoluções industriais e a evolução global da economia geraram o aumento da demanda por produtos de melhor qualidade e desempenho a custos atrativos (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2011). Como consequência, as organizações se viram num cenário onde faz-se necessário o aumento do nível da produtividade conciliado à redução de custos e perdas para se manterem competitivas em seus segmentos de mercado. Para alcançar tal objetivo, as empresas contam com a atuação de todas as suas funções organizacionais, desde da alta administração e recursos humanos, ao pessoal da operação e manutenção de ativos.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o conceito de manutenção é dado pela NBR 5462 (1994, p.6) como sendo:

O conjunto de ações técnicas e administrativas que tange como um todo o ramo e área industrial como um sistema único que destina manter ou recolocar um equipamento, instalação ou maquinário de um determinado setor, ou seja, sua principal função é manter em ordem o funcionamento dos equipamentos através de intervenções corretas e oportunas.

Moubray (2001) ressalta que a saúde física e financeira de boa parte das organizações depende da integridade continuada, física e funcional dos seus ativos, o que faz da manutenção uma função de caráter estratégico para a atividade econômica em geral. Neste contexto, a metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), também conhecida pela sigla RCM (*Reliability Centered Maintenance*), tem ganhado cada vez mais espaço.

Teles (2019, p. 5) diz que o método MCC pode ser definido como: “uma política de manutenção estruturada para selecionar as atividades de manutenção necessárias para manter a disponibilidade e confiabilidade de qualquer processo produtivo”.

Segundo Lafraia (2006, p. 238), a manutenção na ótica do método de Manutenção Centrada em Confiabilidade “tem como objetivo assegurar que um sistema ou item continue a preencher suas funções desejadas”.

Xenos (1998) elucida que independentemente do segmento, a manutenção é uma atividade organizacional que se faz presente nas companhias, especialmente no segmento industrial.

Na indústria metal-mecânica, os processos de conformação plástica dos metais ocupam uma posição de destaque, uma vez que quase todos os produtos metálicos produzidos são submetidos a tais processos em um ou mais estágios (BRESCIANI, *et al.*, 2011).

Eletrodomésticos, peças de veículos, navios e aviões, vigas e vergalhões usados na construção civil são exemplos de produtos fabricados através da conformação de materiais metálicos. Dentre tais processos de fabricação, alguns dos principais são: laminação, forjamento, trefilação, extrusão, usinagem e estampagem (SANTOS, 2018).

A laminação responde pela produção de vários produtos, como barras de perfil redondo, chato, hexagonal e quadrado, chapas grossas em forma de placa e finas em forma de bobina, fio-máquina, vergalhões, e vigas estruturais de perfil I e U (BRESCIANI, *et al.*, 1991).

De acordo com Araújo (1997), 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.

Para Bresciani *et al.* (2011), o processo de conformação mecânica chamado de laminação consiste essencialmente em passar um material entre dois rolos a fim de se obter uma redução na seção transversal em troca de um aumento no comprimento da placa ou do tarugo. Através de vários passes, a distância e a configuração da abertura entre as superfícies dos rolos dão forma ao perfil final, que é determinado de acordo com a aplicação desejada.

Produtos laminados podem apresentar defeitos provenientes de parâmetros de processo incorretos e equipamentos operando em condições inadequadas. A presença de defeitos resulta em uma série de problemas, como baixa qualidade superficial e características dimensionais não conformes, além de propriedades mecânicas fora de especificação. Tais deficiências nos produtos provocam práticas de retrabalho, sucateamento do material, e atraso das entregas, o que resulta em perda de eficiência no processo, e insatisfação dos clientes. Topos de barra com trinca ou corte irregular e empenamento em arco são alguns exemplos de defeito de fabricação em barras laminadas.

Em uma empresa siderúrgica produtora de aços especiais laminados, tem-se observado um aumento no nível de defeitos de trinca de topo e corte irregular nos produtos, problema que é gerado na etapa de corte no comprimento comercial das barras, denominada de corte a frio. O equipamento que executa esta atividade, chamado de tesoura a frio, tem apresentado alto

nível de falhas funcionais, o que está associado à geração de defeitos no material. Além disso, as falhas do equipamento têm causado gargalos na linha produção.

A companhia opera em uma planta do tipo semi-integrada de acordo com o esquemático resumido mostrado pela Figura 1.



Figura 1. Esquemático resumido das etapas de produção de aços especiais (usina semi-integrada).
Fonte: Pesquisa direta (2021).

Diante de tal situação, faz-se necessário implementar ações para melhorar o desempenho da etapa de corte na tesoura a frio. Para isso, fazer com que a função requerida do equipamento seja executada de maneira satisfatória e com qualidade, com o mínimo possível de perdas e paradas não-programadas, é essencial.

Diante do que foi apresentado, neste estudo propõe-se a aplicação do método de Manutenção Centrada em Confiabilidade na etapa de corte a frio do processo de laminação da empresa, a fim de contribuir para a mitigação das ocorrências de problemas relacionados ao equipamento e geração de defeitos de topo. Neste contexto, surge a seguinte questão:

Como propor melhorias para a etapa de corte a frio do processo de laminação através da aplicação do método de Manutenção Centrada em Confiabilidade para uma empresa do setor de siderurgia?

1.2 Justificativa

Em suas linhas de produção, as organizações possuem diferentes processos que fazem uso de dispositivos e equipamentos, cada um responsável por executar uma parte da cadeia produtiva e agregar valor ao produto final. Xenos (1998) explica que a manutenção é essencial para a produtividade das organizações, uma vez que é a área responsável por manter os ativos do processo produtivo disponíveis para operar.

Moubray (1997) ressalta as premissas do MCC na relação direta em determinar o que precisa ser feito para assegurar que um ativo continue a preencher a função dele requerida de forma a atender as especificações pré-determinadas para um produto, apontando que, em suma, não basta executar de maneira correta as demandas de manutenção, mas sim fazer uso de uma metodologia que possibilita priorizar e alocar os recursos de maneira eficiente, de modo a

atender às demandas necessárias para garantir o bom desempenho do processo em termos de custos, qualidade, segurança e meio ambiente.

Neste âmbito, as atividades de manutenção exercem um impacto direto na performance final da operação de um ativo, e, conseqüentemente, no resultado final do produto.

Ao tratar da laminação de aços especiais, os principais itens a serem considerados pela empresa no produto final em termos de conformidade com as especificações técnicas são:

- a) Dimensional: comprimento das barras, e itens relacionados à bitola do produto (circularidade; perpendicularidade; diagonais para material sextavado);
- b) Propriedades Mecânicas: dureza e microestrutura resultantes;
- c) Qualidade Superficial: nível de rugosidade, ausência de trincas e fissuras na superfície dos produtos.

Para garantir que as especificações técnicas sejam atendidas, o processo de laminação deve ser executado de acordo com parâmetros de processo adequados para cada produto, e com o mínimo possível de falhas e interrupções nos ativos.

Não menos importante, a aplicação do MCC é um forte agente redutor de custos. Teles (2019) explica que priorizar a alocação dos recursos de manutenção com o enfoque de manter a função dos ativos (principal premissa do MCC) resulta na diminuição do LCC (*Life Cycle Cost*), que é o Custo do Ciclo de Vida de um ativo, parâmetro que descreve a soma dos custos envolvidos desde a etapa de projeto até a retirada de operação e descarte do equipamento.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Propor melhorias para a etapa de corte a frio do processo de laminação através da aplicação do método de Manutenção Centrada em Confiabilidade para uma empresa do setor de siderurgia.

1.3.2 Específicos

- Realizar um estudo teórico sobre: Manutenção, Manutenção Centrada em Confiabilidade, Processo de Laminação;
- Elaborar um procedimento metodológico para propor melhorias para o processo estudado a partir do método de Manutenção Centrada em Confiabilidade;

- Comparar os resultados obtidos com a base teórica para propor melhorias a partir do método empregado.

1.4 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho é composto por cinco capítulos, em que o primeiro consiste na introdução, por meio da formulação do problema, justificativa, objetivos geral e específicos e a estrutura do texto.

O segundo capítulo trata da revisão bibliográfica dos conceitos e teorias sobre: manutenção, Manutenção Centrada em Confiabilidade e alguns de seus aspectos pertinentes, e processo de laminação. Esta seção tem como função fornecer fundamentação teórica sobre o tema do trabalho.

O capítulo número 3 discorre sobre a metodologia científica utilizada na pesquisa e suas classificações, bem como sobre as ferramentas adotadas.

O quarto capítulo é composto pelos resultados e discussões, ou seja, o memorial da execução da análise de planejamento de um programa de Manutenção Centrada em Confiabilidade.

E por último, o capítulo quinto trata das conclusões e recomendações de trabalhos futuros correlatos ao estudo de caso realizado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste segundo capítulo é realizada uma fundamentação teórica acerca da manutenção, métodos de manutenção, Manutenção Centrada em Confiabilidade e suas ferramentas de apoio, e processo de laminação.

2.1 Aspectos Gerais da Manutenção

De acordo com Quintino *et al.* (2019), nos dias de hoje, a maior parte dos produtos consumidos são provenientes de indústrias, fabricados em linhas de produção em série de larga escala. Ainda segundo o autor, até o final do século XVIII, os bens de consumo eram fabricados de maneira artesanal e rudimentar, sem o uso de ferramental avançado e com baixo nível de controle sobre os processos, o que fez com que boa parte dos produtos fossem despadronizados e com baixa qualidade, além de contarem com um baixo volume de produção associado a um alto custo de fabricação.

No final no século XVIII, a Primeira Revolução Industrial se consolidou e trouxe consigo o desenvolvimento da mecanização e das máquinas a vapor. Quase 100 anos depois, a Segunda Revolução Industrial, fortemente influenciada pelo desenvolvimento da geração de eletricidade e das máquinas à combustão, gerou a produção em série de vários produtos. Até que nas últimas décadas a automação, a internet, a robótica e a computação vieram à tona como frutos da Terceira Revolução Industrial, e provocando grandes impactos em termos de produtividade, qualidade, custo e seguranças nas organizações (Empresa ROMI, 2020). Atualmente, a indústria está passando por uma nova revolução, conhecida como a Quarta Revolução Industrial, ou Indústria 4.0, que tem como base a digitalização e a internet das coisas (IoT) (Empresa ROMI, 2020).

Dockhorn (2019) sintetiza que em um cenário cada vez mais competitivo, provocado principalmente pela evolução da tecnologia, as empresas necessitam manter suas linhas de produção funcionais e com o mínimo possível de falhas, garantindo a produção de bons produtos e assegurando o cumprimento de prazos de entrega. Neste contexto, a manutenção tem um papel importantíssimo.

Conforme Gregório e Silveira (2018), a manutenção industrial surgiu no século XVI, devido ao aumento da demanda de produção e a necessidade de manter as máquinas em pleno funcionamento. Também segundo as autoras, a partir de 1939, os efeitos da Segunda Guerra Mundial fizeram com que a manutenção industrial se tornasse ainda mais necessária, fazendo

com que fossem desenvolvidas técnicas de planejamento, organização e controle das manutenções.

2.1.1 Histórico, Conceito e Objetivos da Manutenção

Para Kardec e Nascif (2009), pode-se classificar a evolução da manutenção em cinco grandes gerações conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Evolução da manutenção.

Geração	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração	Quinta Geração
Ano	Anos 40 e 50	Anos 60 e 70	Anos 80 e 90	2000 a 2010	2010 a 2020
Aumento das expectativas em relação à Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Conserto após a falha 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade crescente • Maior vida útil do equipamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior Disponibilidade • Maior Confiabilidade • Melhor Relação custo-benefício • Preservação do meio ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior Disponibilidade • Maior Confiabilidade • Gerenciar ativos • Preservação do meio ambiente • Segurança • Influir nos resultados dos negócios 	<ul style="list-style-type: none"> • Gerenciar ativos • Otimizar os ciclos de vida dos ativos • Influir nos resultados dos negócios
Visão quanto à folha de ativo	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os equipamentos se desgastam com a idade e por isso falham 	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira 	<ul style="list-style-type: none"> • Existência de 6 padrões de falhas 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir drasticamente falhas prematuras 	<ul style="list-style-type: none"> • Planejamento do ciclo de vida desde o projeto para reduzir falhas
Mudanças nas técnicas de manutenção	<ul style="list-style-type: none"> • Habilidades voltadas para o reparo 	<ul style="list-style-type: none"> • Planejamento Manual da manutenção • Computadores grandes e lentos • Manutenção preventiva (por tempo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoramento da condição • Manutenção preditiva • Análise de risco • Computadores pequenos e rápidos • Software potentes • Grupos de trabalho disciplinares • Projetos voltados para a confiabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição • Redução nas manutenções preventiva e corretiva não planejada • Análise de falhas • Técnicas de confiabilidade • Manutenibilidade • Contratação por resultados • Projetos voltados para a confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição online e offline • Participação efetiva no projeto, aquisição, instalação, comissionamento, operação e manutenção de ativos • Garantir que os ativos operem dentro de sua máxima eficiência • Implementar melhorias objetivando redução de falhas • Excelência em engenharia da manutenção • Consolidação da contratação por resultados

Fonte: adaptado de Kardec e Nascif (2009).

Conforme os autores, a **Primeira Geração** engloba o período antes da Segunda Guerra Mundial, quando os maquinários eram de baixa complexidade e a produtividade não era prioridade, dessa forma, eram executadas apenas algumas atividades de limpeza e lubrificação, além de reparos após a falha. Já na **Segunda Geração**, surgiu a necessidade de maior produtividade, disponibilidade e confiabilidade trazida pelo aumento da mecanização. Nesta

geração, os custos de manutenção começaram a crescer e nasceu o conceito de manutenção preventiva.

Kardec e Nascif (2009), elucidam que na **Terceira Geração** o sistema de produção *just in time* (caracterizado pelo baixo de volume de estoque) estava em alta, e fazia com que intervenções curtas para manutenção paralisassem a linha de produção. Naquele ponto, a necessidade de monitoramento da condição dos equipamentos visando evitar paradas não programadas deu origem à manutenção preditiva, beneficiada pelo constante desenvolvimento da tecnologia.

Os autores sintetizam que a **Quarta geração** tem como fator marcante a busca pela minimização de manutenções corretivas e preventivas, aplicação de análise de falhas, e a entrada definitiva da preocupação com a segurança e meio ambiente no que se refere ao gerenciamento de ativos. Por fim, Kardec e Nascif (2009) completam ao dizerem que a **Quinta geração** tem seu enfoque na gestão de ativos e na manutenção preditiva, com o avanço do uso de tecnologias de monitoramento das condições dos equipamentos de forma *on* e *off-line*.

Ao tratar do conceito de manutenção, a literatura sobre o assunto apresenta diferentes definições, cada uma dentro de um determinado contexto e momento histórico, apesar disso, pode-se observar elementos comuns que possibilitam elucidar o conceito e o objetivo da manutenção.

Segundo a NBR 5462 *apud* Gregório e Silveira (2018, p. 14), “a manutenção é a combinação de todas as ações técnicas e administrativas destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual ele possa desempenhar uma função requerida”.

Para Kardec e Nascif (2009), a manutenção consiste no conjunto de atividades – programadas ou não – aplicadas aos equipamentos e instalações, que tem como objetivo conservar os sistemas e componentes em funcionamento, durante o maior tempo e com o melhor rendimento possível, garantindo a disponibilidade necessária aos processos produtivos, com confiabilidade e segurança, e a custos adequados.

Ao tratar dos objetivos da manutenção, Xenos (1998, p. 21) destaca que:

O objetivo da manutenção não é somente o de manter ou restaurar as *condições físicas* do equipamento, mas de também manter suas *capacidades funcionais*. Ou seja, além de manter o que o equipamento *é* (condição física), também é necessário manter o que ele *pode fazer* (capacidade funcional). Na verdade, a manutenção da condição física do equipamento tem como objetivo final a manutenção da sua capacidade funcional, além da qualidade do produto, da segurança e da integridade do meio ambiente.

Fogliatto e Ribeiro (2011) ressaltam que devido à consolidação da produção em série, a manutenção passou a ser vista como um item indispensável nas indústrias, pois este é um cenário onde as organizações necessitam manter seus ativos em funcionamento e serem capazes de realizar intervenções para reparo no menor tempo possível, mantendo seus sistemas produtivos eficazes e com um menor custo.

Sharma (2011) relata que a importância relevante da manutenção tem feito com que as empresas passem a encarar essa função organizacional como um item estratégico para a obtenção de bons resultados, sendo parte determinante no que diz respeito a manter a empresa economicamente sustentável a curto, médio e longo prazo.

2.1.2 Métodos de Manutenção

Geralmente, a classificação do método de manutenção se dá em função de como as atividades são planejadas e dos objetivos que se desejam alcançar com a sua aplicação. Com relação ao planejamento, a manutenção pode ser realizada de forma planejada, executada sob um tempo e condições pré-estabelecidas, ou de forma não planejada em função da necessidade (FILHO; SIQUEIRA *apud* BARAN, 2011).

Zaions (2003, p. 31) diz que “os métodos de manutenção expressam a maneira pela qual é realizada a intervenção nos equipamentos, nos sistemas ou nas instalações. Na literatura técnica, também são descritos como políticas de manutenção”.

De maneira complementar, Mobley *et al. apud* Baran (2011, p. 22) afirma que “a diferença entre esses métodos está no momento em que a atividade de manutenção é executada”.

A literatura traz diversas classificações para os métodos de manutenção. Xenos (1998) lista em sua obra os seguintes métodos de manutenção: Corretiva, Preventiva, Preditiva, Melhoria dos Equipamentos, Prevenção de Manutenção e Produtiva. O autor ainda cita o conceito de Manutenção Autônoma.

Já na literatura de Kardec e Nascif (2009) são explicados os métodos de Manutenção Corretiva Não Planejada e Planejada, Preventiva, Preditiva, Detectiva e Engenharia de Manutenção.

Neste trabalho, serão citadas as definições dos seguintes métodos de manutenção:

- a) Manutenção Corretiva Não Planejada e Planejada;

- b) Manutenção Preventiva;
- c) Manutenção Preditiva;
- d) Manutenção Autônoma.

- **Manutenção Corretiva:**

Xenos (1998, p. 23) chama a atenção ao dizer que “a Manutenção Corretiva sempre é feita depois que a falha ocorreu”.

Gregório e Silveira (2018, p. 19) apontam que “a Manutenção Corretiva é efetuada após a ocorrência de uma pane, quando o componente é usado até a sua exaustão. Essa manutenção tem o objetivo de recolocar um item em condições de executar a função requerida”.

Kardec e Nascif (2009) afirmam que a Manutenção Corretiva pode ser subdividida em Manutenção Corretiva Não Planejada e Planejada de acordo com o seguinte:

- **Manutenção Corretiva Não Planejada:** se dá pela correção da falha ou desempenho abaixo do esperado depois que se tem a ocorrência, de maneira aleatória. Possui caráter emergencial, e não conta com planejamento e preparação para execução da intervenção no equipamento. Causa parada não programada no processo produtivo, e normalmente acarreta em aumento de custos de manutenção (KARDEC e NASCIF, 2009).

- **Manutenção Corretiva Planejada:** ocorre quando há decisão gerencial para que seja realizada intervenção no equipamento devido a necessidade de correção de falhas ou desempenho abaixo do esperado. Basicamente, neste método tem-se a detecção da falha antes que esta ocorra de maneira aleatória, e assim, é possível executar a manutenção antes que o sistema falhe de maneira inesperada. A Manutenção Corretiva Planejada geralmente é executada após o relato e análise das condições observadas pela Manutenção Preditiva (KARDEC e NASCIF, 2009).

Viana (2006) complementa ao dizer que a Manutenção Corretiva é uma intervenção realizada visando evitar consequências graves ao equipamento, ao trabalhador e ao meio ambiente.

- **Manutenção Preventiva:**

O método de Manutenção Preventiva é empregado de forma planejada, em intervalos pré-determinados ou em situações específicas, em equipamentos que não estão com sua função requerida interrompida, isto é, com falhas funcionais. Esse tipo de manutenção é utilizado

visando reduzir a probabilidade de falha do equipamento ou a degradação da sua função (GREGÓRIO e SILVEIRA, 2018).

De acordo com Filho *apud* Baran (2013, p. 3), a manutenção preventiva pode ser definida como:

Todas as ações de manutenção que são executadas enquanto o sistema apresenta condições operacionais, ainda que com algum defeito, podendo ser realizadas em intervalos de tempo predeterminados, em função da vida útil e do ciclo de operação ou em função de critérios operacionais.

Xenos (1998, p. 24) afirma que:

A manutenção preventiva, feita periodicamente, deve ser a atividade principal de manutenção em qualquer empresa. Na verdade, a manutenção preventiva é o coração das atividades de manutenção! Ela envolve algumas tarefas sistemáticas, tais como inspeções, reformas e trocas de peças, principalmente. Uma vez estabelecida, a manutenção preventiva deve ter caráter obrigatório.

Ainda conforme Xenos (1998), no ponto de vista dos custos de manutenção, a Manutenção Preventiva é mais cara que a Corretiva, pois exige a troca de peças e a reforma de componentes antes de atingirem seus limites de vida útil. Todavia, ainda de acordo o autor, com a aplicação deste método, a frequência da ocorrência de falhas diminui e há uma redução nas interrupções inesperadas na produção. Com isso, levando em conta o custo total de manutenção, a Manutenção Preventiva se torna mais barata do que a Corretiva, pelo fato de que com a sua aplicação, os equipamentos estarão menos sujeitos a interrupções não programadas, que causam perda de recursos e aumento de custos (XENOS, 1998).

- **Manutenção Preditiva:**

Para Papic *et al. apud* Baran (2012), grande parte dos componentes ou sistemas apresentam uma espécie de sintoma antes da ocorrência de uma falha e que a leitura desses sintomas pode determinar o estado de operação da máquina ou mesmo a necessidade de executar uma intervenção para manutenção.

Ya'cubsohn*apud* Marçal (2005) diz que ao executar constante monitoramento e análise dos dados desses sintomas, pode-se prever ou detectar falhas, o que torna possível realizar o planejamento de uma possível atividade de manutenção corretiva de maneira organizada e com alto embasamento técnico.

Kardec e Nascif (2009, p.45) afirmam que:

A Manutenção Preditiva é a primeira grande quebra de paradigma na Manutenção e tanto mais se intensifica quanto mais o conhecimento tecnológico desenvolve equipamentos que permitam avaliação confiável das instalações e sistema operacionais em funcionamento. Seu objetivo é prevenir falhas nos equipamentos ou

sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, **permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível.**

Alguns fenômenos que são detectados pela Manutenção Preditiva são: alteração no nível de vibração de equipamentos rotativos, contaminação de óleos lubrificantes, alteração nos níveis de pressão, entre outros (GREGÓRIO e SILVEIRA, 2018).

No contexto de custos dos métodos de manutenção, a Manutenção Preditiva é a mais cara devido ao custo de investimento em tecnologia. Para que seja realizada a escolha do método de manutenção de maneira adequada, deve-se utilizar critérios técnicos e econômicos para cada equipamento ou sistema, optando-se por um método específico ou uma combinação dos três citados até aqui. Um programa de manutenção eficaz consiste na alocação adequada de recursos destinados a manutenção e de uma combinação de métodos apropriada para cada situação, a partir de vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de manutenção existentes (PAPIC *et al.*, 2009).

- **Manutenção Autônoma:**

Primeiro passo para a implantação do TPM (*Total Productive Maintenance*), a Manutenção Autônoma é um método que consiste basicamente em desenvolver os operadores para que estes sejam capazes de realizar atividades de rotina da manutenção, como inspeção visual, limpeza e lubrificação. A aplicação desse método tende a propiciar um maior conhecimento e interesse do pessoal da operação sobre os equipamentos, fazendo com que sejam capazes de cuidar e detectar eventuais falhas e anomalias existentes nas instalações, bem como atuarem para prevenir que os problemas não se tornem mais graves no futuro, o que contribui para o estreitamento da relação entre os setores de produção e manutenção (XENOS, 2005).

Kardec e Nascif (2009, p. 196) fazem uma analogia dos efeitos da Manutenção Autônoma com a área médica ao dizerem que:

O operador seria para o equipamento um enfermeiro, que presta os primeiros socorros, e é capaz de tomar providências para evitar problemas maiores ao paciente. O homem de Manutenção seria o médico, capaz de fazer intervenções de vulto para restaurar a saúde do paciente.

Kardec *et al. apud* Oliveira (2017) diz que a organização que pretende implementar o programa de Manutenção Autônoma deve realizar uma preparação prévia bem estruturada, já que seu sucesso depende fortemente do engajamento das equipes envolvidas. Ainda de acordo com o autor, para uma eficiente implantação do programa, há 5 requisitos essenciais, sendo

eles: comprometimento formal e apoio da alta gerencia, definição das áreas e de seus respectivos líderes, seleção de equipamentos piloto, elaboração de plano de implementação.

2.2 Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)

2.2.1 Breve Histórico da MCC

O advento publicamente conhecido como sendo o que deu início à criação da Manutenção Centrada em Confiabilidade foi a necessidade de certificar a nova linha de aviões Boeing 747 da década de 1970, pela FAA – *Federal Aviation Authority* nos Estados Unidos (TELES, 2019).

Para aquele período, o nível de recursos tecnológicos e de automação dessas aeronaves era bastante avançado, e a capacidade de transporte de passageiros era três vezes maior que a do maior avião existente na época (TELES, 2019).

No início da década de 1960, foram acumulados e estudados dados de falhas em aeronaves. Mundialmente, a taxa de acidentes foi superior a 60 acidentes por milhão de decolagens, e dois terços dos eventos ocorreram devido a falha de equipamento. Para colocar essa taxa de falha em perspectiva, a mesma taxa de acidente do ano de 1985 seria o equivalente a dois Boeings 737 sofrendo queda em algum lugar do mundo diariamente (REGAN, 2020).

O aumento da taxa de falhas tornou-se um problema para as operações, órgãos de gestão, governo e agências reguladoras, então medidas foram tomadas na tentativa de aumentar a confiabilidade dos equipamentos das aeronaves (REGAN, 2020).

Naquele ponto, devido à alta criticidade da aplicação da máquina e o momento histórico, identificou-se que o uso de metodologias de manutenção comumente aplicadas na época não seria o suficiente para atender todas as exigências para a certificação do novo Boeing 747 junto à FAA, e além de tudo, isso custaria caro (TELES, 2019).

O cenário anteriormente descrito foi o pontapé inicial para que no ano de 1968 a equipe da *United Airlines* criasse uma força tarefa chamada na época de MSG – *Maintenance Steering Group* – que foi liderada pelo então Vice-Presidente de Planejamento de Manutenção – Thomas D. Matteson – e contou com mais três engenheiros. O objetivo da missão era simples, mas não fácil: desenvolver um método de manutenção que garantisse a confiabilidade operacional, aeronavegabilidade e segurança das aeronaves sob um custo ótimo. Este foi o marco para o

surgimento da Terceira Geração da Manutenção, e o nascimento do método de Manutenção Centrada em Confiabilidade - MCC (TELES, 2019).

2.2.2 Conceito e Objetivos da MCC

Conforme Moubray (1992, p.7), a Manutenção Centrada em Confiabilidade (em inglês *Reliability Centered Maintenance – RCM*) é “um processo usado para determinar as necessidades de manutenção de qualquer ativo no seu contexto operacional”.

Fogliatto e Ribeiro (2011, p. 217) relatam que a MCC pode ser definida como “um programa que reúne várias técnicas de engenharia para assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuarão realizando as funções especificadas”.

Kardec e Nascif (2009, p. 140) dizem que a Manutenção Centrada em Confiabilidade se trata de “uma metodologia que estuda um equipamento ou sistema em detalhes, analisa como ele pode falhar e define a melhor forma de fazer manutenção de modo a prevenir a falha ou minimizar as perdas decorrentes das falhas”.

Para Teles (2019), pode-se dizer que a Manutenção Centrada em Confiabilidade consiste na política de manutenção que tem como característica principal: a determinação da estratégia de manutenção aplicada a cada ativo baseada em manter um determinado processo em funcionamento de forma confiável, segura e dentro dos parâmetros pré-estabelecidos.

Para Fogliatto e Ribeiro (2011), a abordagem utilizada nesse método de manutenção é racional e sistemática, devido a isso, a aplicação de um programa de MCC tem se tornado a forma mais eficiente de tratar as questões de manutenção. Ainda segundo os autores, a implantação do método permite que as organizações alcancem excelência nas atividades de manutenção, e obtenham aumento na disponibilidade dos equipamentos e redução dos custos de operação e manutenção.

Teles (2019, p. 5) afirma que a MCC é:

O modelo de manutenção mais rentável que existe. Pelo fato de ser feito apenas o que deve ser feito para manter o ativo e não o que pode ser feito. Há uma diferença muito grande entre fazer aquilo que deve ser feito e aquilo que pode ser feito.

Para Moubray (1997), quando a implantação de um programa de MCC é executada de forma correta, os ganhos positivos são expressivos, principalmente em relação a redução de custos e aumento de disponibilidade. Um resumo dos principais resultados gerados pela correta aplicação da MCC segundo o autor é:

- a) Redução de 40% a 70% das atividades de manutenção;

- b) Otimização do planejamento da manutenção;
- c) Aumento da produtividade;
- d) Aumento da segurança humana e ambiental;
- e) Redução dos custos com manutenção, materiais e operação;
- f) Melhoria da administração nas organizações.

2.3 Definições e Medidas de Confiabilidade Aplicadas na MCC

2.3.1 Funções e Padrões de Desempenho

Segundo a norma SAE JA1011 *apud* Zaions (2003, p. 44), a função pode ser definida como “qualquer propósito pretendido para um processo ou produto. É aquilo que o usuário quer que o item físico ou sistema faça”.

Moubray (1997) explica que uma função deve consistir em um verbo, um objeto e um padrão de desempenho esperado pelo usuário, como por exemplo: “movimentar 100 quilos de cargas por minuto”. Neste caso, a função é movimentar cargas, e o padrão de desempenho esperado pelo usuário é de 100 quilos por minuto.

Para Mobley (2008), identificar a função consiste essencialmente em descrever as exigências que o sistema deve satisfazer ao usuário em termos de capacidade de desempenho, e estando dentro dos limites especificados para todos os modos de operação.

A identificação das funções de um sistema ou processo deve ser executada de maneira cautelosa, pois normalmente um equipamento apresenta mais de uma, às vezes várias funções, incluindo funções passivas, não tão claras quanto às principais, mas que exercem influência no desempenho resultante do equipamento (NAVSEA, 2007; ZAIONS, 2003).

Moubray (1997) considera que as funções são divididas em dois grandes grupos: (a) funções primárias ou principais; e (b) funções secundárias ou auxiliares. As funções do tipo (a) são as essenciais para que o processo ocorra, isto é, o que o usuário deseja que o item faça. Já as do tipo (b) são as complementares, como a aparência e integridade estrutural do sistema.

Siqueira (2009) destaca a importância de priorizar os recursos de manutenção de acordo com as funções do equipamento mediante o seu impacto em: segurança, meio ambiente, fatores econômicos e operação da instalação.

Moubray (1997) complementa ao dizer que um ativo tem um limite de capacidade inicial (também conhecida como confiabilidade inerente do equipamento), e que, em uma aplicação real, tem-se um padrão de desempenho mínimo desejado conforme a necessidade do usuário.

A Figura 2 ilustra um ativo passível de manutenção, e sua faixa de capacidade inicial e padrão de desempenho desejado pelo usuário.



Figura 2. Ativo passível de manutenção.
Fonte: Adaptado de Moubray (1997).

Neste contexto, a manutenção não é capaz de fazer com que a performance do ativo ultrapasse a sua capacidade inicial devido à inevitável deterioração causada pelo seu uso, mas que ela, sim, é capaz, e tem como objetivo manter o ativo funcionando entre o limite de capacidade inicial e o de padrão de desempenho desejado pelo usuário. Nesse cenário, o ativo é considerado passível de manutenção.

Já a Figura 3 ilustra um ativo não-passível de manutenção, e sua faixa de capacidade inicial e desempenho esperado pelo usuário.

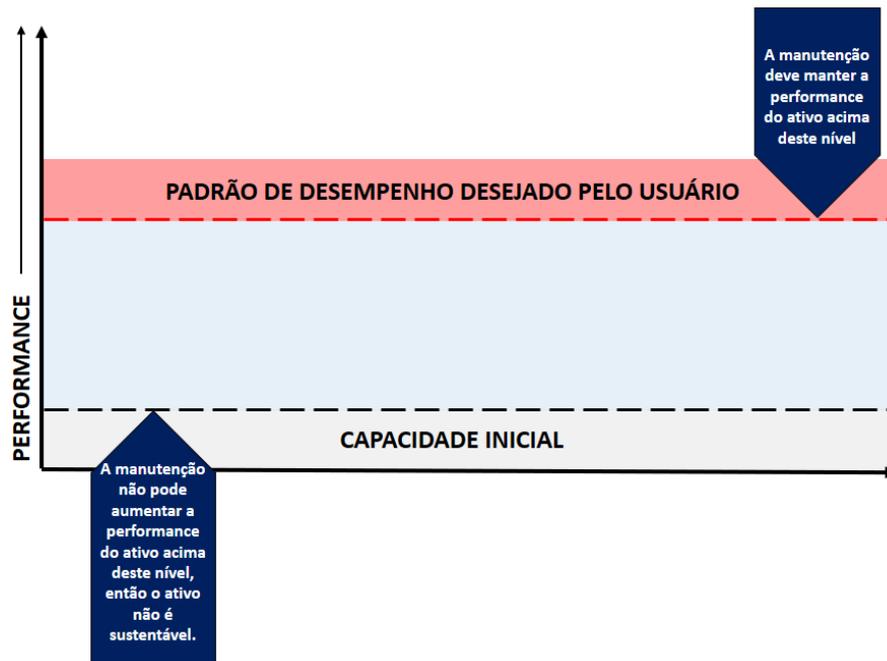


Figura 3. Ativo não passível de manutenção.
Fonte: Adaptado de Moubray (1997).

No caso ilustrado pela Figura 3, tem-se a situação contrária à de um ativo passível de manutenção, isto é, quando a capacidade inicial do ativo não supre o padrão de desempenho desejado pelo usuário para a aplicação. Neste caso, dado que a manutenção deve manter o ativo executando sua função entre os limites de capacidade inicial e padrão de desempenho esperado, o ativo é considerado não passível de manutenção, pois o usuário requer do equipamento um padrão de desempenho acima de sua capacidade inicial, condição esta que faz a manutenção ser não sustentável, pois o equipamento sofrerá demasiado desgaste devido ao uso em tal situação.

2.3.2 Contexto Operacional

Para Zaions (2003, p. 45), “o contexto operacional está associado às condições (funções) nas quais o ativo físico irá operar. O contexto operacional se insere inteiramente no processo de formulação estratégica da manutenção”.

Moubray (1997, p. 28) afirma que:

Não só o contexto operacional afeta drasticamente as funções e o desempenho esperado, mas também afeta a natureza dos modos de falha que podem ocorrer, seus efeitos e consequências, a frequência com que acontecem e o que deve ser feito para gerenciá-los.

Devido à grande influência que o contexto operacional exerce sobre a condição do equipamento ou processo em termos de performance e desgaste, antes de iniciar a implantação de um programa de Manutenção Centrada em Confiabilidade, é necessário ter uma compreensão clara do contexto operacional (MOUBRAY, 1997).

Zaions (2003) cita que para que ocorra uma perfeita compreensão do contexto operacional, os seguintes fatores devem ser considerados: (i) processos em lote e em fluxo; (ii) redundância; (iii) padrões de qualidade; (iv) padrões ambientais; (v) padrões de segurança; (vi) turnos de trabalho; (vii) trabalho em processo; (viii) tempo de reparo; (ix) peças sobressalentes; (x) demanda de mercado; (xi) suprimento de matéria-prima.

2.3.3 Falhas Funcionais e Potenciais

Conforme a NBR 5462 *apud* Gregório e Silveira (2018, p. 15), uma falha é o “evento caracterizado pelo término da capacidade de um item de desempenhar a função requerida”.

Teles (2019) classifica as falhas em falha potencial e falha funcional conforme o que segue:

- **Falha potencial:** caracteriza o início de uma falha no equipamento, e como ela se apresenta. Quando é gerada uma falha potencial, o sistema não sofre interrupção imediata de fornecimento da função requerida pelo usuário, mas começa a ter o seu nível de performance diminuído progressivamente.

- **Falha funcional:** é a incapacidade de um sistema atender a um padrão de desempenho especificado, seja por perda de função causada por alguma interrupção ou falta de capacidade do equipamento para funcionar no nível que foi considerado satisfatório pelo usuário. As falhas funcionais devem ser determinadas de acordo com as funções primárias identificadas no processo ou equipamento em seu contexto operacional.

Segundo Teles *apud* Gregório e Silveira (2018), por meio de técnicas da Manutenção Preditiva, é possível plotar uma curva comumente chamada de “PF”, que projeta o período de tempo entre a falha potencial e a falha funcional. A curva PF possibilita que se acompanhe a evolução da falha, e assim, pode-se planejar a realização de uma intervenção para manutenção corretiva programada antes que a falha funcional aconteça.

A Figura 4 apresenta um exemplo de curva PF.

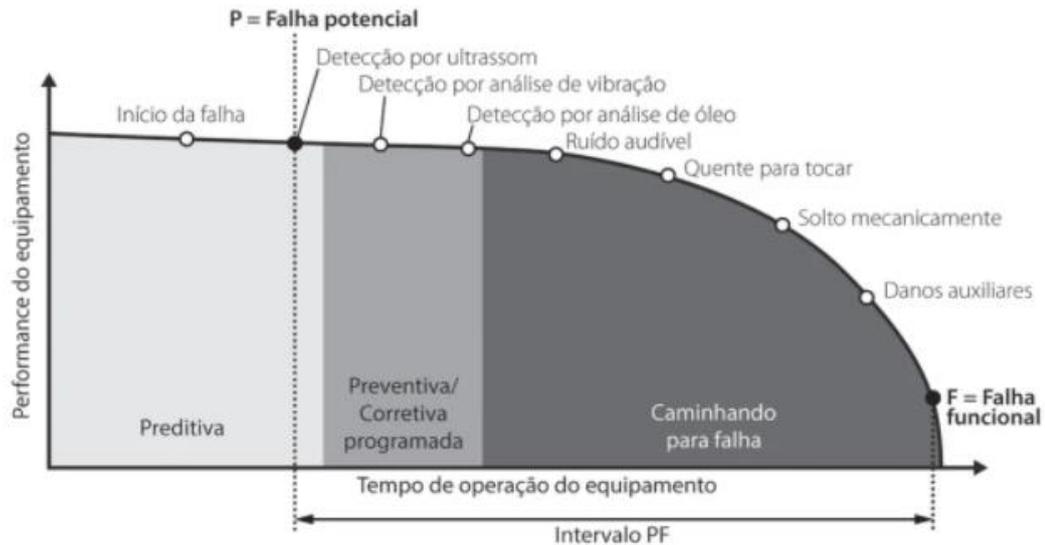


Figura 4. Curva PF.

Fonte: Adaptado de Gregório e Silveira (2018).

A partir da Manutenção Preditiva, detecta-se a falha potencial (ponto P), que é monitorada durante o tempo de funcionamento do sistema, sendo visível a diminuição na performance até que a falha funcional (ponto F) venha a finalmente ocorrer. Percebe-se que ao longo da evolução da falha, vários sintomas foram identificados, resultado que é um dos objetivos da Manutenção Preditiva.

2.3.4 Modos de Falha

Para Regan (2020, p. 24), um modo de falha é “o fato que causa uma falha funcional”.

As normas EN 60812 e TM 5-968-4 *apud* Baran (2011, p.41) definem, respectivamente, modo de falha como “a maneira como ocorre a falha em um item” e “a maneira que uma falha é observada em uma função de subsistema ou componente”.

Conforme Helman *apud* Zaions (2003, p. 46), “modos de falha são eventos que levam, associados a eles, a uma diminuição parcial ou total da função do produto e de suas metas de desempenho”.

Moubrey (2000) enfatiza que a identificação dos modos de falha de um equipamento ou processo é uma das etapas mais importantes da implantação de um programa que tem como objetivo assegurar que um ativo continue a preencher sua função requerida, pois a correta identificação dos modos de falha irá possibilitar a elaboração de estratégias de manutenção adequadas para prevenir ou evitar que uma falha funcional ocorra.

Normalmente, são listados de um a trinta modos de falha como causas da falha funcional do processo ou equipamento (MOUBRAY, 1997). Alguns dos típicos modos de falha que

podem gerar a falha funcional são: fratura, deformação, desgaste, corrosão, abrasão, e desbalanceamento (BLOCH e GEITNER; HELMAN *apud* ZAIONS, 2003).

Além dos modos de falha inerentes ao processo ou equipamento em si, Regan (2020) destaca que é importante incluir em uma análise os modos de falha que cobrem questões como erro humano, manuais técnicos incorretos, projeto de equipamento inadequado e falta de procedimentos de emergência. Esses modos de falha permitem que tais problemas sejam analisados como parte do processo de implantação de programa de MCC para que soluções além da manutenção possam ser avaliadas e desenvolvidas (REGAN, 2020).

2.3.5 Efeitos da Falha

Segundo Kardec e Nascif (2009, p. 128), o efeito de uma falha é “uma consequência adversa para o consumidor ou usuário. Consumidor ou usuário pode ser a próxima operação ou o próprio usuário”.

De acordo com Moubray (1997, p. 73), “o efeito de falha descreve o que acontece quando uma falha ocorre”. De maneira complementar, Siqueira *apud* Souza (2008) aponta que o efeito da falha é o impacto resultante na função principal de um ativo.

Para Moubray (1997), é necessário observar que os efeitos da falha não são equivalentes às consequências das falhas. Um efeito de falha responde à pergunta “o que acontece quando o modo de falha ocorre? ”, enquanto a consequência de uma falha responde à pergunta “(de que maneira) isso importa? “.

2.3.6 Consequências da Falha

Backlund *apud* Baran (2011, p. 52) define como consequência de uma falha, “o impacto ocasionado no processo devido a sua ocorrência”.

Zaions (2003) complementa essa definição ao dizer que cada vez que uma falha ocorre, a organização é afetada de alguma forma negativa, podendo gerar perda de produtividade e de qualidade, danos ao meio ambiente, e aumento de custos.

Em uma instalação industrial, em geral, há centenas de modos de falha passíveis de serem ativados. Cada um desses modos de falha irá afetar a organização de uma maneira diferente. Alguns podem ter um efeito desprezível, outros podem causar grandes prejuízos, associados à segurança, produtividade, qualidade ou meio ambiente. O esforço dedicado a

evitar a ocorrência de cada falha possível deve ser proporcional à consequência dessa falha (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2011).

Moubray (1997) afirma que o grau de importância de cada falha para a organização depende do contexto operacional do ativo, dos padrões de desempenho que se aplicam a cada função, e dos efeitos físicos de cada modo de falha.

Moubray (1997, p. 91) ainda chama a atenção ao dizer que:

Esta combinação de contexto, padrões e efeitos significa que cada falha tem um conjunto específico de consequências associadas a ela. Se as consequências forem muito graves, esforços consideráveis serão feitos para prevenir a falha, ou pelo menos antecipá-la tempo de reduzir ou eliminar as consequências. Isso é especialmente verdade se a falha puder ferir ou matar alguém, ou se houver probabilidade de afetar seriamente o meio ambiente. Isso é também verdadeiro para falhas que interferem com a produção ou operações, ou que podem causar danos secundários significativos.

Fogliatto e Ribeiro (2011, p. 220) atestam que “no âmbito da MCC, a consequência da falha é o aspecto-chave que orienta as ações preventivas, definindo a prioridade e intensidade das ações”.

2.3.7 Tempo Médio Entre Falhas (MTBF)

A NBR 5462 *apud* Zaions (2003, p. 50) define o Tempo Médio entre Falhas “como o valor esperado do tempo entre falhas de um item, e adota a sigla originária do inglês MTBF (*Mean Time Between Failures*)”.

Martins (2012) sintetiza que o parâmetro MTBF reflete a frequência de intervenções para execução de manutenção no equipamento durante determinado tempo específico.

Para Gregório e Silveira (2018, p. 165), o MTBF se dá pela “média dos tempos entre o fim de uma falha e o início de outra em equipamentos reparáveis”. As autoras complementam ao citar que o parâmetro pode ser calculado a partir da equação (1).

$$MTBF = \frac{\text{somatório das horas em bom funcionamento}}{\text{número de paradas para manutenção corretiva}} \quad (1)$$

O Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) é frequentemente usado como base inicial para determinar o intervalo entre Manutenções Preventivas. Esta abordagem não fornece nenhuma informação sobre o efeito do aumento da idade da instalação na confiabilidade, ou seja, é um cenário onde a taxa de falhas é constante (NASA, 2008).

A Figura 5 representa graficamente o MTBF durante a operação de um equipamento.

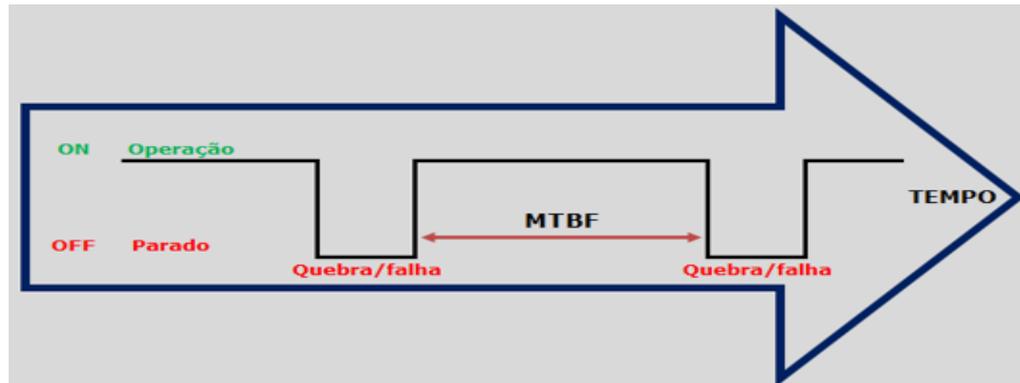


Figura 5. Tempo Médio Entre Falhas (MTBF).
Fonte: MANUTENÇÃO EM FOCO, 2017.

A Figura 5 ilustra que o MTBF, de uma forma direta, se remete à estimativa do tempo transcorrido entre o final de uma falha e a próxima que irá acontecer, para isso, é importante **utilizar os dados históricos para realizar os cálculos de forma embasada e assertiva.**

No âmbito da Manutenção Preventiva, a utilização do MTBF é interessante no sentido de estimar qual o tempo restante até que as falhas ocorram, e, a partir disso, planejar e encaixar de maneira adequada a intervenção para manutenção no equipamento na programação para, assim, evitar uma falha aleatória.

2.3.8 Tempo Médio para Reparo (MTTR)

De acordo com Teles (2019, p. 127), o Tempo Médio para Reparo (do inglês *Mean Time To Repair*– MTTR) “é o tempo médio que uma falha funcional de um sistema ou equipamento leva para ser reparada”.

A NASA (2008) descreve o MTTR como sendo a média aritmética dos tempos do ciclo de manutenção de acordo com o número de intervenções de um sistema (exclui ações de Manutenção Preventiva).

Gregório e Silveira (2018) complementam a definição anterior ao afirmarem que o parâmetro MTTR pode ser calculado pela equação (2).

$$MTTR = \frac{\text{somatório de tempos de reparo}}{\text{número de intervenções realizadas}} \quad (2)$$

Se o MTBF for alto quando comparado ao MTTR, tem-se alta disponibilidade. Caso haja uma queda na confiabilidade (ou seja, MTBF torna-se menor), é necessária uma melhor manutenção (ou seja, MTTR mais curto) para alcançar o mesmo nível de disponibilidade (NASA, 2008).

2.3.9 Disponibilidade Inerente

A NBR 5462 *apud* Kardec e Nascif (2009, p. 112), define a disponibilidade como:

A capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados. O termo “disponibilidade” é usado como medida do desempenho de disponibilidade.

Gregório e Silveira (2018) definem a disponibilidade como a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um determinado instante ou durante um intervalo de tempo preestabelecido, ou seja, é a relação entre o tempo em que o ativo está efetivamente produzindo e o tempo programado para produção. Ainda, as autoras citam que a disponibilidade pode ser calculada pela equação (3).

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \times 100\% \quad (3)$$

De acordo com Kardec e Nascif (2009), a medida de disponibilidade mostrada na equação acima é classificada como disponibilidade inerente. O termo “inerente” se deve ao fato de que neste cálculo, a contabilização do MTTR leva em conta apenas o tempo de reparo da unidade, excluindo os demais tempos – tempo de movimentação, logística, espera de peças de reposição, etc. Sendo assim, a medida de disponibilidade inerente reflete o tempo que seria disponível para o ativo operar se não ocorressem perdas de tempo ou atraso no processo de reparo da instalação.

Conforme a capacidade de reparo de uma unidade, o conceito de disponibilidade pode variar. Para unidades não-reparáveis, disponibilidade e confiabilidade são equivalentes, tais como lâmpadas. Já em unidades reparáveis, os estados da unidade em um tempo “t” de análise podem se alternar entre “funcionando” e “em manutenção”. Sendo que, neste último caso, o valor médio de disponibilidade é dado pela divisão entre o MTTF (Tempo Médio Até a Falha) e o somatório de MTTF e MTTR. O somatório de MTTF e MTTR é o definido como o Tempo Médio Entre Falhas, MTBF (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2011). A Figura 6 ilustra graficamente o MTBF e seus componentes.

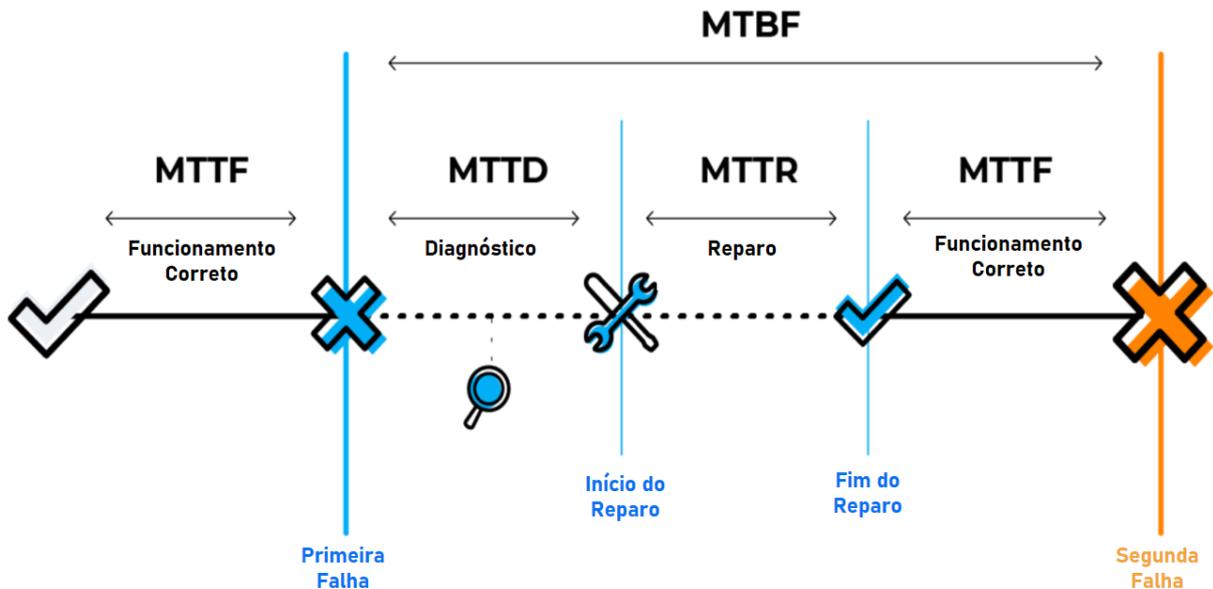


Figura 6. MTBF de unidades reparáveis e seus componentes.
Fonte: Adaptado de PLUTORA, 2020.

A Figura 6 traz ainda o parâmetro MTTD (*Mean Time to Detect*) como componente do MTBF, que representa o Tempo Médio de Detecção da Falha, isto é, o intervalo de tempo transcorrido até que a falha seja detectada e a intervenção tenha início (PLUTORA, 2020).

2.3.10 Manutenibilidade

Para Teles (2019, p. 246), a manutenibilidade “é a probabilidade de reparar uma falha dentro de um determinado tempo previsto”. O mesmo autor também cita que a manutenibilidade é também conhecida como mantenabilidade.

Fogliatto e Ribeiro (2011, p. 23) dizem que:

A Manutenibilidade é definida como a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, mediante condições preestabelecidas de uso, quando submetido à manutenção sob condições predeterminadas e usando recursos e procedimentos padrão.

Kardec e Nascif (2009) simplificam a manutenibilidade como sendo o atributo que expressa o grau de facilidade na execução dos serviços de manutenção que uma instalação ou sistema oferece. Os autores ressaltam também que ela está associada com o parâmetro MTTR (Tempo Médio para Reparo), sendo que essa relação é inversamente proporcional no sentido de que quanto menor o MTTR, maior a o nível de manutenibilidade.

2.3.11 Taxa de Falhas

O parâmetro taxa de falhas é a relação entre o número de falhas ocorridas e o número de horas de operação de um determinado equipamento (KARDEC e NASCIF, 2009).

Teles (2019) descreve que a taxa de falhas é a frequência com que um determinado equipamento apresenta falhas. É expressado matematicamente pela letra grega λ (lambda) e é altamente usado na engenharia de confiabilidade.

Conforme Gregório e Silveira (2018), a taxa de falhas (λ) pode ser calculada através da equação (4).

$$\lambda = \frac{\text{número de falhas}}{\text{número de horas de operação}} = \frac{1}{MTBF} \quad (4)$$

Kardec e Nascif (2009) mostram uma curva característica da vida de um produto, equipamento ou sistema. Essa curva descreve a taxa de falhas ao longo da idade de um item, e é popularmente conhecida como “curva da banheira” devido ao seu formato côncavo semelhante ao de uma banheira. A Figura 7 mostra um exemplo de uma curva desse tipo.

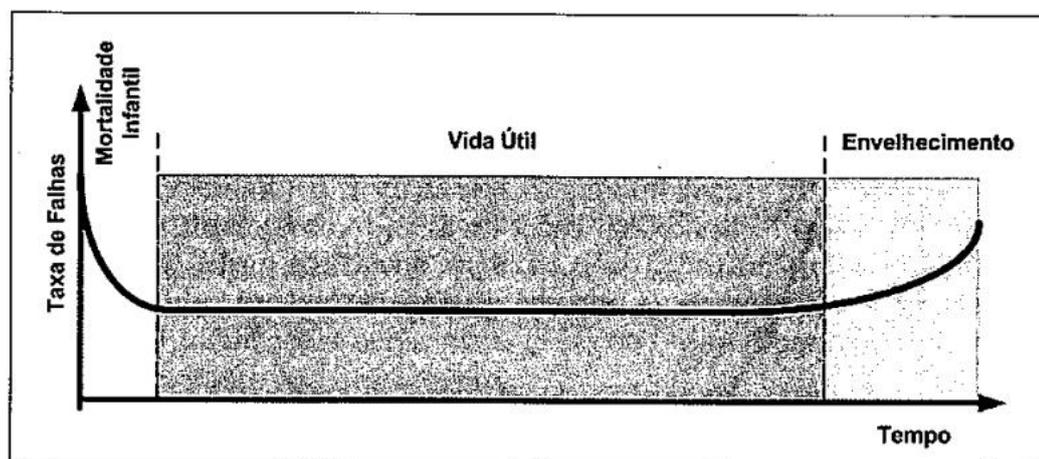


Figura 7. Curva típica da vida de equipamentos.
Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009)

Na Figura 7, a fase de “Mortalidade Infantil” da curva (1º estágio) representa as falhas devido a erros de instalação e defeitos oriundos da fabricação e montagem do sistema, bem como da falta de familiaridade e domínio dos operadores sobre o equipamento. No período chamado de “Vida Útil” (2º estágio), a taxa de falhas é relativamente constante, os operadores tendem a estar familiarizados com o funcionamento do equipamento, e a origem das falhas envolve fatores menos controláveis, como fadiga e corrosão, nesta fase, a detecção de falhas é mais difícil. Na última fase, denominada de “Envelhecimento” (3º estágio), o equipamento tem uma taxa de falhas crescente e progressiva provocada pelo desgaste natural e perda de resistência (KARDEC e NASCIF, 2009; XENOS, 1998).

Para Xenos (1998, p. 70), a curva da banheira “é um modelo de falha geralmente aceito e representa satisfatoriamente a combinação de diferentes modelos de falhas”.

Do ponto de vista da manutenção, Kardec e Nascif (2009) destacam que a taxa de falhas da fase de mortalidade infantil será tanto maior quanto pior for o trabalho desenvolvido nas etapas que antecedem a entrada em operação de qualquer equipamento ou sistema, serviço este que, normalmente, é realizado pelo pessoal da manutenção, o que resulta na atribuição para este setor de todo o ônus de um possível trabalho mal-feito, que se traduz em baixa confiabilidade e perda de lucros para a planta da instalação.

Moubray (1997, p. 133) enfatiza que:

Em geral, os padrões de falha relacionados à idade se aplicam a itens que são muito simples, ou para itens complexos que sofrem de um modo de falha dominante. Na prática, eles são comumente encontrados sob condições de desgaste direto (a maioria frequentemente quando o equipamento entra em contato direto com o produto). Eles também estão associados a fadiga, corrosão, oxidação e evaporação.

2.3.12 Confiabilidade

Conforme Flogiatto e Ribeiro (2011, p. 1), “em seu sentido mais amplo, confiabilidade está associada à operação bem-sucedida de um produto ou sistema, na ausência de quebras ou falhas”.

Gregório e Silveira (2018, p. 164) trazem a seguinte definição:

A confiabilidade, representada por $R(t)$, é a capacidade de um item de desempenhar, de forma satisfatória, uma função requerida sob condições especificadas durante um dado intervalo de tempo, ou seja, é uma probabilidade. O termo confiabilidade também é usado como uma medida de desempenho de confiabilidade.

Leemis *apud* Flogiatto e Ribeiro (2011, p. 2) complementa a definição anterior ao afirmar que em análises de engenharia, é necessária uma definição quantitativa de confiabilidade, em termos de probabilidade, trazida por Gregório e Silveira (2018) como a função $R(t)$.

Kardec e Nascif (2009) completam a definição ao dizer que por ser uma probabilidade, a confiabilidade de um equipamento é uma medida numérica que varia entre 0 e 1 ou de 0 a 100% e corresponde à relação entre o número de casos favoráveis e o número de casos possíveis em um tempo “ t ”.

Gregório e Silveira (2018) sintetizam que para o cálculo da confiabilidade, seguindo uma distribuição exponencial, é necessária a taxa de falhas do equipamento (λ). As autoras mostram que de posse dessa informação e do período “ t ” para a projeção do cálculo, a confiabilidade com distribuição exponencial e a taxa de falhas constante pode ser calculada através da equação (5).

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (5)$$

2.4 Principais Ferramentas de Apoio à MCC

De acordo com Zaions (2003), no processo de implantação de um programa de Manutenção Centrada em Confiabilidade existem duas principais ferramentas de apoio: a Análise dos Modos e Efeitos de Falhas - FMEA (do inglês *Failure Modes and Effects Analysis*) e a Árvore de Análise de Falhas - FTA (do inglês *Fault Tree Analysis*).

Fogliatto e Ribeiro (2011, p. 174) afirmam que a aplicação de técnicas como a FMEA e a FTA:

Revelam os pontos fracos do sistema e, assim, fornecem subsídios para as atividades de melhoria contínua. FMEA e FTA têm a vantagem de sistematizarem o diagnóstico de produtos e processos. Essas técnicas auxiliam a detectar e eliminar possíveis ocorrências de falha e fornecem uma hierarquia de prioridades para as ações.

Em uma análise FMEA, o procedimento é executado de “baixo para cima”, a partir de um elemento do sistema, e busca mapear os seus modos de falha e estimar os seus efeitos em todo o sistema. Já numa análise FTA, se começa com uma falha (chamada de evento de topo) e, de maneira lógica, trabalha-se para identificar todas as possíveis causas dessa falha, ou seja, a avaliação é feita de “cima para baixo” (SLACK; CHAMBERS; JOHNS-TON *apud* GREGÓGIO e SILVEIRA, 2018; FOGLIATTO e RIBEIRO, 2011).

Conforme explicitado por Haiany (2016), a literatura aponta que a FMEA é a ferramenta de apoio mais amplamente usada quando o assunto é a implantação de um programa de Manutenção Centrada em Confiabilidade.

2.4.1 Análise dos Modos e Efeitos de Falhas (FMEA)

De acordo com a *American Society for Quality Control* (ASQC) e Omdahl *apud* Stamatis (2003, p. 21), a Análise dos Modos e Efeitos de Falhas (FMEA) é:

Uma técnica de engenharia usada para definir, identificar e eliminar falhas conhecidas e/ou potenciais, problemas, erros e assim por diante do sistema, projeto, processo e/ou serviço antes de chegarem ao cliente.

A FMEA é um importante elemento do método de Manutenção Centrada em Confiabilidade, e consiste em um procedimento analítico para determinar quais itens de um sistema falham, por que eles geralmente falham e que efeito sua falha tem no sistema como um todo (NASA, 2008).

Para Fogliatto e Ribeiro (2011, p. 175) a FMEA é:

Uma técnica de confiabilidade que tem como objetivos: (i) reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo, (ii) identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas, e (iii) documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo.

Haiany (2016) enfatiza que descrever a FMEA em um programa de MCC é essencial, e parte determinante na definição das estratégias de manutenção necessárias para fazer com que uma falha funcional não ocorra.

De acordo com Dhillon (2008), algumas das aplicações importantes do FMEA são:

- 1- Para identificar pontos fracos e vulnerabilidades de um item;
- 2- Para escolher alternativas de projeto durante fases iniciais;
- 3- Para servir de base para a realização de ações de melhoria;
- 4- Recomendar programas de teste apropriados.

Conforme Mobley (1999), a FMEA se baseia numa sequência de passos lógicos, que se inicia com a análise de subsistemas ou componentes, por meio da identificação dos modos de falhas potenciais e os mecanismos de falha, e o traçamento do efeito dessa falha nas funções primárias e secundárias do sistema. Cada modo de falha é avaliado quanto a sua severidade (impacto em termos de segurança, danos ao meio ambiente, produção, qualidade e custo), ocorrência (periodicidade de ocorrência do modo de falha) e nível de detecção (grau de facilidade de identificação do modo de falha), e categorizadas com valores de acordo com as suas características. A multiplicação dos valores de cada atributo gera um Número de Prioridade de Risco (RPN), do inglês *Risk Priority Number*. Após a identificação do RPN, as causas fundamentais dos modos de falha são avaliadas, para que seja possível priorizar e propor ações mitigadoras assertivas para a prevenção de uma falha funcional.

A Figura 8 mostra um exemplo de formulário de análise FMEA para um equipamento.

MCC	PLANILHA DE ANÁLISE DE MODOS E EFEITOS DE FALHAS									
	SISTEMA				Sistema N ^o	Equipe	Data		Folha N ^o	
	(01)									
	SUBSISTEMA				Subsistema N ^o	Analista	Data		de	
Equipamento	Função	Modo de Falha	Causa da Falha	Efeitos da Falha	Conseqüências da Falha	Fatores				
						S	O	D	R	
(02)	(03)	(04)	(05)	(06)	(07)	(08)	(09)	(10)	(11)	

Figura 8. Formulário FMEA.
Fonte: Adaptado de Zaions (2003).

Com relação à Figura 8, para a elaboração da FMEA, o primeiro passo é definir a equipe responsável, aqui, é importante que a equipe seja diversificada e tenha sólido conhecimento sobre o sistema ou processo analisado.

Feito isso, são definidos e identificados no formulário FMEA os itens do sistema que serão considerados na análise e suas fronteiras. É também registrada a data de elaboração do documento e feita sua identificação.

Procede-se com a preparação e coleta de dados, sendo estes geralmente constituídos de manuais técnicos de fabricantes do sistema, dados das condições de instalação, manutenção e operação, e registros históricos de falhas. Com os dados em mãos, é realizada a análise dos itens considerados, traçando seus modos, causas, efeitos e conseqüências de falhas. Feito isso, a análise prossegue com a identificação dos índices de Ocorrência (O), Severidade (S), Detecção (D) e Risco (R) de cada modo de falha. A multiplicação dos 4 índices gera o RPN.

Completada toda a análise, são traçadas as estratégias para mitigar ou eliminar os modos de falha levantados, a fim de assegurar que o ativo continue a exercer sua função requerida.

2.4.2 Árvore de Análise de Falhas (FTA)

Ebeling *apud* Zaions (2003) descreve que a Árvore de Análise de Falhas é uma técnica gráfica de análise dedutiva que conta com eventos ao invés de elementos do sistema, onde se parte de um evento indesejável (evento de topo), como uma falha ou desempenho abaixo do

esperado, e a partir disso, deduz-se todas as formas que este evento pode ocorrer e os fatores associados a isso.

Stamatis (2003, p. 45) relata que:

Como é usado hoje, o FTA é um modelo que lógicamente e graficamente representa as várias combinações de eventos possíveis, tanto defeituosos quanto normais, ocorrendo em um sistema que leva ao evento indesejado superior. Usa uma árvore para mostrar as relações de causa e efeito entre um único evento indesejado (falha) e as várias causas contribuintes. A árvore mostra as ramificações lógicas da falha única no topo, até a causa(s) raiz(s) na parte inferior da árvore.

A Figura 9 mostra um exemplo de Árvore de Falhas construída a partir de uma análise FTA de um motor elétrico queimado.

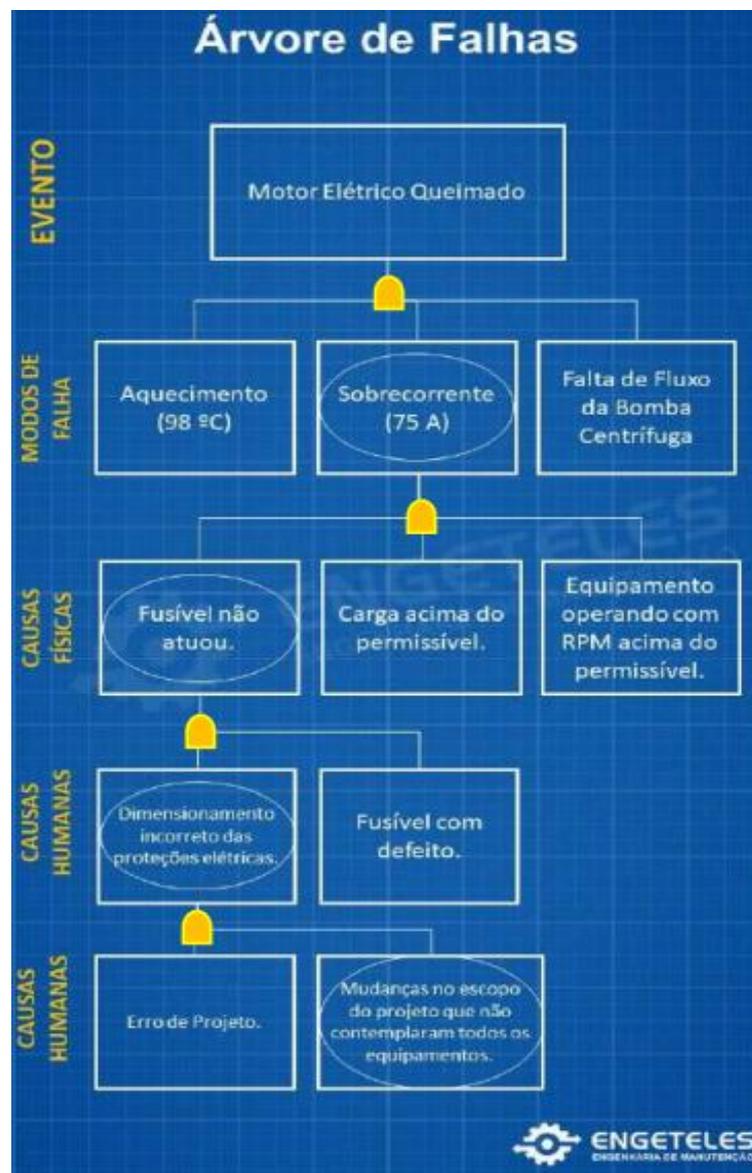


Figura 9. Árvore de Falhas de um motor elétrico queimado.
Fonte: TELES, 2019.

A Figura 9 mostra que a partir da falha caracterizada pela queima do motor elétrico, a FTA traça os principais fatores que podem estar envolvidos na ativação do modo de falha responsável por tal evento, fazendo uma listagem e análise de várias possibilidades que o antecederam e o fizeram, até que se chegue no que será considerado como causa raiz da falha.

A Figura 9 mostra ainda que ao decorrer da análise FTA, pode-se classificar as causas de falha como humanas e físicas.

2.4.3 Análise de Criticidade

O conceito de análise de criticidade envolve avaliar a importância de um equipamento para um processo em específico. Dessa maneira, quanto mais crítico o equipamento ou instrumento, maior sua indispensabilidade ao ciclo de produção (JIPM, 1995).

Logo, é natural definir a prioridade das ações de manutenção, corrigir falhas e manter a eficiência do sistema com base na importância da máquina, pois este desenho permite uma utilização mais assertiva dos recursos humanos e financeiros (KN WAAGEN, 2020).

Para a avaliação de criticidade de um sistema inserido em um processo, o JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*) (1995) recomenda a utilização da técnica de classificação ABC, que faz uso do fluxograma decisional e dos critérios apresentados na Figura 10.

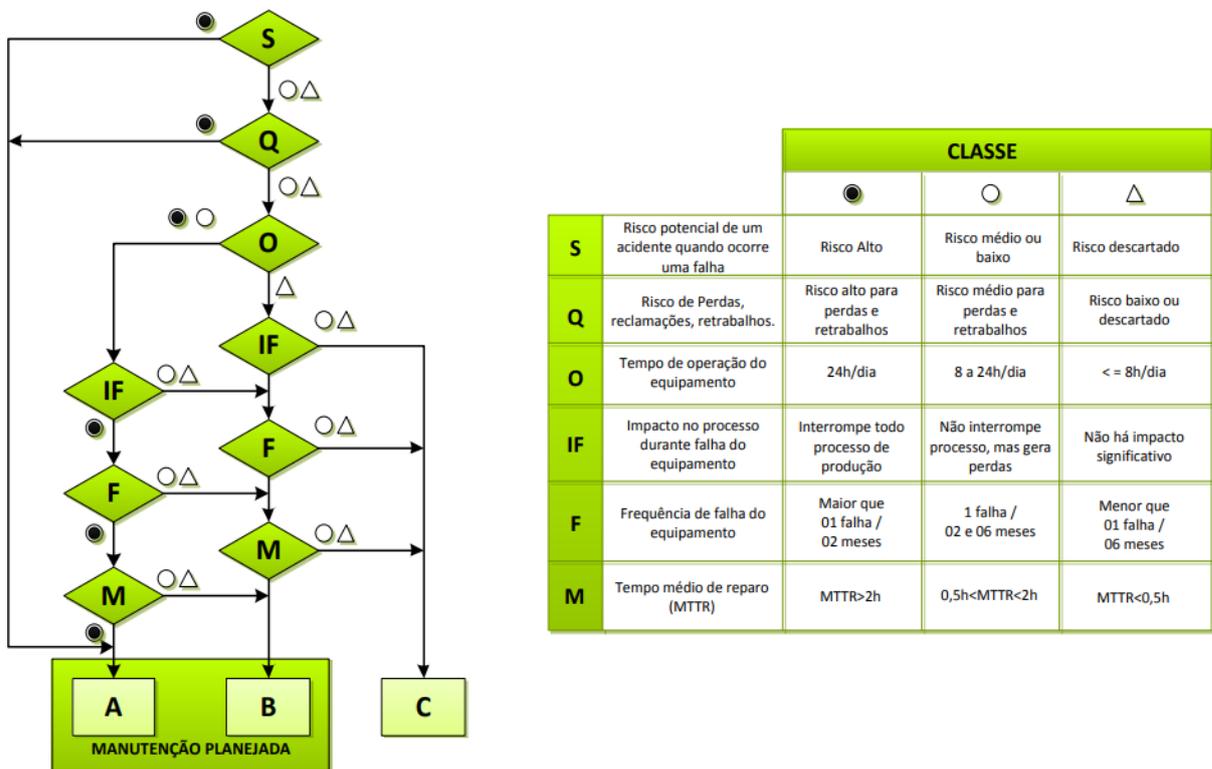


Figura 10. Classificação ABC (critérios e fluxo decisional).
Fonte: Adaptado de Baran *apud* JIPM (2013).

De acordo com o exposto na Figura 10, o sistema é avaliado mediante o impacto que uma falha do mesmo inflige ao contexto operacional, tendo como base alguns critérios-chave que tratam de aspectos relacionados à segurança, meio ambiente, qualidade e custos. Percebe-se que qualquer máquina ou sistema do processo que, em caso de falha, apresente risco alto de acidente ou de perdas, reclamações e retrabalhos é automaticamente classificado como “A”. Assim, através de perguntas que direcionam a análise, classifica-se o sistema em alguma das três classes (A, B ou C), sendo que, conforme o JIPM (1995), cada classe é descrita como:

- Classe A: Equipamentos altamente críticos para o processo, sendo fundamental uma política de manutenção preventiva com aplicação de: métodos preditivos e preventivos, análise das falhas de manutenção e operação, equipes de melhoria focadas, equipes focadas na redução de falhas, aplicação de metodologias MCC ou FMECA;
- Classe B: Equipamentos importantes para o processo, sendo aceitável aplicação de alguma das seguintes técnicas: preventiva ou preditiva, equipes e times de melhoria, análise das falhas pelo pessoal de manutenção;
- Classe C: Equipamentos com baixo impacto no processo, onde é aceitável a aplicação dos seguintes métodos e técnicas de manutenção: corretiva, preditiva e/ou preventiva em equipamentos utilitários, monitoramento de falhas para evitar recorrências.

2.4.4 Plano de Ação

De acordo com De Paula (2016), um plano de ação é um documento utilizado para planejar o trabalho necessário para atingir os resultados esperados ou solucionar problemas. O autor destaca ainda que o documento costuma ser elaborado em formato de planilha (eletrônica ou mesmo em papel), que contém informações como objetivos, ações e responsáveis e suas respectivas datas de entrega.

Além disso, Francischini (2007) menciona que um plano de ação também pode ser uma tarefa realizada para promover a maximização dos indicadores de desempenho, ou seja, o plano de ação deve ter uma relação causal clara com os objetivos que a empresa deseja atingir.

2.4.4.1 Plano de Ação 5W1H

Consoante a Reyes e Silvana (2000), o plano de ação do 5W1H permite considerar todas as tarefas a serem executadas ou selecionadas de forma cautelosa e objetiva, garantindo que sejam implementadas de forma organizada.

Cada ação deve ser descrita de acordo com os itens mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Itens do plano de ação formato 5W1H.

<i>What?</i>	O que será feito?
<i>When?</i>	Quando será feito?
<i>Where?</i>	Onde será feito?
<i>Why?</i>	Por que será feito?
<i>Who?</i>	Quem o fará?
<i>How?</i>	Como será feito?

Fonte: Adaptado de REYS (2000).

O plano de ação, após serem definidas todas as etapas acima para cada um dos itens a serem desenvolvidos, deve ficar em local visível por toda a equipe para que as ações passem a ser executadas e monitoradas.

2.5 Metodologias de Implementação da MCC

Existem vários materiais na literatura que apresentam metodologias de implantação de um programa de Manutenção Centrada em Confiabilidade. Haiany (2016) cita as abordagens de Regan (2012) e Hinchcliffe & Smith (2001). De acordo com Zaions (2003), as principais referências são: Moubray (2000), Smith (1993), Nowland & Heap (1978) e Anderson *et al.* (1978).

A Tabela 3 mostra uma comparação das etapas de implementação da MCC propostas por NASA (2008), Regan (2012) e Smith (1993).

Tabela 3. Comparação de metodologias de implementação do método MCC.

Etapa	NASA (2008)	Regan (2012)	Smith (1993)
1	Identificar o sistema e suas fronteiras	Preparar Contexto Operacional	Seleção do sistema e coleta de informações
2	Identificar sub-sistemas e componentes	Identificação das funções do sistema	Definição das fronteiras do sistema
3	Examinar a função do sistema	Definição das falhas funcionais	Descrição do sistema
4	Definir falhas (funcionais e potenciais) e modos de falha	Definição dos modos de falha	Análise das Funções e Falhas Funcionais do sistema
5	Identificar as consequências das falhas	Definição dos efeitos das falhas	Análise dos Modos, Efeitos e Criticidade das Falhas
6	Traçar estratégias de manutenção através do diagrama de decisão	Definição das consequências da falhas	Análise da árvore lógica de decisão
7	-	Seleção das atividades de manutenção	Seleção das tarefas preventivas
8	-	Seleção das atividades alternativas	-

Fonte: Pesquisa direta, 2021.

2.6 Visão Geral do Processo de Laminação

Laminação é um processo usado para conformar metais através da passagem de um material em uma lacuna de dois rolos girando em direções diferentes (sentido horário e anti-horário), com o objetivo de se obter uma redução na área da seção transversal em troca de um aumento no comprimento (CHAUHAN e AGRAWAL, 2013).

A laminação pode ser executada a quente e a frio. Essa classificação também se aplica a outros processos de conformação mecânica, como forjamento, extrusão e corte (BRESCIANI *et al.*, 2011). A diferença essencial entre os dois tipos de processos é a temperatura, sendo que, na conformação a quente, o material é processado a uma temperatura acima de sua temperatura de recristalização, enquanto na transformação a frio, o processo é executado abaixo dessa temperatura. A temperatura de recristalização de um metal se situa ao redor de 0,3 a 0,5 de sua

temperatura de fusão (IKUMAPAYI *et al.*, 2006). A Figura 11 ilustra a laminação a quente de uma chapa.

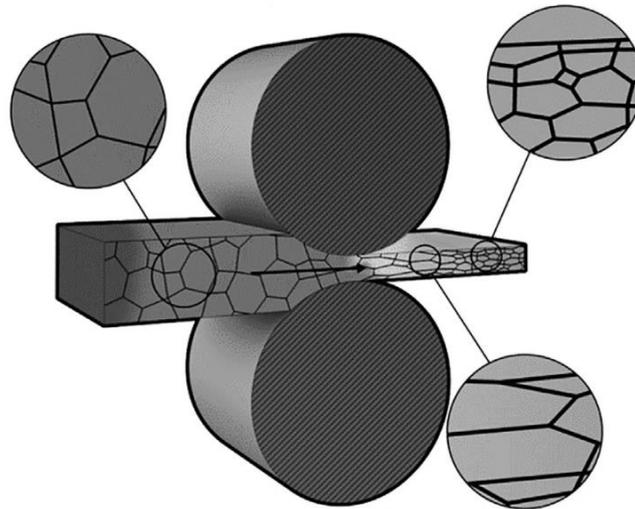


Figura 11. Ilustração do processo de laminação a quente.
Fonte: IKUMAPAYI *et al.*, 2006.

Conforme ilustrado na Figura 11, a laminação a quente representa a conformação de materiais de grande massa, como tarugos lingotados, placas e barras, nos quais a deformação do grão do material mantém uma microestrutura equiaxial que impede o metal de endurecimento por trabalho (SHEN *apud* IKUMAPAYI *et al.*, 2006).

Os produtos laminados podem ser: blocos, placas, tarugos, fio-máquina, barras, perfis normais, chapa grossa, tiras laminadas a quente e tiras laminadas a frio. A Figura 12 mostra bobinas de aço laminadas.



Figura 12. Bobinas laminadas.
Fonte: EMBALAGEM IDEAL, 2021.

Ilustradas pela Figura 12, as bobinas laminadas a quente podem ser usadas na construção de Distribuidores e Processadores, Construção Civil, Máquinas e Equipamentos, Autopeças, Implementos Agrícolas e Rodoviários, e Tubos (Empresa GERDAU, 2021).

A Figura 13 ilustra barras laminadas redondas de aço.



Figura 13. Barras redondas laminadas a quente.
Fonte: LAPEFER, 2021.

As barras redondas laminadas a quente representadas pela Figura 13 são destinadas a diversos setores industriais, mas principalmente ao setor automotivo, sendo utilizadas na produção de diferentes componentes, como virabrequim, biela, engrenagem, rolamento, parafuso, eixo, manga, cubo de roda, entre outros (Empresa GERDAU, 2021).

A Figura 14 mostra um esquema geral do processo de laminação de barras de aço.

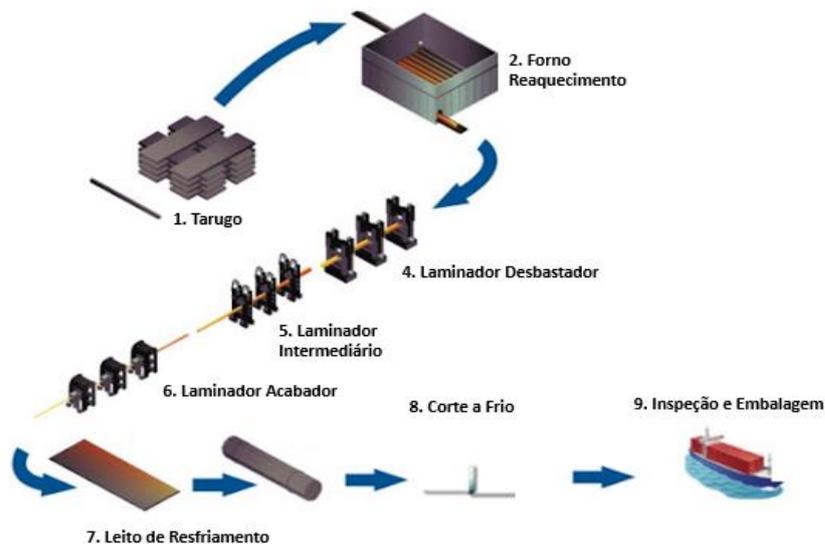


Figura 14. Esquemático do processo de laminação de barras.
Fonte: Adaptado de S. M. WIRES, 2021.

Ilustrado pela Figura 14, o processo de laminação de barras começa no forno reaquecimento, onde o material é aquecido através de um gradiente de temperatura pré-determinado até a temperatura de laminação. O processo prossegue com a passagem do material pelos laminadores a fim de que mesmo tome a forma desejada, para que, então, seja transferido para o leito de resfriamento. Resfriado, o material segue para a etapa de corte a frio, onde é

cortado no comprimento de acordo com a especificação do cliente final. Por fim, é executada a inspeção, embalagem e expedição.

2.7 Considerações finais do capítulo

O capítulo 2 apresentou uma revisão bibliográfica de todos os assuntos tratados neste trabalho, tendo como enfoque maior o método de Manutenção Centrada em Confiabilidade, dado que este tema é o principal a ser tratado nesta pesquisa. A seguir, o capítulo 3 esclarece os procedimentos metodológicos aplicados na elaboração do estudo.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipos de Pesquisa

Consoante a Demo *apud* Pradanov *et al.* (2013, p. 42), o entendimento da pesquisa é dado tanto como “procedimento de fabricação do conhecimento, quanto como procedimento de aprendizagem (princípio científico e educativo), sendo parte integrante de todo processo reconstrutivo de conhecimento”.

De acordo com a forma de abordagem do problema, a pesquisa é classificada como qualitativa ou quantitativa (PRADANOV *et al.*, 2013).

Conforme Creswell *apud* Castro (2020, p. 29):

Uma técnica qualitativa é aquela em que o investigador sempre faz alegações de conhecimento com base principalmente em perspectivas construtivistas (ou seja, significados múltiplos das experiências individuais, significados social e historicamente construídos, com o objetivo de desenvolver uma teoria ou um padrão) ou em perspectivas reivindicatórias/participatórias (ou seja, políticas, orientadas para a questão ou colaborativas, orientadas para a mudança) ou em ambas. Ela também usa estratégias de investigação como narrativas, fenomenologias, etnografias, estudos baseados em teoria ou estudos de teoria embasada na realidade. O pesquisador coleta dados emergentes abertos com o objetivo principal de desenvolver temas a partir dos dados.

Sobre a pesquisa quantitativa, Fonseca *apud* Gerhardt e Silveira (2009, p. 33) esclarece que:

Diferentemente da pesquisa qualitativa, os resultados da pesquisa quantitativa podem ser quantificados. Como as amostras geralmente são grandes e consideradas representativas da população, os resultados são tomados como se constituíssem um retrato real de toda a população alvo da pesquisa. A pesquisa quantitativa se centra na objetividade. Influenciada pelo positivismo, considera que a realidade só pode ser compreendida com base na análise de dados brutos, recolhidos com o auxílio de instrumentos padronizados e neutros. A pesquisa quantitativa recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. A utilização conjunta da pesquisa qualitativa e quantitativa permite recolher mais informações do que se poderia conseguir isoladamente.

Diante do exposto, a pesquisa deste trabalho é qualitativa, pois irá realizar o estudo da aplicação do método MCC na etapa de corte a frio do processo de laminação de uma empresa de siderurgia a partir de discussões com especialistas da companhia, análise de manuais técnicos e elaboração de procedimentos, onde a opinião do pesquisador e de terceiros podem estar agregados.

Gil (2002) elucida que do ponto de vista de seus objetivos, as pesquisas podem ser classificadas em descritivas, explicativas ou exploratórias.

De acordo com Alyrio *apud* Silva (2019, p. 34), na pesquisa descritiva “se busca essencialmente a enumeração e ordenação de dados, sem o objetivo de comprovar ou refutar hipóteses exploratórias, abrindo espaço para uma nova pesquisa explicativa, fundamentada na experimentação”.

Para Gil (2008, p. 28), as pesquisas explicativas:

São aquelas pesquisas que têm como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Este é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas. Por isso mesmo é o tipo mais complexo e delicado, já que o risco de cometer erros aumenta consideravelmente.

Sobre as pesquisas exploratórias, Pradanov *et al.* (2013) explica que nessa classificação, as pesquisas se encontram em fase preliminar, e tem como finalidade fornecer mais informações sobre o assunto que será investigado, possibilitando sua definição e seu delineamento, isto é, assimilar a delimitação do tema da pesquisa, orientar a fixação dos objetivos e a formulação das hipóteses, ou descobrir um novo tipo de enfoque para o assunto. Assume, em geral, as formas de pesquisas bibliográficas e estudos de caso (PRADANOV *et al.*, 2013).

Considerando o exposto, do ponto de vista dos objetivos da pesquisa deste trabalho, a classificação na qual ela se enquadra é a exploratória, pois se trata de um estudo de caso da etapa de corte a frio do processo de laminação de uma empresa siderúrgica, seus modos e efeitos de falha. Além disso, para propor medidas para a mitigação ou eliminação dos modos de falha, o trabalho se embasa em uma revisão bibliográfica, que tem como objetivo proporcionar maior entendimento dos conceitos e fenômenos associados ao objeto de pesquisa em questão.

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa deste trabalho é classificada como uma pesquisa bibliográfica, documental e de estudo de caso, sendo que, de acordo com Fonseca (2002, p. 32):

A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto.

A característica de pesquisa documental se dá pelo fato de que para a confecção da pesquisa serão utilizados documentos técnicos, escritos ou não, como manuais de equipamentos e procedimentos de operação, sendo estes denominados de fontes primárias (LAKATOS, 2002).

Ainda, com relação ao atributo de estudo de caso da pesquisa, conforme explicitado por Stake *apud* Creswell (2007, p.32), neste tipo de pesquisa:

O pesquisador explora em profundidade um programa, um fato, uma atividade, um processo ou uma ou mais pessoas. Os casos são agrupados por tempo e atividade, e os pesquisadores coletam informações detalhadas usando uma variedade de procedimentos de coleta de dados durante um período de tempo prolongado.

Portanto, a pesquisa é classificada como bibliográfica, documental e de estudo de caso, pois são desdobradas menções teóricas sobre Manutenção, Manutenção Centrada em Confiabilidade, e é realizado um estudo de caso sobre um processo real, com o uso de documentação técnica do respectivo processo.

3.2 Materiais e Métodos

A Figura 15 apresenta um fluxograma que resume as etapas do procedimento utilizado para obtenção da resposta para a problemática apresentada nesta pesquisa. Cabe citar que, de acordo com Rebouças (2009), um fluxograma é uma representação gráfica que apresenta a sequência de um trabalho ou processo.

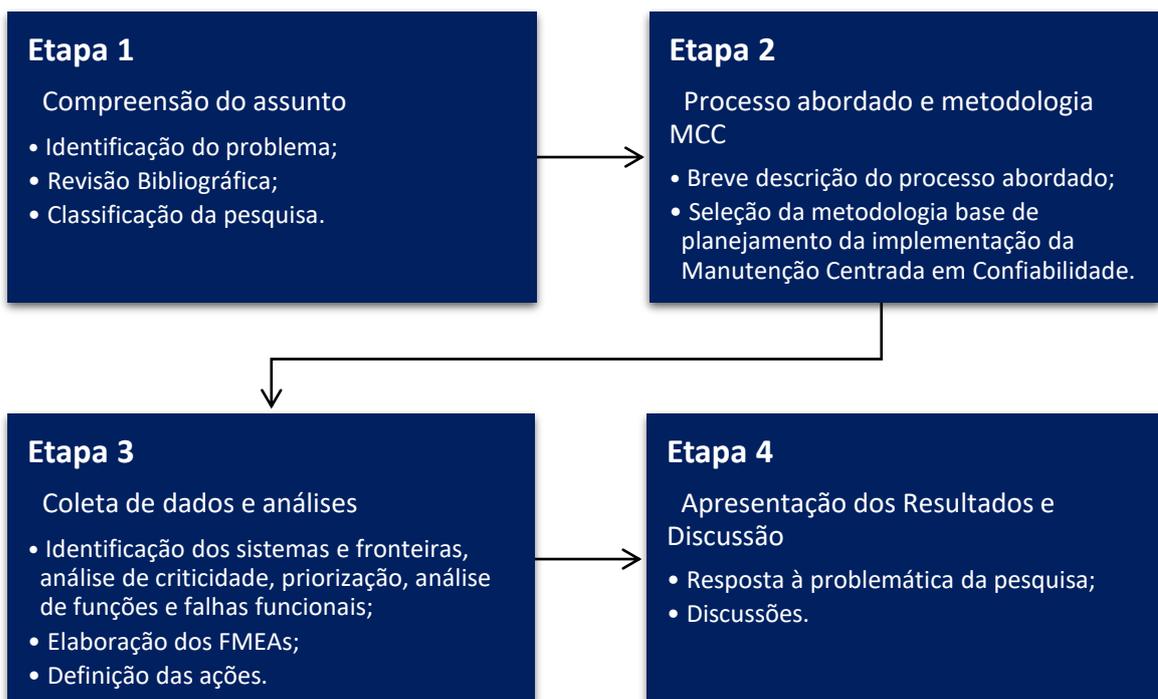


Figura 15. Fluxograma do trabalho.
Fonte: Pesquisa direta (2021).

O início do trabalho consiste na formulação do problema a ser tratado, bem como na identificação dos objetivos geral e específico.

De acordo com Lakatos e Marconi (2003), a revisão bibliográfica consiste em uma síntese, que deve ser a mais completa possível, referente ao trabalho e aos dados pertinentes ao tema, dentro de uma sequência lógica. Neste contexto, o presente trabalho apresenta conceitos

e fundamentos baseados em artigos, dissertações, livros e teses pertinentes ao método de Manutenção Centrada em Confiabilidade.

A pesquisa procede com a definição e aplicação dos passos da metodologia de planejamento da implementação da MCC. Esta etapa conta com a participação de técnicos e especialistas de manutenção e laminação do setor da empresa onde o processo estudado ocorre, a metodologia de implantação da MCC escolhida dependerá da avaliação de todos, bem como do encaixe correto com o contexto operacional atual.

A pesquisa procede trazendo a elaboração dos FMEAs da etapa de corte a frio do processo de laminação em questão, onde realizou-se reuniões para discussão aprofundada dos modos de falha passíveis de serem ativados e que irão resultar em uma falha funcional ou potencial. Aqui, o mesmo pessoal citado anteriormente também fez parte da discussão, e executou-se a consulta da documentação técnica dos equipamentos envolvidos na operação, bem como de procedimentos técnicos internos da companhia, a fim de identificar vulnerabilidades que possam trazer menor eficiência para as atividades.

Traçados os modos de falhas e seus efeitos, a equipe desenhou as ações mitigadoras ou eliminadoras dos modos de falha levantados, explicitadas através da determinação das estratégias de manutenção adotadas e dos planos de ação em formato de 5W1H.

Por fim, o trabalho responde à problemática em seu exórdio ao propor para a empresa os procedimentos propostos para a aplicação do método MCC no processo estudado, com o foco de fornecer uma solução que irá contribuir para que a função requerida do equipamento seja executada com maior confiabilidade, qualidade, segurança e custo otimizado.

A pesquisa se encerra ao trazer algumas discussões acerca dos resultados, e sugestões para trabalhos futuros.

3.3 Variáveis e Indicadores

De acordo com Pradanov *et al.* (2013), uma variável pode ser considerada uma classificação ou medida; uma quantidade passível de variação; um conceito operacional que contém ou apresenta valores; aspecto, propriedade ou fator discernível em um objeto de estudo e que possa ser medido. Neste contexto, as variáveis são, portanto, características do fenômeno a ser estudado que podem ser observadas e existem em todos os tipos de pesquisa, porém, enquanto nas pesquisas quantitativas elas são medidas, nas qualitativas, elas são descritas ou explicadas (PRADANOV *et al.*, 2013)

Já um indicador é um parâmetro que mede a diferença entre um resultado esperado e a situação atual, ou seja, ele indica o estado atual do ponto medido, e permite quantificar e avaliar o desempenho de um processo para a execução de análises críticas (GERHARDT e SILVEIRA, 2009).

De acordo as definições acima, pode-se definir as variáveis e indicadores da pesquisa. A Tabela 4 lista as informações.

Tabela 4. Variáveis e Indicadores.

Variáveis	Indicadores
Proposta de Aplicação do Método de Manutenção Centrada em Confiabilidade	Contexto Operacional Metodologia de Implementação MCC Definição das Fronteiras do Sistema Análises de Criticidade Modos de Falha Efeitos de Falha Documentação Técnica Atividades de Manutenção Planos de Ação Registro e Avaliação dos Resultados

Fonte: Pesquisa direta (2021).

3.4 Instrumentos de Coleta de Dados

Os instrumentos de coleta de dados utilizados na pesquisa constituem-se de:

1. Manuais técnicos dos fabricantes dos equipamentos envolvidos na etapa de corte a frio do processo de laminação estudado, sendo esses em formato digital e impresso/escrito;
2. *Software* da estação de trabalho controladora dos equipamentos para avaliação de condições de operação, sendo estes principalmente referentes aos esforços mecânicos e gradientes térmicos atuantes;
3. Documentação técnica e procedimentos de manutenção atuais;

4. Documentos internos da companhia referentes à operação do equipamento e atividades de rotina;
5. Reuniões com profissionais da área (*brainstorming*);
6. Observação direta;
7. Pesquisa bibliográfica;
8. Grupos focais;
9. Formulários.

A pesquisa bibliográfica é uma etapa essencial, pois fornece conhecimento teórico que direciona de maneira metodológica a pesquisa. Ainda, a observação direta baseia-se na atuação de observadores treinados para obter determinados tipos de informação sobre o processo e possíveis desvios. Em decorrência disso, é necessário um bom diálogo com os profissionais de manutenção e engenharia de processos da área para que seja possível facilitar a compreensão dos fatos ocorridos a curto prazo e com respostas rápidas.

A coleta e avaliação dos dados citados anteriormente é de grande importância, pois são a base para o correto desdobramento das etapas do estudo de aplicação do método de Manutenção Centrada em Confiabilidade, dado que irão servir como norte para que possa ser possível mensurar o contexto operacional atual, identificar as funções primárias e secundárias dos conjuntos envolvidos no processo estudado, seus modos e efeitos de falha, e traçar ações de manutenção que irão contribuir para que a função requerida do sistema continue a ser executada.

3.5 Tabulação de Dados

Os dados serão tabelados no *software Microsoft Excel* e armazenado no *software Microsoft Word* através do uso de planilhas e formulários digitais.

Além disso, utilizou-se o *software PowerPoint* para auxiliar na condução de reuniões de discussão junto com os colaboradores da área responsáveis pelo processo estudado.

3.6 Considerações Finais do Capítulo

O presente capítulo apresentou os procedimentos metodológicos utilizados para a concretização desta pesquisa.

Contextualizou-se o tipo de pesquisa, os materiais e métodos, as variáveis e indicadores e como os dados foram coletados e tabulados, alinhados com os objetivos que são pretendidos.

No próximo capítulo são mostrados os resultados do estudo de caso, e os mesmos são discutidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da Empresa e Setor

A empresa tratada nesse estudo é uma companhia Brasileira produtora de aço e recicladora desse tipo de material, além de ser uma fornecedora de aços longos e de aços especiais. No Brasil, também produz aços planos e minério de ferro, atividades que ampliam o portfólio de produtos oferecidos ao mercado e a competitividade das operações.

A unidade industrial onde executou-se este trabalho produz aços especiais laminados, e conta com três laminadores para produção de diferentes produtos, cada um instalado em áreas produtivas diferentes, denominadas de Laminação 1, 2 e 3. O presente trabalho se deu no setor da Laminação 3, que produz barras laminadas de perfil chato, redondo e hexagonal. A Figura 16 ilustra cada um desses tipos de produtos.



Figura 16. Barras laminadas de perfil chato, redondo e hexagonal.
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

A maior parte das barras laminadas produzidas no setor são utilizadas para produção de componentes automotivos, como peças de motores, componentes de suspensão, direção e transmissão, peças forjadas, válvulas e eixos.

O quadro de colaboradores do setor estudado é formado por duas grandes gerências: Gerência de Laminação e Gerência de Manutenção, cada um com suas subdivisões conforme ilustrado pelas Figuras 17 e 18.



Figura 17. Organograma Gerência de Laminação.
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Representado pela Figura 17, o pessoal da Gerência de Laminação é o responsável pelos aspectos relacionados à produção e operação do setor, como engenharia de processos, gestão da produção e da equipe de operadores.



Figura 18. Organograma Gerência de Manutenção.
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Já a Gerência de Manutenção é a equipe responsável por manter os ativos e garantir a disponibilidade e confiabilidade dos mesmos.

4.2 Caracterização da Etapa de Corte a Frio e Dos Equipamentos Envolvidos

A etapa de corte a frio tem como função cortar o material laminado no comprimento especificado pelo cliente final, e conta com a atuação de um conjunto de diferentes equipamentos para sua realização, os quais são abordados adiante, sendo uma das últimas etapas que constituem o processo de laminação abordado.

A seguir, é apresentado o macro fluxo do processo como um todo, o qual é ilustrado pela Figura 19.

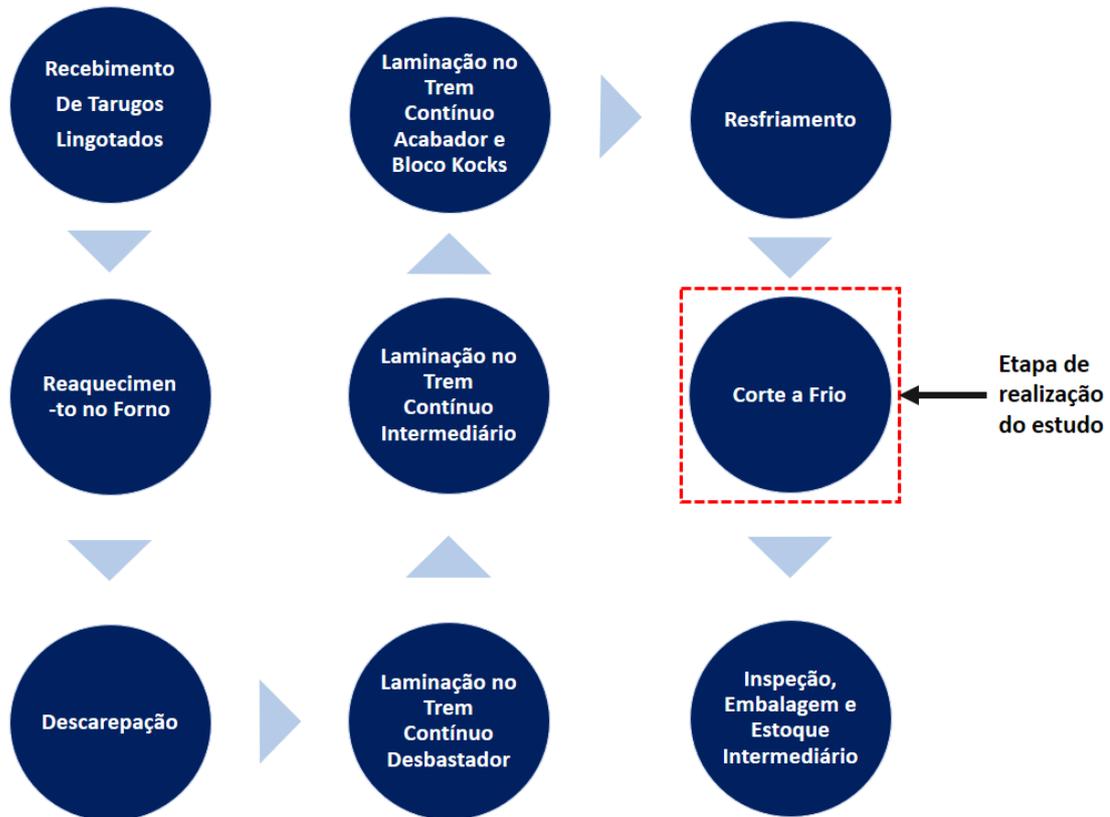


Figura 19. Macro fluxo do processo de laminação.
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Ilustrado pela Figura 19, o processo se inicia com o recebimento dos tarugos lingotados, que são armazenados em local adequado para posterior emprego no forno de reaquecimento. No forno, o material é reaquecido de acordo com um gradiente de temperatura crescente distribuído em 4 zonas chamadas de: zona neutra, zona de pré-aquecimento, zona de aquecimento e zona de encharque. Geralmente, a laminação a quente dos aços começa com temperaturas entre 1.100 e 1.300°C e termina entre temperaturas da ordem de 700 a 900°C. Devido ao aquecimento do material e à interação com a atmosfera do forno, óxido é formado em sua superfície. A camada de óxido gerada é tradicionalmente chamada de “carepa”, e o processo para sua retirada de “descarepação”, que basicamente consiste na aplicação de água sob uma pressão de cerca de 150 bar diretamente na superfície oxidada do material, o que faz com a que a impureza formada seja expelida.

Com o tarugo aquecido e limpo, o processo de conformação começa no trem contínuo desbastador, formado por 4 estações de laminação em série, sendo 2 verticais e 2 horizontais, diferenciadas de acordo com a orientação de seus cilindros. Posteriormente, o aço é conformado no trem contínuo intermediário, construído na mesma configuração do anterior. Depois, o material passa pelo trem contínuo acabador, formado por 6 estações de laminação em série,

sendo 3 verticais e 3 horizontais. Para barras de perfil redondo e hexagonal, a finalização da forma do material é feita no bloco Kocks, máquina responsável por aplicar uma redução baixa na seção transversal do material em favorecimento da qualidade dimensional do produto.

Durante a laminação, a peça sofre uma redução em sua seção transversal em troca de um aumento de seu comprimento, podendo chegar a um comprimento laminado de centenas de metros. Por isso, para que o material possa trocar calor com o ambiente e ser resfriado, é executado um corte de divisão, de modo a tornar possível acomodá-lo no espaço disponível de 65 metros de comprimento do leito de resfriamento.

Finalmente, a barra dividida segue para corte no comprimento comercial na etapa de corte a frio, que é a parte do processo usada como objeto de estudo deste trabalho. Nesta etapa, as barras divididas encostam em um batente móvel que proporciona o ajuste do comprimento para, então, sofrerem um corte por cisalhamento. A Figura 20 mostra um esquemático deste tipo de processo.

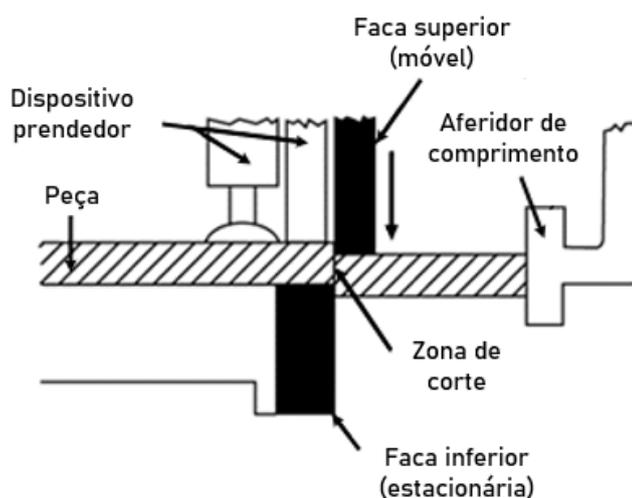


Figura 20. Corte por cisalhamento.
Fonte: Adaptado de MICRO, 2021.

Esquemático pela Figura 20, o corte por cisalhamento é executado colocando-se o material a ser cortado entre duas facas de corte de aço especial. A faca inferior é fixa e a superior é dotada de movimento ascendente/descendente. O corte gera uma zona de corte dividida em: zona de deformação e de cisalhamento, uma região fraturada com ruptura por tração e uma rebarba. A conformidade do corte por cisalhamento depende fundamentalmente da qualidade das facas de corte e da regulagem das folgas entre as facas, e a faixa de temperatura considerada ideal para a execução do corte a frio é entre 400 a 550 °C.

Cortadas, as barras laminadas são inspecionadas, embaladas em forma de feixes e direcionadas para um estoque de produto intermediário.

A etapa de corte a frio é executada através da atuação de 5 grandes sistemas:

1. Mesa de rolos de entrada;
2. Tesoura a frio;
3. Aferidor;
4. Mesa de rolos basculante;
5. Mesa de rolos de saída.

A Figura 21 mostra um esquemático onde é possível identificar cada um desses elementos.

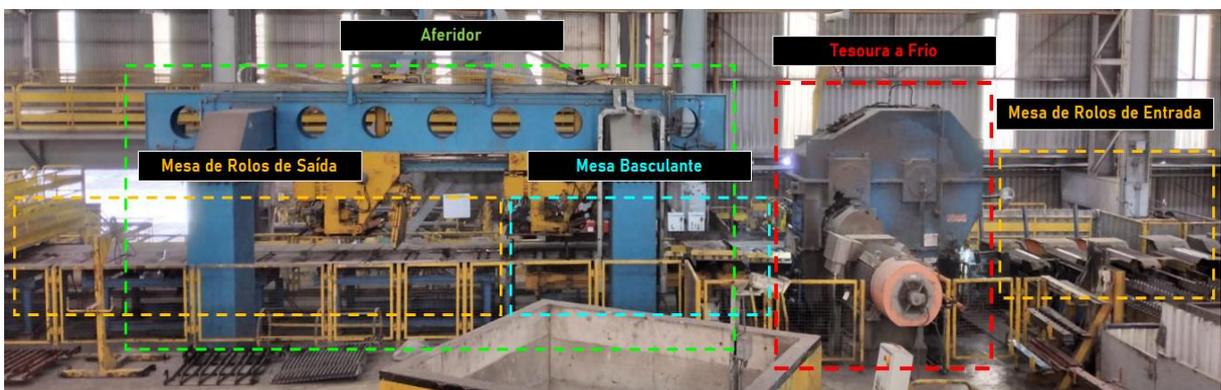


Figura 21. Equipamentos da etapa de corte a frio.
Fonte: Empresa estudada, 2021.

A mesa de rolos de entrada consiste em um equipamento composto por rolos dispostos em série que têm como função transportar as barras laminadas divididas recebidas do leito de resfriamento até a tesoura a frio, e, corte após corte, movimentá-las até que todo o material seja processado. A Figura 22 mostra a disposição do conjunto.



Figura 22. Mesa de rolos de entrada.
Fonte: Empresa estudada, 2021.

Na Figura 22 também é possível identificar o leito de resfriamento, localizado à direita da mesa de rolos de entrada.

Já a tesoura a frio trata-se da máquina que executa a função de cortar o material transportado pela mesa de rolos de entrada conforme o comprimento de corte pré-determinado pela especificação do cliente final. O equipamento pode ser observado na Figura 23.

Visão Frontal

Visão Traseira



Figura 23. Tesoura a frio.

Fonte: Empresa estudada, 2021.

O aferidor é o sistema responsável por garantir o ajuste correto do comprimento de corte por meio da movimentação de dois batentes. A Figura 24 apresenta uma imagem desse equipamento.

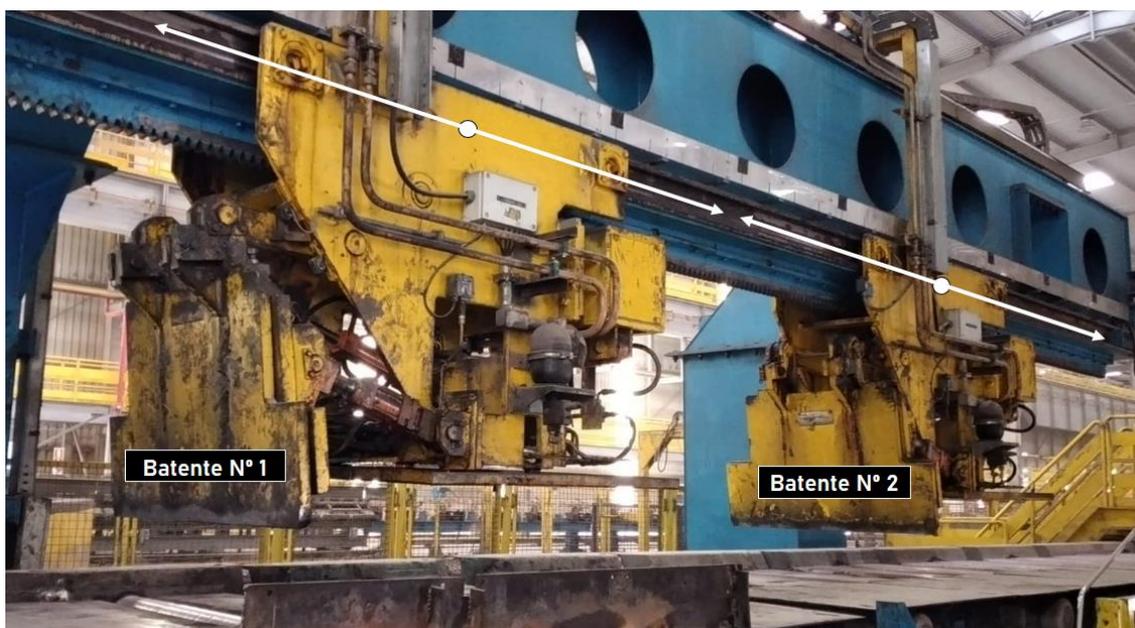


Figura 24. Aferidor.

Fonte: Empresa estudada, 2021.

A depender do comprimento a ser cortado, movimentam-se o batente número 1 ou 2, sendo que o valor mínimo de corte é de 4000 mm, fornecido pelo Batente Nº 1, e o máximo de 12000 mm, alcançado pelo Batente Nº 2. Uma vez em posição, o batente selecionado se movimenta para baixo antes da execução do corte, agindo como um obstáculo à movimentação das barras laminadas, garantindo o ajuste do comprimento. Após a atuação da tesoura a frio, o batente em trabalho retorna para a posição inicial, e permite a passagem das barras cortadas.

A mesa basculante é o sistema que possibilita que o corte seja feito sem que haja torção excessiva das barras laminadas e instabilidades. A Figura 25 mostra este equipamento.



Figura 25. Mesa basculante.
Fonte: Empresa estudada, 2021.

Esse sistema conta com um mecanismo localizado próximo à metade do comprimento do aferidor, que, no momento de execução do corte, permite que o mesmo execute um movimento basculante, se inclinando para baixo, o que deixa as barras com menos pontos de apoio e livres para serem cortadas. A Figura 26 mostra um diagrama que representa um corte em barras com a mesa basculante na posição não-basculada.

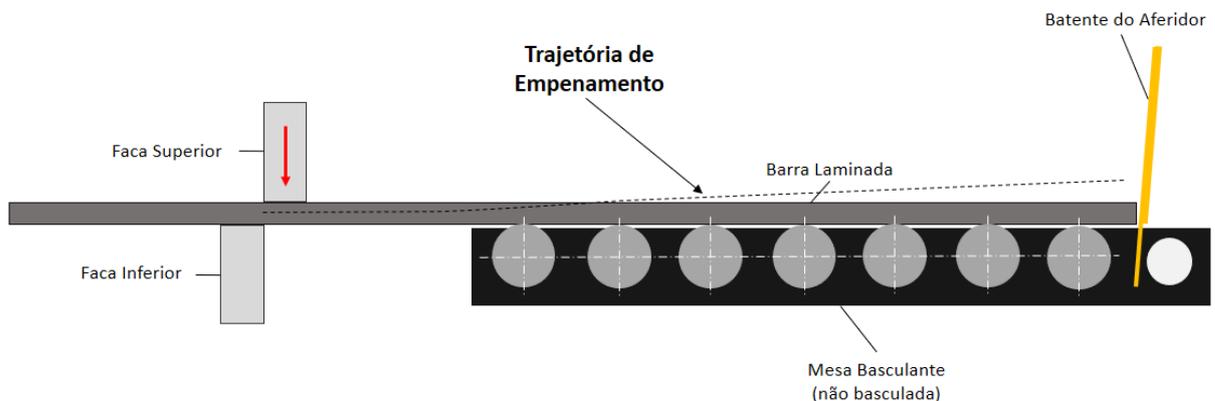


Figura 26. Corte na tesoura a frio com mesa basculante na posição não-basculada.
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

De acordo com o ilustrado pela Figura 26, os apoios fornecidos pela mesa basculante no lado direito irão provocar uma torção na barra laminada devido ao esforço imposto pela faca superior da tesoura a frio, o que é prejudicial ao produto e ao próprio equipamento.

Já a Figura 27 ilustra um corte em barras com a mesa basculante na posição basculada.

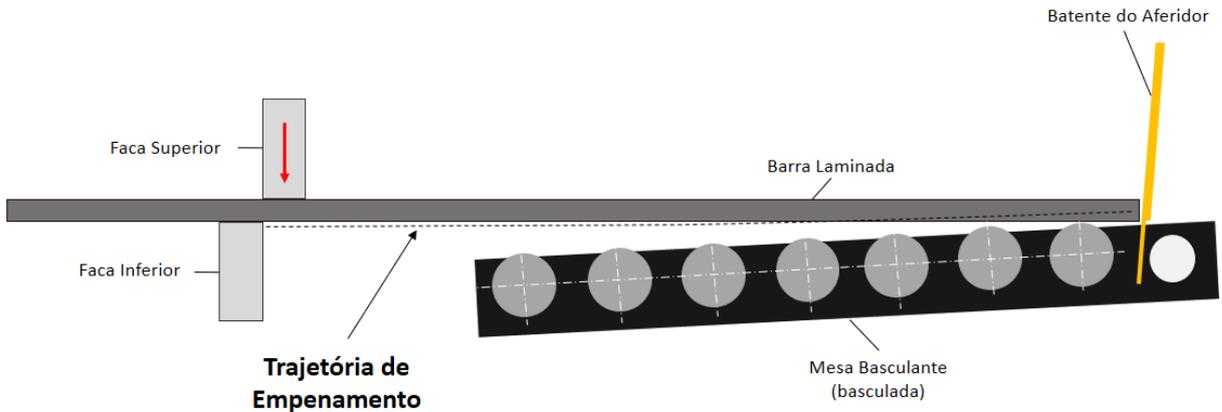


Figura 27. Corte na tesoura a frio com mesa basculante na posição basculada.
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Percebe-se que devido ao basculamento da mesa, a barra estará com uma porção menor de seu corpo com apoios no lado direito, o que possibilitará que a torção ao longo da mesma seja distribuída ao longo de sua massa, sendo possível absorvê-la e fazer com que o efeito do empenamento seja insignificante.

Por fim, a mesa de rolos de saída é o sistema que tem como função transportar as barras laminadas cortadas no comprimento comercial para a etapa de inspeção, embalagem e estoque intermediário. A Figura 28 mostra esse conjunto.



Figura 28. Mesa de rolos de saída.
Fonte: Empresa estudada, 2021.

Conforme ilustrado pela Figura 28, e, semelhante ao mostrado anteriormente sobre a mesa de rolos de entrada, a mesa de rolos de saída consiste em uma sequência de rolos dispostos em série. Após o final desse sistema, o material estará entregue ao processo posterior.

4.3 Seleção da Metodologia Base de Implementação da MCC

Consoante ao exposto no item 2.5 deste estudo, a literatura dispõe de várias metodologias de planejamento das etapas de aplicação de um programa de Manutenção Centrada em Confiabilidade.

A escolha da metodologia base de implementação da MCC se faz um item de grande importância em um trabalho deste tipo, pois será o elemento que irá atuar como guia para as etapas de planejamento da aplicação do método.

Sendo assim, visando facilitar a seleção da metodologia base e prover um ambiente de análise mais estruturado para essa decisão, a partir de uma avaliação dos participantes envolvidos neste estudo elencou-se os critérios de seleção que serviram para classificar cada opção disponibilizada e possibilitar a determinação de qual metodologia dentre elas é a considerada ideal para a situação.

A Tabela 5 elucida os critérios adotados que direcionaram a seleção da metodologia base usada neste estudo.

Tabela 5. Critérios de seleção da metodologia base de implementação MCC.

CRITÉRIO	JUSTIFICATIVA	IMPORTÂNCIA DO CRITÉRIO	OBSERVAÇÃO
Disponibilidade de material/manuais	Necessidade de informação clara sobre cada item da metodologia	3	A pontuação atribuída à importância do critério segue a seguinte classificação: 1 – Razoavelmente importante 2 – Importante 3 – Muito importante
Abrangência das fases de implementação	As fases da metodologia devem estar claras e serem abrangentes	2	
Grau de alinhamento com o Contexto Operacional	A metodologia de aplicação deve ser compatível com o ambiente da companhia e trazer engajamento durante sua aplicação	2	

Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Verifica-se que o critério com maior valor de importância trata da disponibilidade de material/manuais sobre a metodologia. Isto se deve ao fato de que o sucesso da elaboração do estudo depende fortemente do acesso à informações concretas quanto às diversas fases que a

metodologia escolhida recomenda, pois isso será o que irá guiar a análise. Os outros dois critérios tiveram grau de importância de igual valor.

Tomando como norte o exposto na Tabela 5, elaborou-se a Matriz de Decisão mostrada pela Tabela 6 utilizando as metodologias expostas na Tabela 3 do item 2.5 deste estudo, a qual resume as fases de implementação da MCC segundo o recomendado por três fontes: NASA (2008), Regan (2012) e Smith (1993).

Para elaboração da nota de cada metodologia, precisou-se definir o quão bem as opções atendem à cada critério de seleção, onde: 0 – Não atende; 1 – Atende de maneira regular; 2 – Atende bem; 3 – Atende muito bem.

O método de cálculo da nota é mostrado pela equação (6).

$$Nota = \sum_{i=1}^3 (importância\ critério)_i \cdot (grau\ de\ atendimento\ do\ item\ ao\ critério)_i \quad (6)$$

Tabela 6. Matriz de decisão para a seleção da metodologia base de implementação MCC.

	Importância do Critério	NASA (2008)	Regan (2012)	Smith (1993)
1 - Disponibilidade de material/manuais	3	3	2	3
2 - Abrangência das fases de implementação	2	2	2	3
3 - Grau de alinhamento com o Contexto Operacional	1	3	3	2
Nota:		16	13	<u>17</u>

Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Exemplificando o cálculo para NASA (2008), tem-se:

$$Nota_{NASA} = (3 \cdot 3) + (2 \cdot 2) + (1 \cdot 3) = 16$$

Portanto, conforme mostrado pela Tabela 6, selecionou-se a metodologia base de implementação da MCC recomendada por Smith (1993), fato fortemente influenciado pelo alto nível de abordagem prática exposto pelo autor. Os itens a seguir consistem no desdobramento de cada fase proposta pela literatura da fonte selecionada. É importante citar que apesar dessa definição, alguns poucos itens de outras fontes foram considerados na análise.

4.4 Identificação do Sistema Crítico e Suas Fronteiras

Ressaltando o exposto anteriormente, a etapa de corte a frio é composta por 5 grandes conjuntos: 1. Mesa de rolos de entrada; 2. Tesoura a frio; 3. Aferidor; 4. Mesa de rolos basculante; 5. Mesa de rolos de saída.

Ao executar a identificação de um sistema crítico, a literatura especializada aconselha a aplicação de técnicas de classificação específicas para cada situação. Neste trabalho, empregou-se uma combinação de duas técnicas.

Primeiramente, examinou-se as funções de cada sistema na etapa de corte a frio, classificando-as como principal (função primária do processo de corte) ou auxiliar (funções que dão suporte à função principal ou primária). A Tabela 7 mostra os resultados.

Tabela 7. Classificação das funções dos sistemas da etapa de corte a frio.

Sistema	Função	Classificação
Mesa de Rolos de Entrada	Transportar barras divididas até a Tesoura a Frio	Auxiliar
Tesoura a Frio	Cortar barras divididas sem a geração de defeitos de topo	Principal
Mesa de Rolos Basculante	Bascular e liberar espaço para que a barra não empene durante o corte	Auxiliar
Aferidor	Ajustar o comprimento de corte através da movimentação de dois batentes móveis	Auxiliar
Mesa de Rolos de Saída	Transportar barras laminadas cortadas até o processo posterior	Auxiliar

Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Conforme a Tabela 7, o sistema que exerce a função principal da etapa do processo em questão é a tesoura a frio, que é a máquina responsável por realizar o corte em si. Neste âmbito, pode-se perceber que os outros conjuntos dão suporte para que a função de cortar a barra laminada seja executada de maneira correta, por meio da transferência do material e preparação do mesmo quanto ao comprimento de corte e contenção.

Em complemento ao resultado anterior, elaborou-se uma análise de criticidade dos sistemas envolvidos através da técnica de classificação ABC apresentada no item 2.4.3 deste estudo. A Tabela 8 mostra os resultados.

Tabela 8. Classificação ABC – Etapa de corte a frio processo de laminação.

Sistema	Item						Classificação
	S	Q	O	IF	F	M	
Mesa de Rolos de Entrada	B	B	A	B	C	-	C
Tesoura a Frio	A	A	-	-	-	-	A
Mesa de Rolos Basculante	A	B	A	A	C	-	C
Aferidor	B	A	-	-	-	-	A
Mesa de Rolos de Saída	B	B	A	B	C	-	C

Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Em discussão com a equipe de engenharia de processos da empresa, determinou-se que em caso de falha o impacto no critério de qualidade (Q) é de risco alto para a tesoura a frio e para o aferidor, o que automaticamente os classifica como “A”. Já os demais sistemas foram classificados como “C”. A seguir, é brevemente explicado o motivo da atribuição de cada uma das notas dos critérios mostrados na Tabela 8.

1. S - Risco potencial de acidente em caso de falha:

Mesas de rolos de entrada e saída – Uma falha nas mesas de rolos de entrada e saída irá resultar em um risco de acidente médio ou baixo (B), devido ao sistema não executar nenhuma operação de transformação mecânica e estar submetido apenas à carga provocada pela massa do material sobre os rolos. Além disso, durante o processo não ocorre nenhuma atividade com intermédio humano em ambas as Mesas ou próximo delas;

Tesoura a frio – Em caso de falha da Tesoura a frio, o risco potencial de acidente pode ser alto (A), pois este equipamento é o responsável por executar o corte no material laminado, e o faz através de partes móveis, como eixos com transmissão, lâminas e outros componentes que podem oferecer risco em caso de falha, além disso, a função do equipamento o submete à altos esforços mecânicos durante a operação de corte. Diferente das mesas de rolos de entrada e saída, nas periferias deste sistema ocorrem atividades realizadas por intermédio humano, como a retirada de amostras e inspeção visual de qualidade, o que o torna substancialmente mais crítico quanto ao aspecto de risco potencial de acidentes;

Mesa basculante – Caso ocorra uma falha da mesa basculante durante a operação de corte, poderá ser gerada uma condição instável no processo, como vibração excessiva, aumento de esforços sobre outros elementos e projeção de material devido ao empenamento da barra, o que faz com que este sistema tenha alto risco potencial de acidentes em caso de falha (A). Além disso, há atividade humana próximo do local;

Aferidor – Uma falha no aferidor irá gerar um risco potencial de acidente médio ou baixo (B), o que é proporcionado pela sua função de caráter simples e pelo fato do mesmo não estar submetido à altas cargas durante seu funcionamento, sendo um sistema auxiliar. Além disso, durante o processo não ocorre nenhuma atividade com intervenção humana no aferidor ou em sua periferia.

2. Q - Risco de perdas, reclamações, retrabalhos:

Mesa de rolos de entrada – Conforme citado anteriormente, este sistema é composto por vários rolos em série. Uma falha do mesmo terá alto risco de perdas e/ou retrabalhos se o evento ocorrer em pelo menos uma quantidade de rolos que irá impossibilitar que o material seja transportado, nesta situação, as barras ficarão paradas sobre a Mesa e irão resfriar até uma temperatura inadequada de corte (mais baixa). Devido à própria configuração do sistema contar com um alto número de rolos, é razoável assumir que uma falha gere um risco médio de perdas e/ou retrabalhos (B);

Tesoura a frio – Uma falha da Tesoura a frio, fará com que a barra laminada dividida não possa ser cortada no comprimento especificado pelo cliente, o que irá resultar em um alto risco de perdas (A);

Mesa basculante – Caso a mesa basculante falhe, isto poderá infligir empenamento excessivo na barra durante o corte, o que irá gerar um risco médio de perdas e/ou retrabalhos (B);

Aferidor – Um evento de falha no aferidor impossibilitará que seja possível assegurar que o corte seja feito no comprimento comercial correto, o que resultará em um alto risco de perdas e/ou retrabalhos (A);

Mesa de rolos de saída – A falha da mesa de rolos de saída será crítica caso aconteça com a mesma lógica citada anteriormente para a mesa de rolos de entrada, isto é, o evento ocorra em uma quantidade de rolos que irá impossibilitar a movimentação do material. Assim, aqui pode-se assumir que o risco de perdas e/ou retrabalhos também é médio (B).

3. O – Tempo de operação do equipamento:

Para o critério “O”, tem-se os seguintes sistemas: mesa de rolos de entrada, mesa basculante e mesa de rolos de saída. Aqui, todos eles são classificados como “A”, pois são utilizados 24h/dia.

4. IF – Impacto no processo durante falha do equipamento:

Para o critério IF, o impacto no processo será alto apenas em um cenário de falha total dos três sistemas analisados, onde há completa interrupção no fornecimento da função do sistema, sendo esta uma situação extrema, não considerada nesta análise, considerou-se que o impacto da falha não interrompe o processo, mas pode gerar perdas (B).

5. F – Frequência de falha do equipamento:

Analisando o histórico de falhas da linha de produção estudada, verificou-se que os equipamentos possuem uma frequência de falha menor que 1 falha por semestre com base nos anos de 2021 e 2020, período considerado para consulta e análise destas informações. Sendo assim, determinou-se que os sistemas se classificam como “C”.

Diante do exposto, conclui-se que os dois sistemas mais críticos são a tesoura a frio e o aferidor, classificados diretamente como “A” pelo critério de qualidade (Q). No entanto, elegeu-se como sistema crítico a tesoura a frio, pois, conforme descrito na avaliação do critério de risco potencial de acidentes, este é o único elemento onde há presença de atividade humana na periferia, o que o torna mais crítico que os outros pelo critério de segurança. Além disso, conforme elucidado anteriormente, a tesoura a frio é o equipamento que executa a função de cortar o material laminado, que é classificada como a função principal da etapa de corte a frio.

Logo, com este resultado, definiu-se a fronteira de análise MCC de acordo com o ilustrado no esquemático da Figura 29.

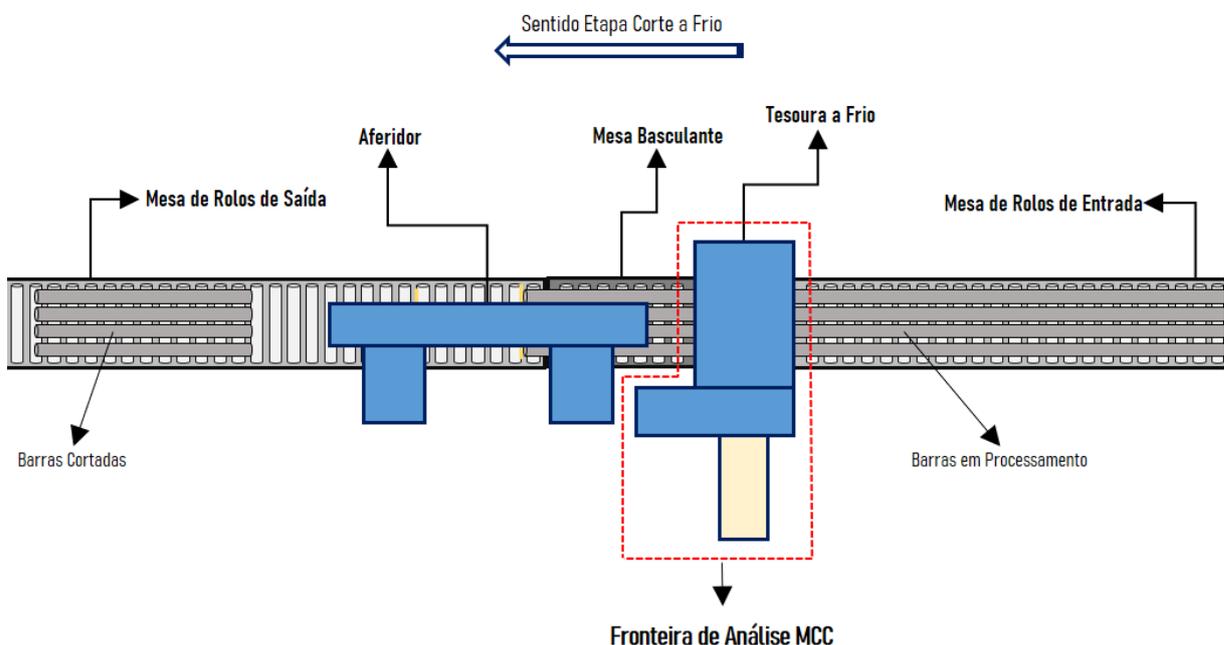


Figura 29. Delimitação da fronteira de análise MCC.
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Conforme mostrado na Figura 29, a tesoura a frio é o sistema que será priorizado na análise de MCC apresentada neste estudo, por ser o elemento principal dentre os envolvidos no processo de corte.

As características da fronteira do sistema são definidas de acordo com o ilustrado pela Figura 30.

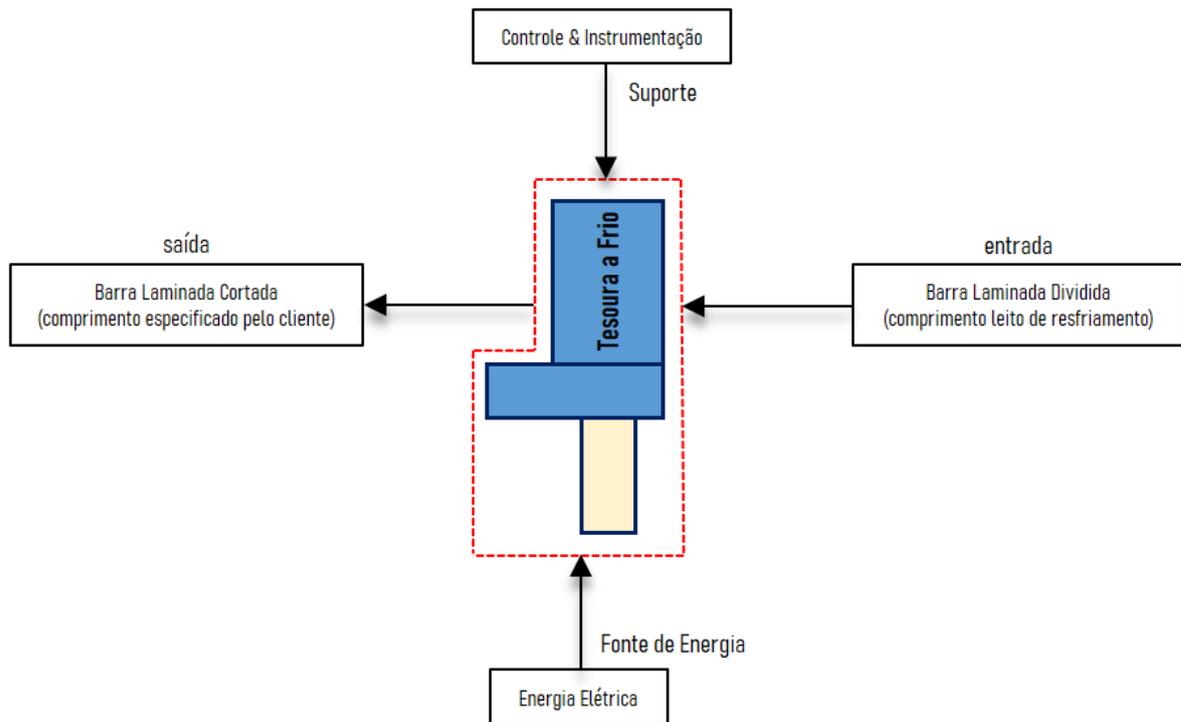


Figura 30. Caracterização das fronteiras - tesoura a frio.
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

A Figura 30 mostra que a operação do equipamento é feita através de recursos de controle e instrumentação. A fonte primária de energia do sistema é a elétrica, que é convertida em movimento e energia cinética para execução do corte. A entrada do sistema (*input*) consiste em barras laminadas divididas conforme o comprimento do leito de resfriamento, e a saída (*output*) em barras cortadas no comprimento especificado pelo cliente final. A tesoura a frio não apresenta redundâncias.

4.4.1 Apresentação do Sistema Crítico

Para a realização do corte, o sistema conta com a atuação de vários subsistemas e componentes, os quais pode-se citar:

- a) Prendedor – equipamento responsável por executar pressão no material contra a mesa de rolos e prendê-lo para que se mantenha firme e estático durante o corte. A Figura 31 mostra uma imagem do prendedor.



Figura 31. Prendedor da tesoura a frio.
Fonte: Empresa estudada, 2021.

- b) Conjunto de acionamento: subsistema que gera a força motriz necessária para movimentação da ferramenta de corte móvel. Constitui-se basicamente do motor elétrico, eixos, transmissões e outras partes móveis. Pode-se ver o motor elétrico e o redutor 1 do conjunto na Figura 32;

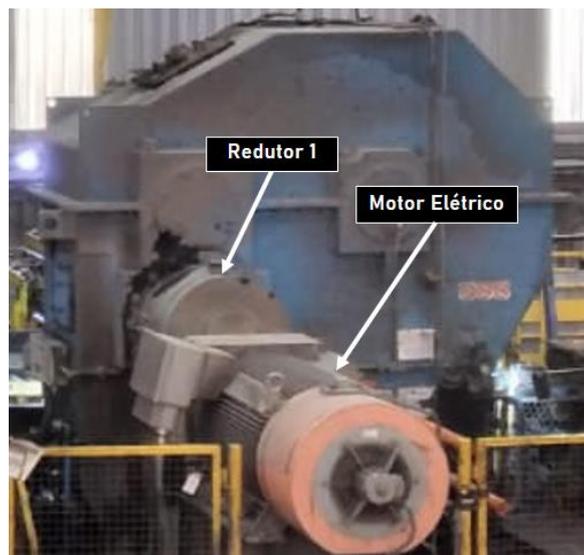


Figura 32. Conjunto de acionamento da tesoura a frio.
Fonte: Empresa estudada, 2021.

- c) Faca superior: ferramenta de corte móvel que exerce um esforço de cisalhamento no material na direção vertical com sentido descendente;
- d) Faca inferior: ferramenta de corte fixa que aplica um esforço na direção vertical com sentido ascendente e intensidade proporcional ao exercido sobre a mesma. A Figura 33 mostra as facas superior e inferior.

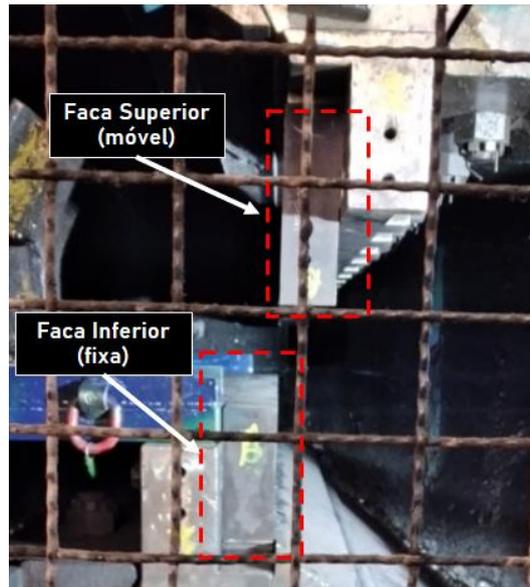


Figura 33. Facas superior e inferior da tesoura a frio.
Fonte: Empresa estudada, 2021.

- e) Alinhador: dispositivo responsável por alinhar as barras no início do processo de corte para que seja possível executar a retirada de amostras da ponta do material (desponte). O alinhador é mostrado pela Figura 34;

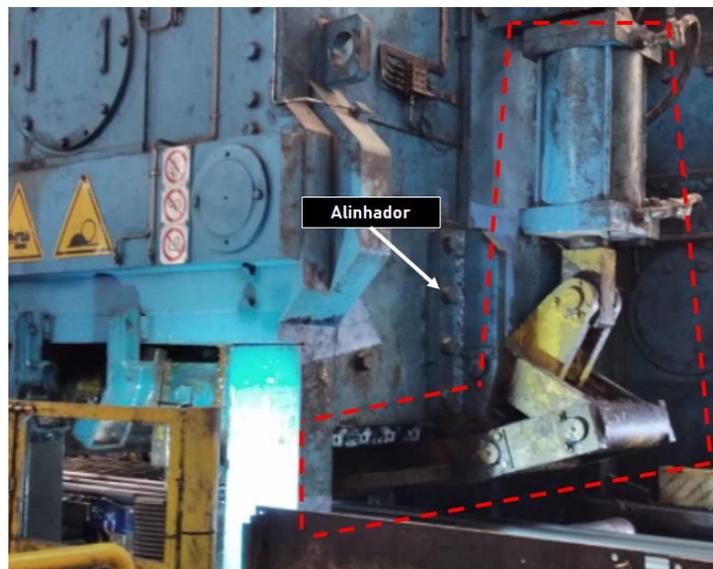


Figura 34. Alinhador da tesoura a frio.
Fonte: Empresa estudada, 2021.

- f) Varredor: sistema que tem como função “varrer” as sobras de material para uma caçamba de armazenamento localizada no piso inferior ao da tesoura a frio. Sobras se caracterizam como coprodutos, e, uma vez armazenadas, podem ser reaproveitadas. O varredor pode ser visto na Figura 35;

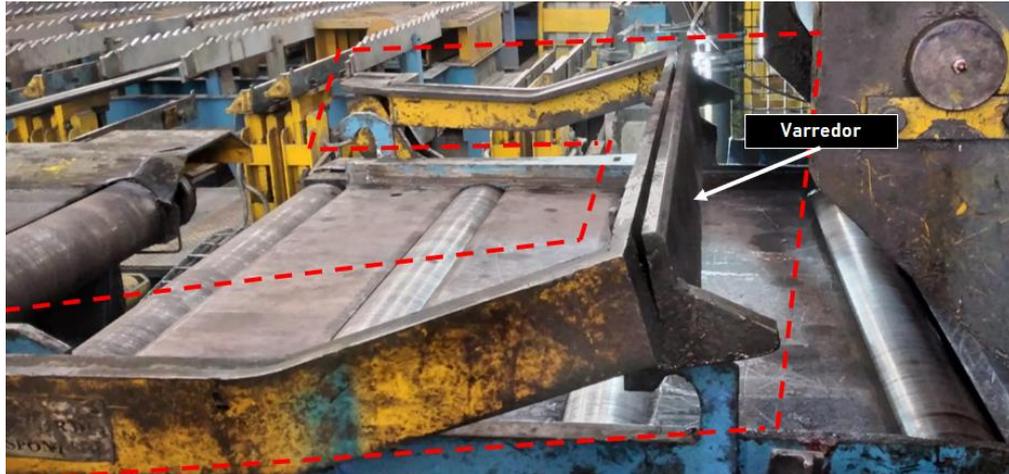


Figura 35. Varredor da tesoura a frio.
Fonte: Empresa estudada, 2021.

- g) Estrutura: é todo o sistema que suporta a máquina e possibilita que a mesma opere de maneira segura. Consiste nas fundações, suportes de montagem, carcaças, tampas, elementos de fixação, bases, entre outros. Os elementos da estrutura se caracterizam principalmente por serem peças estáticas, que têm como principal função absorver esforços mecânicos e proteger todo o mecanismo da tesoura a frio.

4.4.2 Diagrama Funcional do Sistema Crítico

Com os diversos subsistemas mostrados anteriormente, a Tesoura a Frio conta com diferentes operações, sendo que estas são empregados em etapas diferentes ao longo do processo de corte. Basicamente, a máquina realiza o processo em 3 fases: preparação, processamento e finalização.

1. Preparação:

A Figura 36 mostra um fluxograma resumido da fase de preparação.

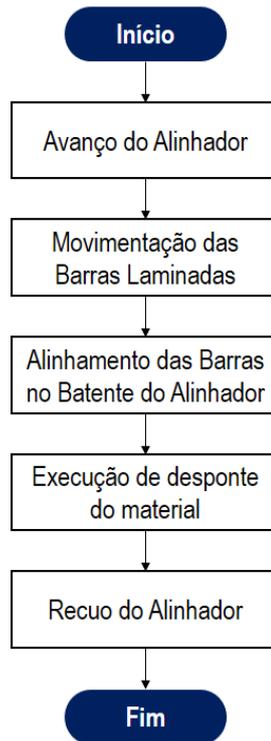


Figura 36. Fluxograma da fase de preparação.
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Conforme ilustrado pela Figura 36, ao receber as barras laminadas, é executado o desponte do material para retirada de defeitos que comumente se acumulam nas extremidades da barra laminada. Basicamente, o material é organizado de maneira uniforme com o uso do batente do alinhador, e é feito um corte na ponta das barras para despontá-lo.

2. Processamento:

Após a preparação, as barras são cortadas na fase de processamento, que se caracteriza como a execução de ciclos de corte consecutivos, como pode ser visto na Figura 37.

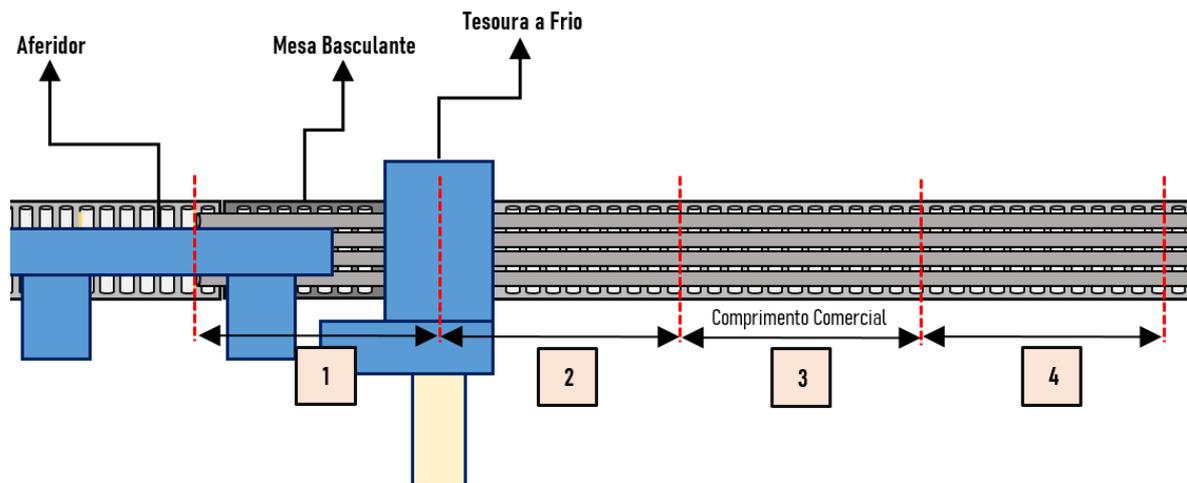


Figura 37. Barras laminadas na fase de processamento.
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

De acordo com o mostrado na Figura 37, a quantidade de ciclos de corte da fase de processamento é função do comprimento inicial da barra laminada e do comprimento de corte comercial. No esquemático da Figura é mostrado um exemplo de 4 cortes em um determinado comprimento comercial. Em termos de proporção, para um mesmo comprimento inicial da barra laminada dividida, quanto menor for o comprimento de corte comercial, maior vai ser a quantidade de ciclos de corte necessária para o completo processamento do material. O fluxograma resumido de um ciclo de corte é mostrado pela Figura 38.

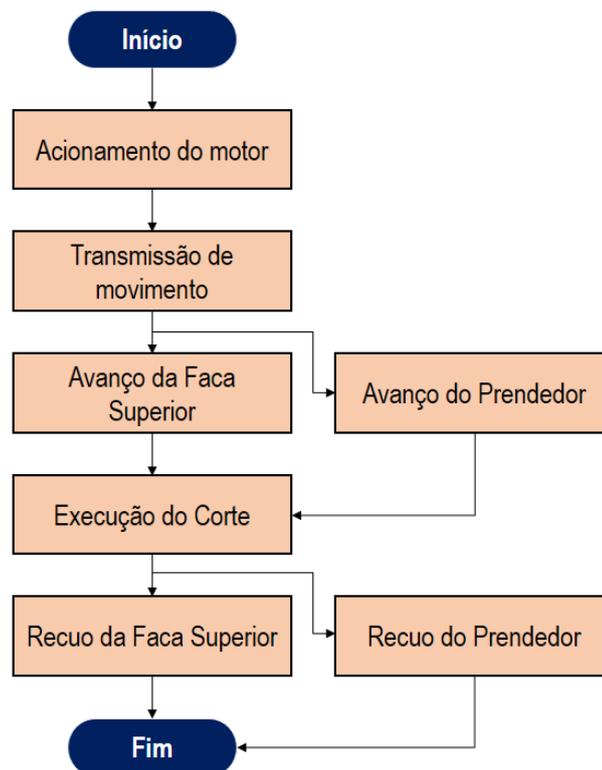


Figura 38. Fluxograma de um ciclo de corte.
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Conforme ilustrado pela Figura 38, a operação de corte consiste na combinação da atuação do conjunto motriz da tesoura e do prendedor, sendo que o primeiro tem o papel de movimentar a ferramenta de corte móvel contra o material para que o mesmo possa ser cortado, e o segundo de manter as barras presas. Após o corte, é feito o recuo da faca superior e do prendedor para que um novo corte possa ser executado, dando continuidade à fase de processamento. É importante ressaltar que o avanço do prendedor é ligeiramente mais cedo que o avanço da faca superior, para que o mesmo possa ser posicionado antes da execução do corte, garantindo que o material esteja preso e estático no momento da operação.

Cabe citar que ao longo da fase de processamento há operações de corte para retirada de amostras do material laminado para fins de inspeção de qualidade, caracterizada pela execução de um corte no comprimento de até 300 mm e posterior coleta da amostra.

3. Finalização:

Após o último corte da fase de processamento, chega-se na última fase do processo de corte a frio, que consiste essencialmente em utilizar o varredor para remoção das sobras de material. O fluxograma da figura 39 representa um resumo da fase de finalização.

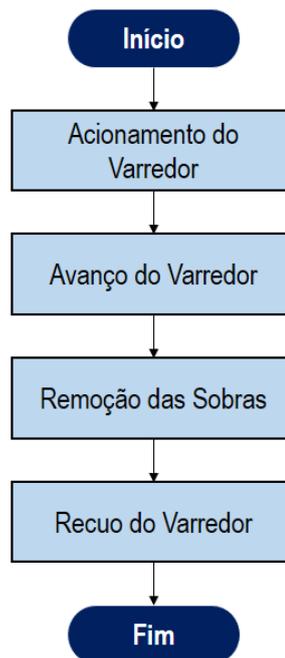


Figura 39. Fluxograma da fase de finalização.
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

A Figura 39 elucida que a finalização consiste essencialmente em remover as sobras de material para que um novo processo de corte se inicie. Cabe citar que pode ser necessário fazer uso do varredor mais de uma vez nesta fase, pois, às vezes, apenas um avanço do dispositivo não é suficiente para remover todo o material residual, sendo necessário executar um ou mais avanços adicionais, o que prolonga o trabalho e gera perda de performance. Em alguns casos, o varredor não é capaz de remover todas as sobras mesmo com mais avanços, neste caso, há intervenção humana na operação para execução manual da tarefa.

A Figura 40 mostra um exemplo de todo o processo de corte com 7 cortes no comprimento comercial.

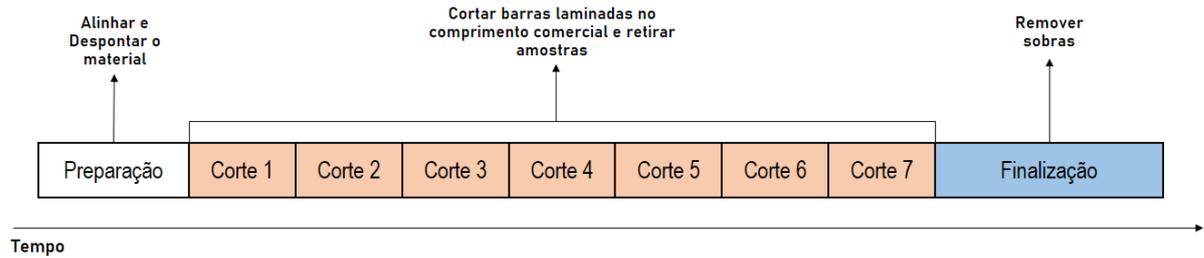


Figura 40. Exemplo do processo de corte a frio com 7 cortes comerciais.
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

A Figura 40 elucidada que a fase de maior duração da etapa de corte a frio é o processamento, devido ao número de ciclos de corte que esta apresenta. A Tabela 9 mostra as operações da tesoura a frio envolvidas em cada fase do processo.

Tabela 9. Operações da tesoura a frio no processo de corte.

FASE DO PROCESSO	OPERAÇÕES	PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	OBSERVAÇÃO
Preparação	Alinhar barras laminadas	Alinhador Estrutura	Feito apenas no início do processo
	Despontar barras laminadas (corte)	Conjunto de Acionamento	Mesma operação usada no fase de Processamento
		Faca Superior e Faca Inferior Estrutura	
Processamento	Cortar barras laminadas no comprimento comercial e retirar amostras	Conjunto de Acionamento	Operações de corte consecutivas
		Faca Superior e Faca Inferior	
		Estrutura	
Finalização	Remover sobras de material	Varredor	Feito apenas no fim do processo
		Estrutura	

Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Conforme ilustrado pela tabela 9, a fase de preparação é a que tem mais operações da tesoura. Ainda, é importante ressaltar que a fase de processamento consiste essencialmente em repetir a operação de corte utilizada para despontar o material. Neste contexto, pode-se concluir que a fase de preparação é a que melhor engloba todas as operações da tesoura a frio, sendo esta a selecionada para confecção de um diagrama funcional detalhado.

Frente ao que foi exposto, o diagrama funcional do equipamento operando na fase de preparação é mostrado na Figura 41.

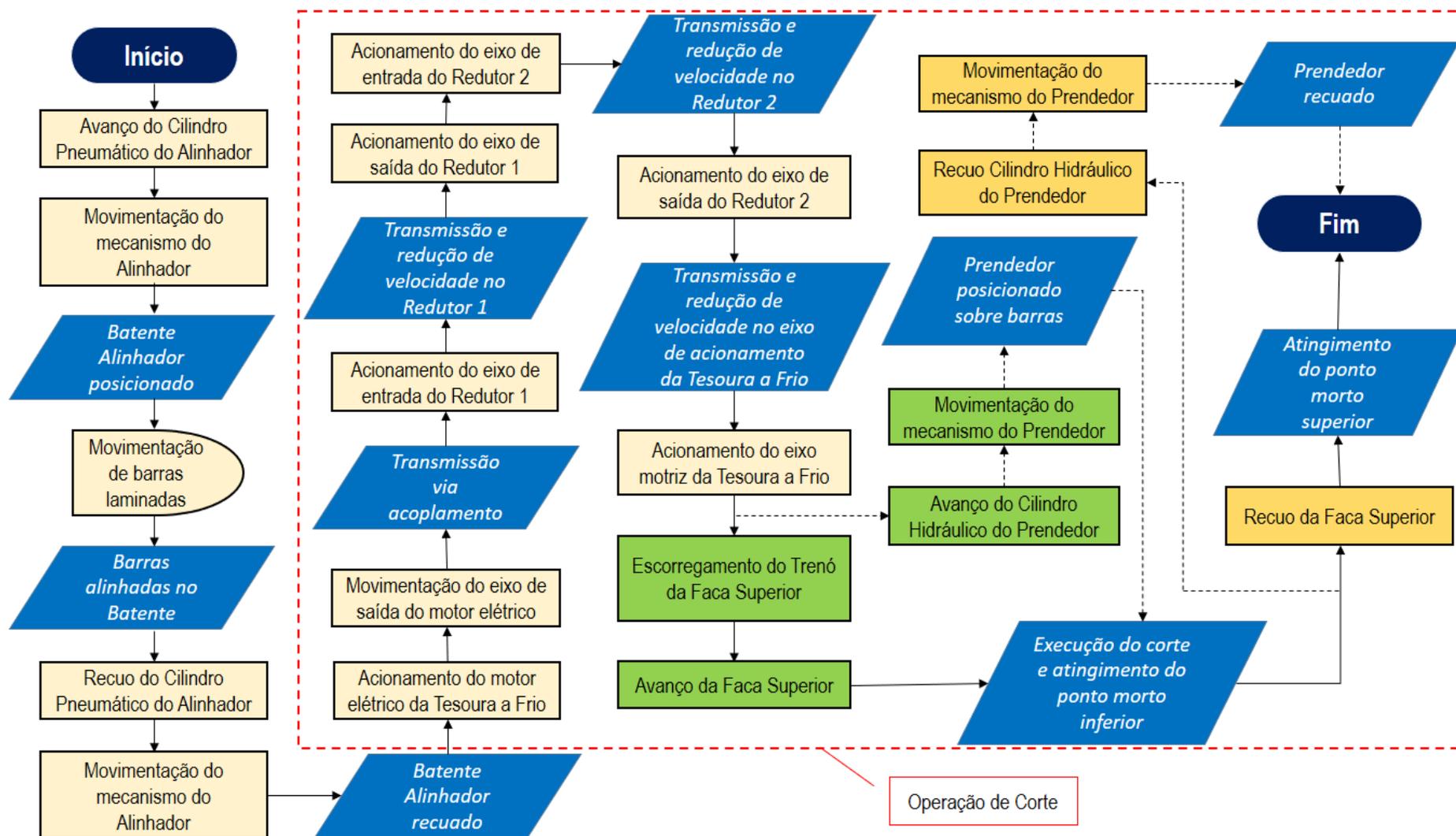


Figura 41. Diagrama funcional da fase de preparação.
 Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Em conformidade com o que foi citado anteriormente, percebe-se que no diagrama mostrado pela Figura 41, o acionamento do prendedor é feito um pouco antes do início do movimento de avanço da faca superior, devido à necessidade de se ter o material preso no momento do corte.

Os pontos descritos como ponto morto superior e inferior se tratam dos limites de movimentação da faca superior. A Figura 42 mostra uma representação simplificada do princípio de funcionamento empregado no sistema utilizando como exemplo um mecanismo excêntrico e haste.

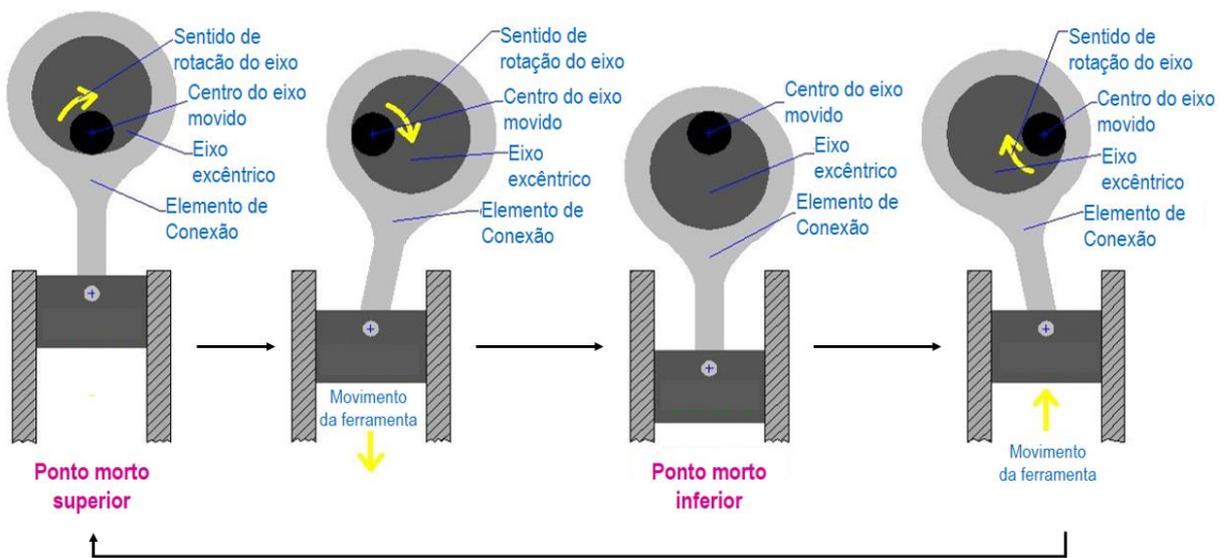


Figura 42. Acionamento por eixo excêntrico.
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

A Figura 42 mostra que a configuração do sistema faz uso de um eixo excêntrico que impõe um esforço sobre um elemento de conexão que se comporta como uma biela, o que torna possível a criação de um movimento harmônico simples, aqui também chamado de movimento pendular. Este mecanismo é o mesmo utilizado em prensas excêntricas. Um ciclo de corte consiste na movimentação da ferramenta do ponto morto superior até o ponto morto inferior, acrescido do retorno até o ponto morto superior, ou, ainda, em uma revolução completa do eixo excêntrico de acionamento da tesoura a frio partindo do ponto morto superior.

A Figura 43 mostra uma imagem de uma prensa de forjamento com acionamento excêntrico que possui um princípio de funcionamento bastante similar ao empregado na tesoura a frio, inclusive em termos de configuração de construção, que contém duas bielas para melhor distribuição de esforços e ganho de estabilidade durante a operação.

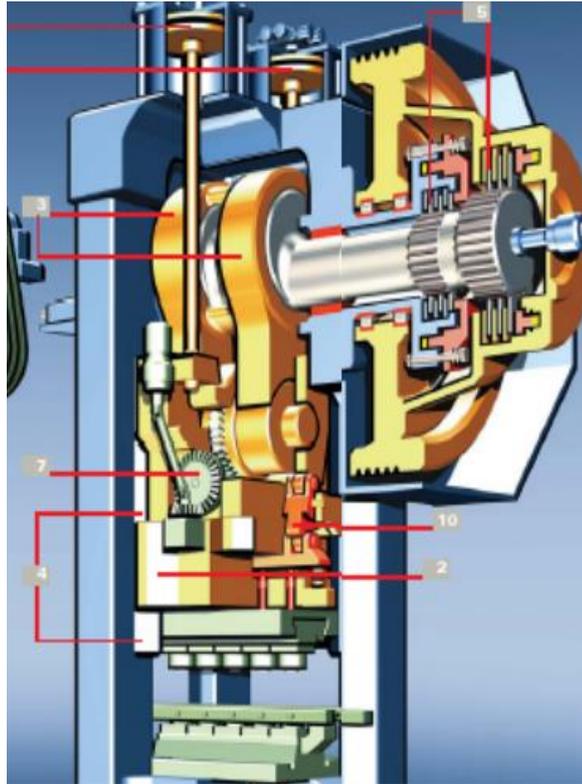


Figura 43. Prensa com acionamento excêntrico.
Fonte: Adaptado de IFSC, 2021.

Na Figura 43, as bielas do mecanismo são representadas pelo item número 3 e estão acoplados ao eixo de acionamento e a um pino articulador que também podem ser observados na ilustração.

4.4.3 Funções e Falhas Funcionais do Sistema Crítico

Inicialmente, neste item levantou-se quais são as funções do sistema detalhado anteriormente e suas respectivas falhas funcionais utilizando uma abordagem com caráter de *brainstorming*. O levantamento das informações contou com a participação de membros do corpo técnico do setor estudado. A Tabela 10 mostra uma parte das funções e falhas funcionais levantadas. A planilha completa se encontra no final deste trabalho (apêndice A).

Tabela 10. Funções e falhas funcionais da tesoura a frio (visão parcial).

MCC

Classificação das Funções da Tesoura a Frio

Etapa de Corte a Frio Processo Laminação

Função		Falha Funcional	
Nº	Descrição	Nº	Descrição
F-01	Cortar barras laminadas sem a ocorrência de defeitos de topo	FF-01	Não cortar barras laminadas
		FF-02	Executar corte com defeitos de topo
F-02	Alinhar barras laminadas corretamente para realização de desponte do material	FF-03	Não alinhar barras laminadas
		FF-04	Não alinhar barras laminadas na posição correta
F-03	Prender barras laminadas com a pressão adequada para realização do corte	FF-05	Não prender barras laminadas
		FF-06	Prender barras laminadas de maneira frouxa
		FF-07	Prender barras laminadas com pressão excessiva
F-04	Proporcionar a retirada de amostras do material laminado	FF-08	Não proporcionar a retirada de amostras do material laminado
F-05	Remover todas as sobras de material	FF-09	Não remover as sobras de material
		FF-10	Remover parcialmente as sobras de material
F-06	Transportar as sobras para caçamba de armazenamento	FF-11	Não transportar as sobras para caçamba de armazenamento
		FF-12	Transportar parcialmente as sobras para caçamba de armazenamento
F-07	Garantir alimentação de óleo hidráulico de forma adequada	FF-13	Executar alimentação de óleo hidráulico inadequadamente
F-08	Assegurar correta alimentação de ar para acionamento pneumático	FF-14	Não assegurar correta alimentação de ar para acionamento pneumático
F-09	Garantir a lubrificação dos componentes do sistema	FF-15	Não garantir a lubrificação dos componentes do sistema
F-10	Assegurar a fixação das ferramentas de corte em seus respectivos suportes	FF-16	Não assegurar a fixação das ferramentas de corte em seus respectivos suportes
F-11	Manter estática a estrutura do equipamento junto à fundação	FF-17	Não manter estática a estrutura do equipamento junto à fundação
F-12	Absorver esforços mecânicos provenientes da operação de corte	FF-18	Não absorver esforços mecânicos provenientes da operação de corte

Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Listadas parcialmente na Tabela 10, atribuiu-se ao todo 25 funções e 31 falhas funcionais ao sistema abordado. A seguir, dentre todas as informações levantadas, classificou-se as funções da tesoura a frio entre principais e secundárias conforme o contexto operacional

em questão, sendo algumas descartadas dessa classificação por serem consideradas como não-funções. A Figura 44 mostra os resultados da classificação.

Funções Principais		Funções Secundárias	
F-01	Cortar barras laminadas sem a ocorrência de defeitos de topo	F-04	Proporcionar a retirada de amostras do material laminado
F-02	Alinhar barras laminadas corretamente para realização de desponte do material	F-07	Garantir alimentação de óleo hidráulico de forma adequada
F-03	Prender barras laminadas com a pressão adequada para realização do corte	F-08	Assegurar correta alimentação de ar para acionamento pneumático
F-05	Remover todas as sobras de material	F-09	Garantir a lubrificação dos componentes do sistema
		F-10	Assegurar a fixação das ferramentas de corte em seus respectivos suportes
		F-13	Medir e indicar informações físicas do material e do equipamento corretamente (temperatura, valores de posição, número de barras, tracking, etc)
		F-14	Possibilitar a troca de facas de maneira eficiente
		F-15	Transmitir movimento do motor elétrico até o trenó
		F-17	Garantir correto ajuste de folgas de montagem
		F-20	Acionar freio do motor elétrico no fim de um ciclo de corte
		F-21	Liberar freio do motor elétrico no início de um ciclo de corte
		F-22	Codificar e executar comandos de maneira correta
		F-23	Garantir correta atuação do sistema pneumático de acionamento do Alinhador
		F-24	Garantir correta atuação do sistema hidráulico do Prendedor
		F-25	Assegurar a correta montagem e fixação dos suportes de Faca no equipamento

Figura 44. Funções principais e secundárias da tesoura a frio.
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Ao analisar a Figura 44, percebe-se que o sistema possui 4 funções principais, sendo essas caracterizadas conforme as operações executadas em cada uma das 3 fases do processo de corte. Já as funções secundárias estão relacionadas às categorias de suporte, amostragem, contenção, proteção e controle.

4.5 Seleção dos Subsistemas ou Componentes Críticos

Com os resultados do item anterior, pode-se proceder e classificar os subsistemas e componentes da tesoura a frio objetivando identificar os pontos críticos, que ao apresentarem

uma falha terão um impacto maior sobre uma função do sistema ou estão relacionados com o modo de falha em análise. Para tal, foi necessário realizar a definição de parâmetros críticos e suas classificações, para que ao nível de subsistemas e componentes fosse possível executar uma análise de criticidade.

Para realização desta análise, inicialmente determinou-se o grau de impacto das falhas funcionais na segurança humana (ISH), no meio ambiente interno e externo (IMA) e no aspecto econômico (IE). Também, atribuiu-se um valor de criticidade para cada subsistema ou componente (IFP) considerando sua importância para a correta execução da função principal do sistema crítico (cortar barras). Os valores possíveis de cada um dos critérios são os seguintes:

- 0 – Impacto ou nível de criticidade não significante;
- 1 – Impacto ou nível de criticidade baixo;
- 2 – Impacto ou nível de criticidade baixo-médio;
- 3 – Impacto ou nível de criticidade médio;
- 4 – Impacto ou nível de criticidade médio-alto;
- 5 – Impacto ou nível de criticidade alto.

Baseado na relação de funções principais e secundárias mostrada anteriormente, foi possível elaborar uma matriz de correlação de falhas funcionais e subsistema/componente. A classificação dos itens mais críticos se deu através de um índice de criticidade (IC).

Realizou-se o cálculo do IC de cada subsistema/componente através da equação (7) abaixo.

$$IC_{S/C} = \sum_{i=1}^n [(ISH + IMA + IE) \cdot (IFP \cdot x)]_i \quad (7)$$

Na equação (7) “*x*” se refere ao grau de relação do componente ou subsistema com a falha funcional em questão, e “*n*” à quantidade de falhas funcionais abordadas. A Figura 45 mostra uma parte da matriz de correlação de falhas funcionais e subsistemas/componentes elaborada neste estudo. A planilha completa se encontra na parte final do trabalho (apêndice B), na qual pode-se observar todos os itens do sistema crítico analisados e as falhas funcionais abordadas.

S/C - 4	S/C - 3	S/C - 2	S/C - 1	ID	Subsistema/Componente	Falha funcional			
						IFP	ISH	IMA	
4	3	4	4			5	0	0	FF-01 - Não cortar barras laminadas
2	0	4	0			4	0	0	FF-02 - Executar corte com defeitos de topo
2	0	2	0			4	0	0	FF-03 - Não alinhar barras laminadas
0	5	0	0			3	0	0	FF-04 - Não alinhar barras laminadas na posição correta
0	3	0	0			2	0	0	FF-05 - Não prender barras laminadas
0	0	0	0			5	0	1	FF-06 - Prender barras laminadas de maneira frouxa
0	0	0	0			4	0	0	FF-07 - Prender barras laminadas com pressão excessiva
0	0	0	0			4	0	0	FF-08 - Não proporcionar a retirada de amostras do material laminado
0	0	0	0			3	0	0	FF-09 - Não remover as sobras de material
0	0	0	0			2	0	0	FF-10 - Remover parcialmente as sobras de material
0	0	0	0			1	0	0	FF-13 - Executar alimentação de óleo hidráulico inadequadamente
0	0	0	0			4	1	0	FF-14 - Não assegurar correta alimentação de ar para acionamento pneumático
0	0	0	0			3	0	0	FF-15 - Não garantir a lubrificação dos componentes do sistema
0	0	0	0			5	1	0	FF-16 - Não assegurar a fixação das ferramentas de corte em seus respectivos suportes
0	0	0	0			4	0	1	FF-19 - Não medir e indicar informações físicas do material e do equipamento corretamente
0	0	0	0			5	0	0	FF-20 - Não possibilitar a troca de facas de maneira eficiente
0	0	0	0			3	0	0	FF-21 - Não transmitir movimento do motor elétrico até o pêndulo
0	0	0	0			5	0	0	FF-23 - Geração de ajuste de folgas de montagem inadequadas
0	0	0	0			4	0	0	FF-26 - Não acionar freio do motor elétrico no fim de um ciclo de corte
0	0	0	0			3	0	0	FF-27 - Não liberar freio do motor elétrico no início de um ciclo de corte
0	0	0	0			3	0	0	FF-28 - Não codificar e executar comandos de maneira correta
0	0	0	0			5	0	0	FF-29 - Não garantir correta atuação do sistema pneumático de acionamento do Alinhador
0	4	0	0			3	0	0	FF-30 - Não garantir correta atuação do sistema hidráulico do Prendedor
0	0	0	0			4	0	0	FF-31 - Não assegurar a correta montagem e fixação dos suportes de Faca no equipamento
4	0	0	0			4	0	1	
172	66	177	180			IC			

Figura 45. Matriz de correlação de falhas funcionais e subsistemas/componentes (parcial).
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Na visão parcial da matriz mostrada pela Figura 45, pode-se perceber que o item S/C – 1 (Acoplamento) possui o maior valor de IC entre os quatro relacionados.

Exemplificando o cálculo para esse componente, tem-se:

$$IC_{S/C-1} = [(0 + 0 + 5) \cdot (4 \cdot 4)] + [(0 + 0 + 5) \cdot (4 \cdot 5)] = [5 \cdot 16] + [5 \cdot 20]$$

$$\Rightarrow IC_{S/C-1} = 180$$

Ao analisar a Figura 45 e o cálculo exemplo acima, percebe-se que na elaboração da matriz considerou-se que o acoplamento se relaciona apenas com as falhas funcionais FF – 01 (04) e FF – 21 (05), que se referem à não execução do corte e à não transmissão de movimento do motor elétrico ao eixo de acionamento da tesoura, respectivamente.

A Tabela 11 apresenta a classificação em ordem decrescente do valor de IC para os subsistemas/componentes da tesoura a frio.

Tabela 11. Índice de criticidade dos subsistemas/componentes da tesoura a frio.

ID	Subsistema/Componente	IC	IC Acumulado	
S/C - 20	Faca Inferior	285	285	5,63%
S/C - 21	Faca Superior	285	570	11,26%
S/C - 9	Conjunto Trenó de Escorregamento	265	835	16,50%
S/C - 25	Sistema de Lubrificação	264	1099	21,71%
S/C - 6	Conjunto Eixo Excêntrico da Tesoura a Frio	260	1359	26,85%
S/C - 16	Conjunto Suporte da Faca Inferior	260	1619	31,98%
S/C - 17	Conjunto Suporte da Faca Superior	260	1879	37,12%
S/C - 10	Conjunto Porta-Faca Inferior	256	2135	42,18%
S/C - 11	Conjunto Porta-Faca Superior	256	2391	47,23%
S/C - 12	Conjunto Prendedor	231	2622	51,80%
S/C - 8	Conjunto Motor Elétrico	225	2847	56,24%
S/C - 22	Liners	208	3055	60,35%
S/C - 24	Sistema de Alimentação e Distribuição de Óleo Hidráulico	207	3262	64,44%
S/C - 15	Conjunto Sistema de Sensoriamento e Monitoramento	200	3462	68,39%
S/C - 26	Volante de Ajuste de Folga dos Liners	188	3650	72,11%
S/C - 1	Acoplamento	180	3830	75,66%
S/C - 13	Conjunto Redutor 1	180	4010	79,22%
S/C - 14	Conjunto Redutor 2	180	4190	82,77%
S/C - 19	Encoder	180	4370	86,33%
S/C - 2	Bronzina do Excêntrico	177	4547	89,83%
S/C - 4	Conjunto de Clamps das Facas	172	4719	93,22%
S/C - 7	Conjunto Freio do Motor Elétrico	135	4854	95,89%
S/C - 23	Sistema de Alimentação e Distribuição de Ar	74	4928	97,35%
S/C - 3	Conjunto Alinhador	66	4994	98,66%
S/C - 5	Conjunto de Inserção/Extração de Facas	40	5034	99,45%
S/C - 18	Conjunto Varredor	28	5062	100,00%

Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Ao observar a Tabela 11, conclui-se que as facas superior e inferior foram consideradas os itens mais críticos do sistema utilizando a abordagem proposta pela matriz de correlação de falhas funcionais e subsistemas/componentes, o que é um resultado congruente com o esperado em relação à própria configuração da máquina, uma vez que as Facas são os componentes que estão em contato direto com o produto final na execução de um corte, fato que faz com que as mesmas possuam características de criticidade elevadas.

Para a seleção de sistemas em um *ranking* de criticidade, Smith e Hinchcliffe (2004) apresentam como ferramenta a regra “80/20”, que afirma que 80% do efeito de um critério observado reside em 20% da fonte disponível. A utilização do princípio proposto faz uso de uma análise de dados numéricos que estabelece uma linha de corte localizada em 80% do valor de criticidade mais alto do *ranking*. Neste cenário, os itens que se situam sobre ou acima da linha de corte são considerados em uma análise mais profunda.

Os dados gerados através do uso da matriz de correlação de falhas funcionais e subsistemas/componentes criada anteriormente possibilitaram a criação do gráfico de Pareto ilustrado pela Figura 46.

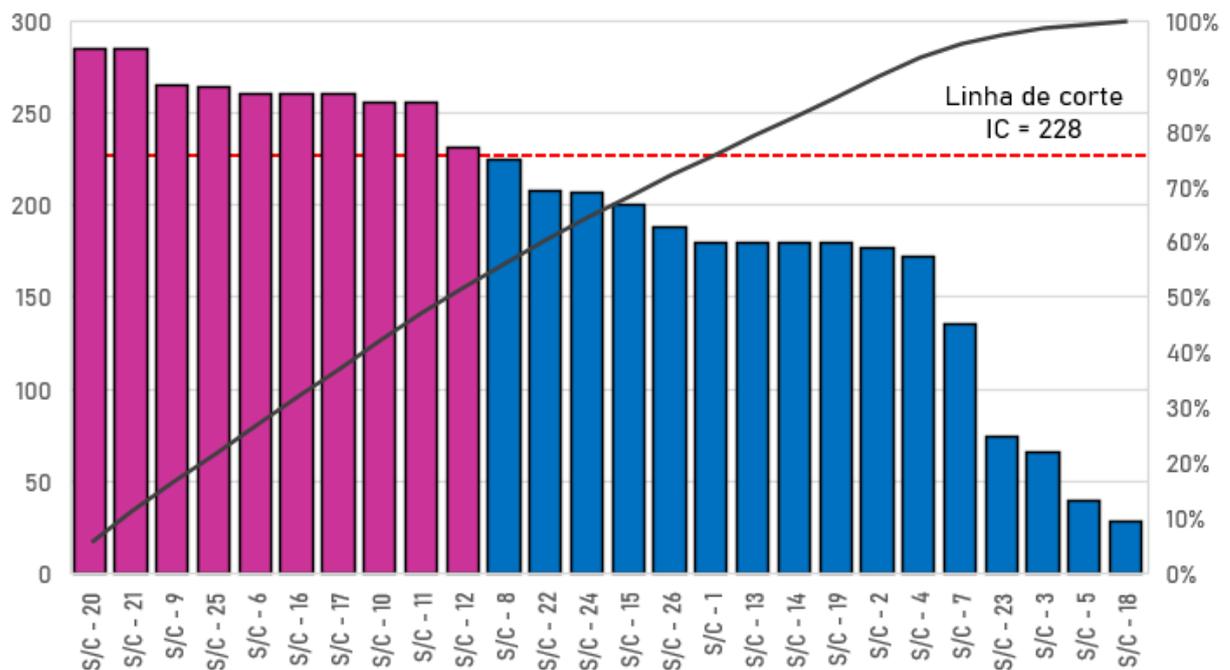


Figura 46. Gráfico de Pareto: índice de criticidade de subsistemas/componentes da tesoura a frio.
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Na Figura 46, a linha de corte recomendada pela regra 80/20 é dada por $IC = 228$, isto é, um subsistema ou componente que possui índice de criticidade maior ou igual a este valor deve ser considerado em uma análise posterior mais detalhada. Cabe ressaltar que o valor da linha de corte foi determinado utilizando o resultado anterior que estabelece o item mais crítico

tendo valor de $IC = 285$, assim, o patamar estabelecido pela linha de corte é dado por 80% de 285, o que resulta no valor de 228 mostrado no gráfico de Pareto.

Ao observar a Figura 46, percebe-se que as barras pintadas em roxo são as que representam os itens considerados críticos através da aplicação da regra 80/20.

Logo, no prosseguimento da análise MCC deste estudo serão priorizados os seguintes subsistemas e componentes:

✓ S/C - 20	Faca Inferior	$IC = 285$
✓ S/C - 21	Faca Superior	$IC = 285$
✓ S/C - 9	Conjunto Trenó de Escorregamento	$IC = 265$
✓ S/C - 25	Sistema de Lubrificação	$IC = 264$
✓ S/C - 6	Conjunto Eixo Excêntrico da Tesoura a Frio	$IC = 260$
✓ S/C - 16	Conjunto Suporte da Faca Inferior	$IC = 260$
✓ S/C - 17	Conjunto Suporte da Faca Superior	$IC = 260$
✓ S/C - 10	Conjunto Porta-Faca Inferior	$IC = 256$
✓ S/C - 11	Conjunto Porta-Faca Superior	$IC = 256$
✓ S/C - 12	Conjunto Prendedor	$IC = 231$

4.6 FMEA dos Subsistemas ou Componentes Críticos

Neste item elaborou-se a Análise dos Modos e Efeitos de Falhas (FMEA) dos subsistemas ou componentes críticos identificados anteriormente. Alinhado com as premissas da MCC explicitadas pela literatura, o objetivo desta parte do trabalho tem um caráter fundamentalmente preventivo, no sentido de levantar e analisar os modos de falha dos elementos críticos do sistema tratado, para que seja possível posteriormente selecionar tarefas de manutenção e de melhorias que irão efetivamente mitigar ou mesmo eliminar os modos de falha discutidos.

De maneira preliminar, é importante salientar que a relação de itens selecionados para esta parte do trabalho contém subsistemas/componentes que possuem configurações de construção e funções bastante similares, os quais são: facas superior e inferior, conjuntos porta-faca superior e inferior e conjuntos suporte de faca inferior e superior. Sendo assim, decidiu-se executar apenas um FMEA que serviu para cada um destes pares e desdobrar seus resultados para ambos os elementos. Esta ação não prejudicou o resultado final do estudo, e foi tomada

com o objetivo de torná-lo mais eficiente em termos de quantidade de trabalho e tempo depreendido.

Além disso, conforme citado anteriormente, o movimento giratório do eixo excêntrico da tesoura a frio é convertido por meio de uma biela em um movimento em linha reta do trenó que aciona a ferramenta de corte móvel (faca superior). A Figura 47 mostra um esquemático simplificado deste mecanismo da máquina.

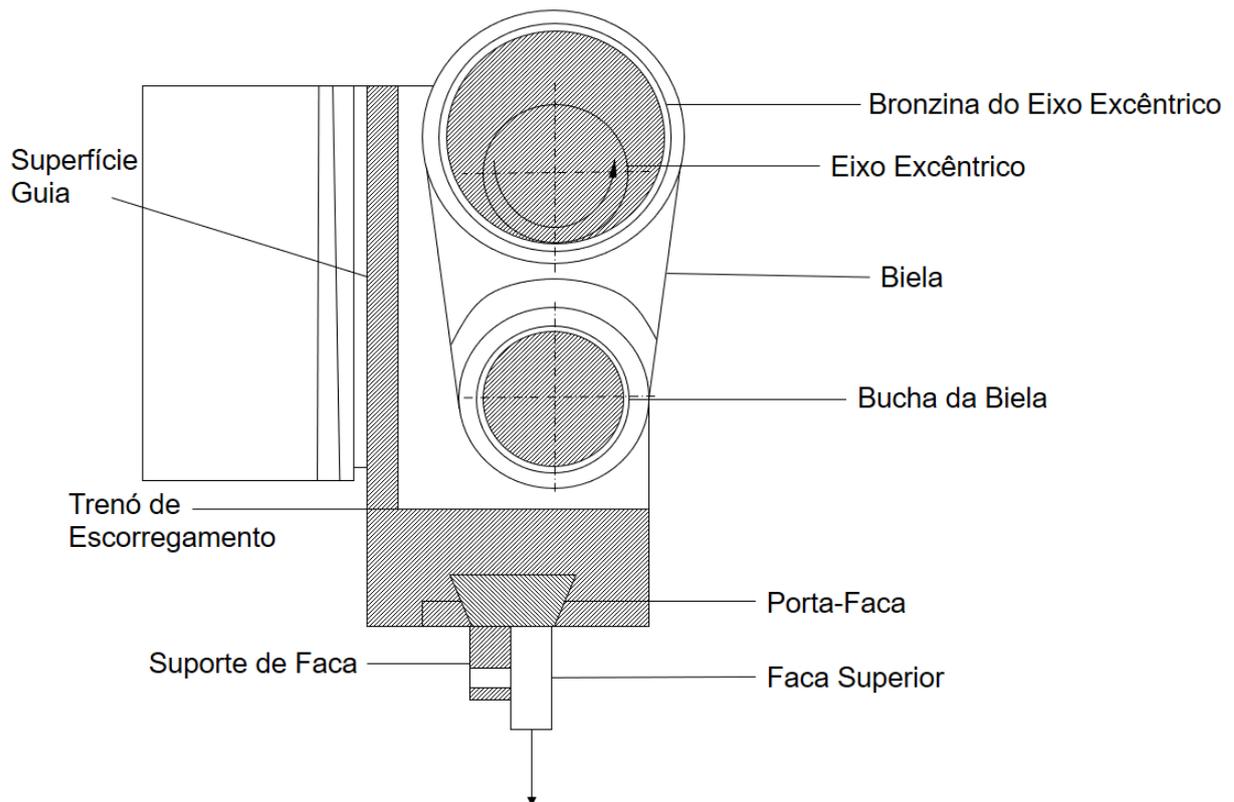


Figura 47. Conjunto excêntrico da tesoura a frio.
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Ao analisar a Figura 47, pode-se perceber que o trenó de escorregamento (S/C – 9) e o eixo excêntrico (S/C – 6) que são interligados pelas bielas formam um grande conjunto aqui chamado de conjunto excêntrico da tesoura a frio. Devido à relação umbilical entre os sistemas, a etapa de FMEA não tratou os itens de maneira separada, mas sim conjunta, de modo a ter uma análise que tratou o conjunto excêntrico da máquina como um todo, e que inclusive também considerou os elementos de desgaste das conexões (bronzinas e buchas).

Intimamente ligado ao conjunto excêntrico da tesoura a frio, ao sistema de transmissão, e também a praticamente todos os outros subsistemas e componentes da máquina, está o sistema de lubrificação (S/C – 25), que é composto por um sistema de circulação forçada de óleo que lubrifica os rolamentos de rolos e engrenagens de transmissão, e um sistema de engraxamento

centralizado que lubrifica imediatamente os mancais de deslizamento em quais giram o eixo excêntrico, a haste de conexão, os pinos de articulação, e também a superfície guia e trenó. A lubrificação é de extrema importância para uma máquina deste tipo que possui um conceito essencialmente mecânico por trás de seu princípio de funcionamento, com alto emprego de contato direto de componentes metálicos para transmissão e conversão de movimento. Neste contexto, o sistema de lubrificação age como um elemento que assegura a eficiência do trabalho da máquina, evita paralisações e falhas, e prolonga a vida dos diversos componentes da tesoura, sendo inaceitável que o mesmo sofra falhas ou interrupções.

Diante do exposto, a relação de itens que foram analisados na etapa de FMEA é composta por:

- | | |
|------------------------|---|
| ✓ S/C – 20 e S/C – 21: | Facas Superior e Inferior; |
| ✓ S/C – 9 e S/C – 6: | Conjunto Excêntrico da Tesoura a Frio; |
| ✓ S/C – 25: | Sistema de Lubrificação; |
| ✓ S/C – 16 e S/C – 17: | Conjuntos Suportes de Faca Inferior e Superior; |
| ✓ S/C – 10 e S/C – 11: | Conjuntos Porta-Faca Inferior e Superior; |
| ✓ S/C – 12: | Conjunto Preendedor. |

Sendo assim, ao todo realizou-se 6 FMEAS. Pode-se observar todos os documentos elaborados na seção final deste trabalho (apêndice C).

A Figura 48 mostra uma visão parcial do FMEA do sistema de lubrificação.

MCC		Análise dos Modos e Efeitos de Falha					FMEA
Sistema: Tesoura a Frio		Data FMEA (Orig.): nov/21					
S/C: S/C - 25		Nº Rev. Data: 0					
Descrição: Sistema de Lubrificação		Preparado Por: Equipe Laminação					
Função:							
Fornecer o lubrificante no momento, local e quantidade adequados para as superfícies de fricção da Tesoura a Frio.							
Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Consequências da Falha	RPN
1. Interrupção do sistema de lubrificação a óleo	9	Falha da bomba de alimentação e circulação de lubrificante	2	Perca gradual e acelerada de funcionalidade da máquina; Geração de instabilidades; Aumento do desgaste dos componentes.	2	Parada de produção por tempo a depender dos danos causados pela falha;	36
		Nível de fluido no reservatório abaixo do mínimo ou esgotado				Possibilidade de perda funcional completa de todo o equipamento ou de certas partes, sendo necessária sua substituição caso ocorrer;	
		Quebra de flanges e/ou conexões				Risco de altos prejuízos financeiros relacionados ao equipamento e também ao produto em linha;	
		Falha das válvulas controladoras				Redução de vida útil de componentes.	
		Rompimento da linha de alimentação e circulação de lubrificante					
Quebra dos bocais de pulverização de óleo lubrificante							

Figura 48. FMEA do sistema de lubrificação (visão parcial).
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

A Figura 48 mostra que o processo de elaboração do FMEA consiste em analisar um modo de falha no sentido de determinar suas possíveis causas, efeitos e consequências. No caso do sistema de lubrificação da tesoura a frio, o enfoque da análise foi nas falhas relacionadas ao não fornecimento de fluido lubrificante apropriado no momento, local e quantidade corretos para a aplicação. Cada modo de falha é classificado de acordo com seu grau de severidade, ocorrência e detecção numa escala numérica de 1 a 10, na qual quanto maior for o índice atribuído, maior será seu grau de importância. Em posse de todos os índices, calcula-se o valor de RPN (*Risk Priority Number*), parâmetro que classifica a criticidade do modo de falha em questão.

4.7 Proposta de Melhoria Para a Tesoura a Frio a Partir da MCC

Com os resultados da seção anterior, pode-se proceder com a determinação das ações que servirão como contramedidas para os modos de falha levantados e analisados.

A literatura recomenda a priorização dos modos de falha conforme alguns critérios, sendo os mais comuns aqueles que recomendam a obrigatoriedade da tomada de contramedidas para os modos de falha com grau de severidade igual a 9 ou 10, associada à uma avaliação dos outros modos de falha através do emprego de matrizes de risco que levam em conta a relação RPN vs Severidade ou Severidade vs Ocorrência para determinar quais são os modos de falha mais críticos dentro desse segundo grupo.

Numa discussão de avaliação feita juntamente com técnicos e especialistas da empresa estudada participantes deste estudo, decidiu-se analisar todos os modos de falha levantados na etapa anterior, pois todos foram considerados pertinentes e/ou classificados como problemas crônicos que necessitam de uma abordagem específica.

Com relação às tarefas de manutenção, definiu-se o tipo das ações de contramedidas propostas através do uso do diagrama lógico de decisão mostrado pela Figura 49.

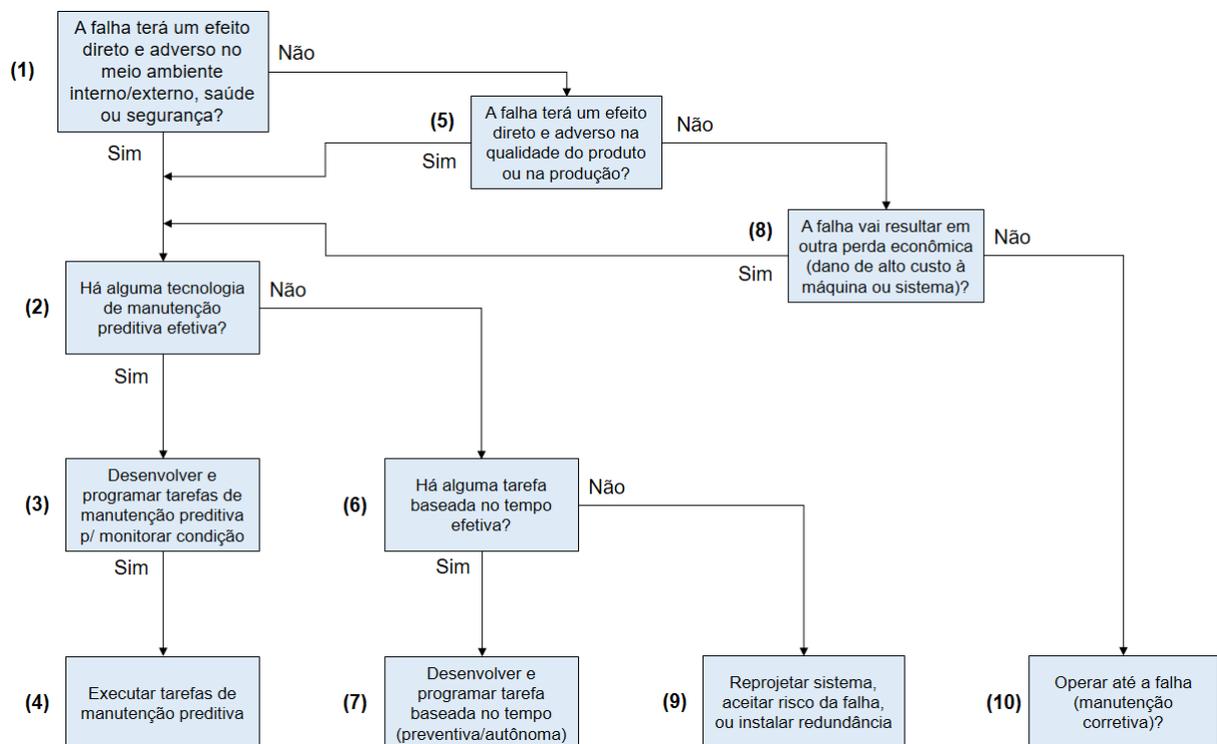


Figura 49. Diagrama lógico de decisão MCC.

Fonte: Adaptado de NASA (2008).

A aplicação do diagrama de decisão mostrado pela Figura 49 consiste na determinação das respostas para as perguntas do fluxo lógico de acordo com o modo de falha analisado. As respostas são registradas numa planilha de descrição de tarefas que também mostra as atividades de manutenção selecionadas para o subsistema/componente em questão, caso o mesmo seja considerado para a criação de um plano de manutenção.

A Figura 50 mostra uma parcela da planilha de seleção de tarefas de manutenção do prendedor.

MCC													
Planilha de seleção de tarefas													
Sistema: Tesoura a Frio						Data elaboração: nov/21							
S/C: S/C - 12						Nº Rev. Data: 0							
Descrição: Conjunto Prendedor						Preparado Por: Equipe Laminação							
Função:													
Prender barras laminadas contra a Mesa de Rolos da Tesoura a Frio antes que a Faca Superior inicie o contato com o material, garantindo que este esteja preso e firme para realização do corte e servindo de sistema auxiliar para a obtenção de um corte sem irregularidades e/ou instabilidades.													
Modo de Falha	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	Item (MF.A)	Ações Propostas	Frequência
	N	N	-	-	S	S	X				1.1	Inspeccionar visualmente as conexões, tubulações e mangueiras do sistema de alimentação de óleo hidráulico quanto a linhas danificadas, vazamentos, entupimento ou torções.	Diário
	N	N	-	-	S	S	X				1.2	Inspeccionar visualmente o nível de óleo hidráulico do reservatório e registrar. Restaurar o nível, caso necessário, e garantir não contaminação do óleo durante esta atividade.	Diário
	N	N	-	-	S	S	X				1.3	Verificar se há mudanças anormais de temperatura no óleo hidráulico.	Diário
	N	N	-	-	S	S	X				1.4	Verificar aperto dos parafusos e braçadeiras de tubos e mangueiras da linha hidráulica.	Diário
1. Não acionamento do Prendedor (avanço e/ou recuo)													

Figura 50. Planilha de seleção de tarefas de manutenção do prendedor (visão parcial).
Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Os números entre parênteses mostrados no cabeçalho da imagem da Figura 50 se referem às perguntas do diagrama lógico de decisão da Figura 49. Todas as planilhas de seleção de tarefas da análise estão dispostas no final do trabalho (apêndice D).

Frente às possíveis causas dos modos de falha discutidos no item 4.6 deste trabalho, e de maneira complementar ao resultado obtido através da seleção das tarefas de manutenção, elaborou-se também planos de ação no formato 5W1H para tratar problemas que foram discutidos na etapa de elaboração dos FMEAs e considerados importantes no que diz respeito a garantir a perpetuidade do resultado da análise e melhoria contínua de seus resultados.

Procedeu-se dessa maneira pois para alguns subsistemas/componentes abordados foi identificado que a proposição de contramedidas através da seleção de tarefas de manutenção não era compatível com o item ou com a sua aplicação.

A Figura 51 ilustra uma parte do plano de ação elaborado para tratar os problemas e oportunidades relacionados às facas superior e inferior.



5W1H

Tema tratado: MCC - Tesoura a Frio Laminador 3

Data: nov/22

Revisão: 0

5W

1H

Item	S/C referenciado	What Descrição das ações	Why Motivos	Where Local	Who Responsável	When Quando	How Como executar as ações
1	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Elaborar método de acompanhamento de tonelagem processada pelas Facas e criar instrução operacional	Para monitorar o uso das ferramentas e estimar sua vida útil	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Sugestão: planilha Excel compartilhada na rede conectada aos dados de produção do Painel Gerencial L3
2	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Garantir limpeza adequada da Faca no momento de montagem e inserção na máquina	Para evitar impurezas e contaminantes no sistema	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Criar instrução operacional, treinar operação e promover avaliações de resultado da tarefa
3	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Criar padrão interno de manuseio e armazenamento das Navalhas	Para garantir que as ferramentas de corte não sejam deterioradas por ação do ambiente ou manuseio	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Criar instrução operacional, treinar operação e promover avaliações de resultado da tarefa
4	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Executar estudo da variação de dureza do gume de corte da ferramenta de acordo com a execução de reafiações	A fim de determinar a distribuição de dureza ao longo do material, padronizar espessura removida de reafiação, e estimar vida útil das Facas	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Medição de dureza HRC no gume de corte conforme quantidade de material processado, registro, avaliação e interpretação dos resultados
5	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Monitorar materiais cortados fora da faixa de temperatura ideal e montar histórico de desgaste das ferramentas	Avaliar comportamento das Facas em tais condições de corte adversas	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Avaliação no IBA, inspeção visual, criação de padrão de comparação

Figura 51. Plano de ação das facas superior e inferior (visão parcial).

Fonte: Pesquisa direta, 2021.

A Figura 51 mostra algumas ações de um total de 16 que têm como foco a gestão segura e eficiente das facas superior e inferior. Os planos de ação completos para cada um dos subsistemas/componentes tratados desta forma no estudo estão expostos na porção final do estudo (apêndice E).

Cabe citar que boa parte dos itens tratados contaram com ambas as abordagens, isto é, para um mesmo subsistema/componente foram propostas ações de manutenção e também um plano de ação 5W1H.

A Tabela 12 mostra uma sumarização das abordagens adotadas para cada um dos subsistemas/componentes nesta etapa do estudo.

Tabela 12. Tratativas adotadas para os subsistemas/componentes analisados.

ID	Subsistema/Componente	Abordagem	
		Tarefa de Manutenção	Plano de Ação 5W1H
S/C - 20 e S/C - 21	Facas Inferior e Superior	Não	Sim
S/C - 9 e S/C - 6	Conjunto Excêntrico da Tesoura a Frio	Sim	Sim
S/C - 25	Sistema de Lubrificação	Sim	Sim
S/C - 16 e S/C - 17	Conjuntos Suportes de Faca Inferior e Superior	Não	Sim
S/C - 10 e S/C - 11	Conjuntos Porta-Faca Inferior e Superior	Sim	Sim
S/C - 12	Conjunto Prendedor	Sim	Sim

Fonte: Pesquisa direta, 2021.

Através da combinação das tarefas de manutenção selecionadas e dos planos de ação 5W1H para a solução de problemas, obteve-se uma proposta de plano de melhoria para a tesoura a frio, com enfoque em contribuir com o possível aumento de sua confiabilidade e manter a função do ativo de acordo com os padrões de qualidade e produtividade desejados.

5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusão

O ponto de partida deste trabalho buscou entender o problema associado à etapa de corte a frio do processo de laminação estudado, seus influenciadores e efeitos, para, então, recomendar a aplicação do Método de Manutenção Centrada em Confiabilidade nesta etapa do processo tendo como objetivo propor melhorias.

Para se atingir uma compreensão dos requisitos por de trás da obtenção da resposta para a pergunta problema mostrada no exórdio deste trabalho (Como propor melhorias para a etapa de corte a frio do processo de laminação através da aplicação do método de Manutenção Centrada em Confiabilidade para uma empresa do setor de siderurgia?), definiu-se três objetivos específicos. O primeiro trata-se de realizar um estudo teórico sobre: Manutenção, Manutenção Centrada em Confiabilidade, Processo de Laminação. Verifica-se que o discorrer da seção de revisão bibliográfica tratou da base de conhecimento sobre o assunto abordado na elaboração deste trabalho e de uma caracterização geral de seus principais aspectos.

Depois, buscou-se atingir o segundo objetivo específico de elaborar um procedimento metodológico para propor melhorias para o processo estudado a partir do método de Manutenção Centrada em Confiabilidade. A seção de materiais e métodos caracteriza metodologicamente a pesquisa, enquanto que a de resultados e discussão permitiu concluir que a MCC é um importante processo de iteração, priorização, documentação, análise de falhas e determinação de ações mitigadores dos modos de falha. Sobre a parte de aplicação prática, chama-se a atenção para os seguintes pontos:

- Todas as etapas da análise requerem um alto grau de conhecimento do sistema abordado, o que torna necessário ter uma equipe diversa para um resultado otimizado, sendo de suma importância a participação de representantes do pessoal da manutenção, operação e liderança;
- A adoção de parâmetros de criticidade específicos para o sistema em análise, avaliando-os sob o contexto operacional em questão, enfatizando os aspectos de segurança, meio ambiente, qualidade e econômicos;
- As práticas de priorização aplicadas ao longo da análise se mostram itens de suma importância, pois permitem direcionar as ações do estudo de maneira eficaz;

- Ao longo do processo de elaboração do estudo observou-se que o conhecimento dos participantes envolvidos sobre o sistema e o assunto foram desenvolvidos, o que é benéfico tanto do ponto de vista dos indivíduos quanto de toda a empresa.

As principais dificuldades observadas no decorrer da elaboração do trabalho foram:

- Incompatibilidade de agenda dos participantes da análise, o que tornou difícil a execução de encontros de discussão;
- A falta de dados históricos sobre as falhas e práticas de manutenção da tesoura a frio, tendo sido adotada uma abordagem mais generalista.

A análise permitiu fornecer um plano de melhoria abrangente focado na tesoura a frio, que propõe ações relacionadas à várias frentes de trabalho no âmbito da operação e manutenção, tais como: a realização de estudos de desgaste, avaliação de investimentos de melhoria, revisão de instruções operacionais, implantação de novas ferramentas de controle e monitoramento da condição, e de padrões e procedimentos de operação e manutenção.

Portanto, conclui-se que foi possível propor melhorias para a etapa de corte a frio do processo de laminação através da aplicação do método de Manutenção Centrada em Confiabilidade para uma empresa do setor de siderurgia, o que se caracteriza como um resultado positivo frente ao objetivo geral do estudo.

5.2 Recomendações

A partir da pesquisa realizada, recomenda-se os seguintes trabalhos futuros:

- Realização de uma avaliação dos resultados da implementação da MCC considerando os aspectos de segurança, meio ambiente, qualidade e econômico;
- Aplicar a metodologia em outro sistema integrante do laminador, visando aumentar a abrangência dos impactos de uma análise desse tipo sobre todo o processo de laminação e possibilitar a avaliação de resultados;
- Caracterização do ciclo de vida do sistema e estudo da confiabilidade da Tesoura a Frio a partir da aplicação da Distribuição de Weibull.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

A evolução da indústria: entenda o impacto da Indústria 4.0. Empresa ROMI, 2020. Disponível em: < <https://www.romi.com/a-evolucao-da-industria-entenda-o-impacto-da-industria-4-0/>>. Acesso em: 01/08/2021.

ARAÚJO, L. A. **Manual de siderurgia.** São Paulo: Editora Arte & Ciência, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 5462: **Confiabilidade e manutenibilidade.** ABNT. Rio de Janeiro, 1994.

BARAN, L.R. **Manutenção Centrada Em Confiabilidade Aplicada Na Redução De Falhas: Um Estudo De Caso.** Dissertação – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2011.

BRESCIANI F. E. *et al.* **Conformação Plástica dos Metais** (6a . edição). Campinas: Editora da Unicamp, 2011.

DE PAULA, G. B. **Plano de Ação – O passo a passo da ideia à concretização de seus objetivos.** 2016. 7f.

DOCKHORN, F. S. M. **Manutenção 4.0 no contexto da Universidade de Brasília - UnB.** 2019. 131 f., il. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) —Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

ENGETELES. **Confiabilidade na indústria 4.0.** ENGETELES Editora, Brasília, 2019.

ENTENDA O QUE É A ANÁLISE DE CRITICIDADE. KN Waagen, 2020. Disponível em:< <https://blog.knwaagen.com.br/analise-de-criticidade/>>. Acesso em: 11 de novembro de 2020.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial.** Ed. Elseiver. Rio de Janeiro, 2011.

FRANCISCHINI, A. S. N.; FRANCISCHINI, P. G. **Indicadores de desempenho: dos objetivos à ação-métodos para elaborar KPIS e obter resultados.** Rio de Janeiro: Alta Books, 2017. 448 p.

GREGÓRIO, P G. F, SILVEIRA, A. M. **Manutenção industrial.** Porto Alegre: Grupo A, 2018.

JAPAN INSTITUTE FOR PLANT MAINTENANCE (JIPM). **600 Forms Manual.** Japan, 1995.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

LAFRAIA, R. B. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 1ed, 2006.

MARÇAL, Rui F. M. **Um método para detectar falhas incipientes em máquinas rotativas baseado em análise de vibração e lógica Fuzzy**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de materiais - PPGEM - UFRGS, 2000.

MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade (Reliability-centred Maintenance)** - Edição Brasileira. SPES. São Paulo, 2000.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance: second edition**. 2^a. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

NC **SHEARING PRESS**. Micro, 2021. Disponível em <<https://www.microhydraultech.net/variable-rake-angle-nc-hydraulic-shearing-press/>>. Acesso em: 12 de novembro de 2020.

OLIVEIRA, E. **PRENSAS**. 47 slides. Disponível em: <<http://joinville.ifsc.edu.br/~emerson.oliveira/Processo%20de%20Fabrica%C3%A7%C3%A3o/Noturno/Prensas%20de%20Forjamento.pdf>>. Acesso em: 27/11/2021.

OLIVEIRA, R. **ANÁLISE DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA DE MANUTENÇÃO AUTÔNOMA: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE MINERAÇÃO DE BAUXITA**. Monografia de Graduação – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2017.

PAPIC, Ljubisa; ARONOV, Joseph & PANTELIC, Milorad. **Safety Based Maintenance Concept**. *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, New Jersey (USA), v. 16, n. 6, p. 533–549, dez. 2009.

QUINTINO L. F. et al. **Indústria 4.0**. Porto Alegre: Grupo A, 2019.

REGAN, N. **The RCM Solution: A Practical Guide to Starting and Maintaining a Successful RCM Program**. Industrial Press, Inc., 2011.

REYES A. E. L. e SILVANA R. V. S. **5W e 1H**. (DME-ESALQ/USP; SIESALQ-ESALQ/USP). Disponível em: <<https://www.esalq.usp.br/qualidade/ferramentas/5w1h.htm> >. Acesso em: 27/11/2021.

SANTOS, B. K. **Processo de conformação**. Porto Alegre: Grupo A, 2018.

SHARMA, A. G.S. YADAVA, S.G. DESHMUKH "A *literature review and future perspectives on maintenance optimization*", Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 17 Iss: 1, pp.5 – 25. (2011).

SMITH A. M.; HINCHCLIFFE, G. R. **RCM: gateway to world class maintenance**. 2a. ed. Burlington: Elsevier Butterworth—Heinemann v. 1, 2004.

SMITH, Anthony M. **Reliability Centered Maintenance**. Boston: McGraw-Hill, Inc. 1993, 216p.

TELES, J. **Bíblia do RCM: O guia completo e definitivo da manutenção centrada na**

VIANA, H. R. G. **Planejamento e Controle da Manutenção**. 1.ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2006.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. 1ª edição. Rio de Janeiro: INDG, 1998.

ZAIONS, D. R. **Consolidação da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma planta de Celulose e Papel**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

APÊNCIDE A – Funções e falhas funcionais da tesoura a frio

Função		Falha Funcional	
Nº	Descrição	Nº	Descrição
F-01	Cortar barras laminadas sem a ocorrência de defeitos de topo	FF-01	Não cortar barras laminadas
		FF-02	Executar corte com defeitos de topo
F-02	Alinhar barras laminadas corretamente para realização de desponte do material	FF-03	Não alinhar barras laminadas
		FF-04	Não alinhar barras laminadas na posição correta
F-03	Prender barras laminadas com a pressão adequada para realização do corte	FF-05	Não prender barras laminadas
		FF-06	Prender barras laminadas de maneira frouxa
		FF-07	Prender barras laminadas com pressão excessiva
F-04	Proporcionar a retirada de amostras do material laminado	FF-08	Não proporcionar a retirada de amostras do material laminado
F-05	Remover todas as sobras de material	FF-09	Não remover as sobras de material
		FF-10	Remover parcialmente as sobras de material
F-06	Transportar as sobras para caçamba de armazenamento	FF-11	Não transportar as sobras para caçamba de armazenamento
		FF-12	Transportar parcialmente as sobras para caçamba de armazenamento
F-07	Garantir alimentação de óleo hidráulico de forma adequada	FF-13	Executar alimentação de óleo hidráulico inadequadamente
F-08	Assegurar correta alimentação de ar para acionamento pneumático	FF-14	Não assegurar correta alimentação de ar para acionamento pneumático
F-09	Garantir a lubrificação dos componentes do sistema	FF-15	Não garantir a lubrificação dos componentes do sistema
F-10	Assegurar a fixação das ferramentas de corte em seus respectivos suportes	FF-16	Não assegurar a fixação das ferramentas de corte em seus respectivos suportes
F-11	Manter estática a estrutura do equipamento junto à fundação	FF-17	Não manter estática a estrutura do equipamento junto à fundação
F-12	Absorver esforços mecânicos provenientes da operação de corte	FF-18	Não absorver esforços mecânicos provenientes da operação de corte
F-13	Medir e indicar informações físicas do material e do equipamento corretamente (temperatura, valores de posição, número de barras, tracking, etc)	FF-19	Não medir e indicar informações físicas do material e do equipamento corretamente
F-14	Possibilitar a troca de facas de maneira eficiente	FF-20	Não possibilitar a troca de facas de maneira eficiente
F-15	Transmitir movimento do motor elétrico até o pêndulo	FF-21	Não transmitir movimento do motor elétrico até o pêndulo
F-16	Assegurar desgaste não-prematuro dos componentes	FF-22	Não assegurar desgaste não-prematuro dos componentes
F-17	Garantir correto ajuste de folgas de montagem	FF-23	Geração de ajuste de folgas de montagem inadequadas
F-18	Manter proteções de máquina e carcaças fixas	FF-24	Não manter proteções de máquina e carcaças fixas
F-19	Facilitar a operação e manutenção dos itens físicos	FF-25	Não facilitar operação e manutenção dos itens físicos
F-20	Acionar freio do motor elétrico no fim de um ciclo de corte	FF-26	Não acionar freio do motor elétrico no fim de um ciclo de corte
F-21	Liberar freio do motor elétrico no início de um ciclo de corte	FF-27	Não liberar freio do motor elétrico no início de um ciclo de corte
F-22	Codificar e executar comandos de maneira correta	FF-28	Não codificar e executar comandos de maneira correta
F-23	Garantir correta atuação do sistema pneumático de acionamento do Alinhador	FF-29	Não garantir correta atuação do sistema pneumático de acionamento do Alinhador
F-24	Garantir correta atuação do sistema hidráulico do Prendedor	FF-30	Não garantir correta atuação do sistema hidráulico do Prendedor
F-25	Assegurar a correta montagem e fixação dos suportes de Faca no equipamento	FF-31	Não assegurar a correta montagem e fixação dos suportes de Faca no equipamento

APÊNDICE C – FMEAs dos subsistemas/componentes analisados

<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">MCC</div> <div style="text-align: center;"> <h3>Análise dos Modos e Efeitos de Falha</h3> <h3>FMEA</h3> </div> </div>							
Sistema: Tesoura a Frio S/C: S/C - 20 e S/C - 21 Descrição: Facas Inferior e Superior				Data FMEA (Orig.): nov/21 Nº Rev. Data: 0 Preparado Por: Equipe Laminação			
Função:							
Cortar barras laminadas através de um corte por cisalhamento sem que haja defeitos de corte							
Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Consequências da Falha	RPN
1. Gume de corte com desgaste excessivo	7	Tonelagem de material processado acima do ideal	6	Defeitos de corte; Aumento da carga de trabalho; Redução de vida útil; Perda de resistência mecânica; Alteração da geometria do canal.	4	Ocorrência de perdas e/ou retrabalhos do material processado; Possível inutilização da ferramenta de corte; Aumento do número de reafiações da Faca; Parada de produção não planejada para execução de troca da (s) Faca (s).	168
		Alta ocorrência de cortes com material fora da faixa de temperatura ideal					
		Dureza da Faca abaixo do especificado (54 a 56 HRC)					
		Presença de sujeira e/ou contaminantes no gume de corte					
		Manuseio incorreto					
		Reafiação inadequada					
2. Superfícies da base e lateral com desgaste excessivo e/ou avarias	7	Danificação das superfícies por partículas abrasivas, contaminantes e sujeiras prensadas nas interfaces Suporte-Faca e/ou Calço-Faca	5	Conformidade do <i>setup</i> da máquina e operação de montagem de Facas prejudicados, principalmente no que diz respeito à assegurar o correto ajuste da folga entre Facas de acordo com a faixa recomendada de 0.2 a 0.3 mm e ao paralelismo transversal entre Facas; Cruzamento entre Facas pode ser prejudicado em caso de desvios na base da ferramenta; Redução da vida útil dos componentes; Riscos à qualidade de corte.	4	Possível parada de produção para adequação de folgas; Carga de trabalho poderá ser aumentada em caso de geração de folga excessiva proveniente da falha; Será necessário realizar a troca da Faca em caso de desgaste e/ou avaria não admissível nas superfícies; A falha poderá aumentar a taxa de desgaste das superfícies de assento do Suporte de Faca.	140
		Suporte com assentos desgastados					
		Manuseio incorreto					
		Armazenamento da Faca não adequado					
		Limpeza e lubrificação de rotina ineficientes					
Contaminação oriunda do processo							

MCC**Análise dos Modos e Efeitos de Falha
FMEA**

Sistema: Tesoura a Frio

Data FMEA (Orig.): nov/21

S/C: S/C - 20 e S/C - 21

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Facas Inferior e Superior

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Cortar barras laminadas através de um corte por cisalhamento sem que haja defeitos de corte

Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Consequências da Falha	RPN
3. Ocorrência de avarias (lascamento, trinca ou quebra)	9	Faca operando em fim de vida útil	4	Defeitos de corte; Perda de resistência mecânica; Diminuição de vida útil.	5	Ocorrência de perdas e/ou retrabalhos do material processado;	180
		Alta ocorrência de cortes com material fora da faixa de temperatura ideal					
		Dureza da Faca abaixo do especificado (54 a 56 HRC)					
		Montagem no Suporte de Faca com torque dos parafusos incorreto					
4. Colisão de Facas em corte	8	Ajuste de folga entre Facas incorreto	6	Defeitos de corte; Alteração das características mecânicas da Faca; Avarias; Diminuição de vida útil.	4	Ocorrência de perdas e/ou retrabalhos do material processado;	192
		Falta de paralelismo logitudinal					
		Falta de paralelismo transversal					
5. Faca com baixa resistência mecânica	8	Defeito de fabricação	2	Defeitos de corte; Aumento da taxa de desgaste; Diminuição de vida útil.	2	Ocorrência de perdas e/ou retrabalhos do material processado;	32
		Espessura máxima de remoção de material em reafiação excedida					
		Reafiação inadequada					
		Faca com avaria					

MCC**Análise dos Modos e Efeitos de Falha
FMEA**

Sistema: Tesoura a Frio

Data FMEA (Orig.): nov/21

S/C: S/C - 9 e S/C - 6

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Conjunto Excêntrico da Tesoura

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Transformar o movimento giratório do Eixo Excêntrico de Acionamento em movimento linear suave do Trenó de Escorregamento de maneira eficiente para fazer com que a Faca Superior possa executar um ciclo de corte sem instabilidades e com precisão

Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Consequências da Falha	RPN
1. Escorregamento do Trenó dificultado ou não suave	8	Folga incorreta das superfícies guia e Trenó	4	Instabilidade da operação de corte; Defeitos de corte; Aumento da taxa de desgaste dos componentes; Perda de energia convertida em trabalho no equipamento devido aumento do atrito.	5	Diminuição da produtividade; Redução da vida útil de componentes; Possibilidade de perdas e/ou retrabalhos do material em processamento; Risco de danos de alto custo econômico ao sistema da Tesoura.	160
		Lubrificação de graxa insuficiente ou inadequada					
		Contaminação da graxa lubrificante					
		Marcas mecânicas nas superfícies guia (<i>seizure</i>) devido desgaste abrasivo entre os componentes ou partículas contaminantes					
		Integridade das bronzinas e buchas comprometida, desgaste excessivo das bronzinas e buchas					
		Folga incorreta das buchas do mancais de deslizamento e Eixo Excêntrico					
		Folga incorreta das buchas das bielas e Eixo Excêntrico					
Erro de características dimensionais dos elementos (defeito fabricação)							
2. Superaquecimento da cabeça das bielas	7	Lubrificação de graxa insuficiente ou inadequada	1	Desgaste prematuro devido exposição à gradiente térmico; Mudança das características do lubrificante; Instabilidades; Defeitos de corte.	7	Diminuição da produtividade; Redução de vida útil; Possibilidade de perdas e/ou retrabalhos do material em processamento; Risco de danos de alto custo econômico ao sistema da Tesoura.	49
		Buchas de bronze com desgaste excessivo ou defeitos de lascamento, arrancamento de material					
		Contaminação da graxa lubrificante					

MCC							
Análise dos Modos e Efeitos de Falha							
FMEA							
Sistema: Tesoura a Frio				Data FMEA (Orig.): nov/21			
S/C: S/C - 9 e S/C - 6				Nº Rev. Data: 0			
Descrição: Conjunto Excêntrico da Tesoura				Preparado Por: Equipe Laminação			
Função:							
Transformar o movimento giratório do Eixo Excêntrico de Acionamento em movimento linear suave do Trenó de Escorregamento de maneira eficiente para fazer com que a Faca Superior possa executar um ciclo de corte sem instabilidades e com precisão							
Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Consequências da Falha	RPN
3. Superaquecimento dos mancais de deslizamento do Eixo Excêntrico	7	Desgaste ou defeito mecânico na superfície das buchas	1	Desgaste prematuro devido exposição à gradiente térmico;	7	Diminuição da produtividade;	49
		Lubrificação de graxa insuficiente ou inadequada		Mudança das características do lubrificante;		Possibilidade de perdas e/ou retrabalhos do material em processamento;	
		Contaminação da graxa lubrificante		Redução de vida útil; Instabilidades; Defeitos de corte.		Risco de danos de alto custo econômico ao sistema da Tesoura.	
4. Falha estrutural das bielas (deformação, trinca, fissura)	10	Carregamento excessivo	1	Possibilidade de falha catastrófica do sistema;	1	Parada completa da linha até reestabelecimento da condição ideal da máquina;	10
		Adentramento de corpo estranho no mecanismo		Geração de instabilidades;		Prejuízos extremos relacionados ao equipamento e ao negócio;	
		Erro de montagem		Disrupção da lubrificação do sistema.		Risco de acidente.	
5. Corrosão dos componentes	9	Lubrificação de graxa insuficiente ou inadequada	3	Instabilidade da operação de corte;	5	Diminuição da produtividade;	135
		Contaminação da graxa lubrificante		Defeitos de corte;		Redução da vida útil de componentes;	
		Contaminação oriunda do processo ou do ambiente		Aumento do desgaste de componentes; Contaminação do fluido lubrificante; Perda de energia convertida em trabalho no equipamento devido aumento do atrito.		Possibilidade de perdas e/ou retrabalhos do material em processamento; Risco de danos de alto custo econômico ao sistema da Tesoura.	

<p>MCC Análise dos Modos e Efeitos de Falha</p> <p style="text-align: center;">FMEA</p> <p>Sistema: Tesoura a Frio Data FMEA (Orig.): nov/21</p> <p>S/C: S/C - 25 Nº Rev. Data: 0</p> <p>Descrição: Sistema de Lubrificação Preparado Por: Equipe Laminação</p> <p style="text-align: center;">Função:</p>							
Fornecer o lubrificante no momento, local e quantidade adequados para as superfícies de fricção da Tesoura a Frio.							
Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Conseqüências da Falha	RPN
1. Interrupção do sistema de lubrificação a óleo	9	Falha da bomba de alimentação e circulação de lubrificante	2	Perca gradual e acelerada de funcionalidade da máquina; Geração de instabilidades; Aumento do desgaste dos componentes.	2	Parada de produção por tempo a depender dos danos causados pela falha;	36
		Nível de fluido no reservatório abaixo do mínimo ou esgotado				Possibilidade de perda funcional completa de todo o equipamento ou de certas partes, sendo necessária sua substituição caso ocorrer;	
		Quebra de flanges e/ou conexões				Risco de altos prejuízos financeiros relacionados ao equipamento e também ao produto em linha;	
		Falha das válvulas controladoras				Redução de vida útil de componentes.	
		Rompimento da linha de alimentação e circulação de lubrificante					
		Quebra dos bocais de pulverização de óleo lubrificante					
2. Interrupção do sistema de engraxamento	9	Falha da bomba de alimentação da central de engraxamento	2	Perca gradual e acelerada de funcionalidade da máquina; Geração de instabilidade; Aumento do desgaste dos componentes.	2	Parada de produção por tempo a depender dos danos causados pela falha;	36
		Falha do sistema controlador de ciclos de lubrificação				Possibilidade de perda funcional completa de todo o equipamento ou de certas partes, sendo necessária sua substituição caso ocorrer.	
		Nível de fluido no reservatório abaixo do mínimo ou esgotado				Risco de altos prejuízos financeiros relacionados ao equipamento e também ao produto em linha.	
		Quebra de flanges e/ou conexões					
		Falha das válvulas controladoras de fluxo e ciclos					
		Rompimento da linha de alimentação e circulação de lubrificante					
		Falha dos distribuidores de fluido lubrificante					
		Falha dos dosadores de graxa lubrificante					

MCC**Análise dos Modos e Efeitos de Falha
FMEA**

Sistema: Tesoura a Frio

Data FMEA (Orig.): nov/21

S/C: S/C - 25

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Sistema de Lubrificação

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Fornecer o lubrificante no momento, local e quantidade adequados para as superfícies de fricção da Tesoura a Frio.

Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Consequências da Falha	RPN
3. Perda repentina de volume de lubrificante (óleo e graxa)	7	Vazamentos nas linhas de alimentação e distribuição (fixas e flexíveis) e em outras partes do sistema - reservatório, bombas, válvulas	4	Deficiência de lubrificação das superfícies de fricção da Tesoura;	4	Parada de produção por período a depender do tempo para restabelecer a condição ideal do sistema;	112
		Falha das vedações (anéis, juntas) dos tubos e conexões		Diminuição da eficiência da máquina;		Risco de prejuízos financeiros correlatos ao custo de reparo e diminuição da performance da máquina causados pela falha;	
		Afrouxamento dos elementos de fixação das vedações dos tubos e conexões		Aumento da taxa de desgaste dos componentes;		Risco de contaminação do meio ambiente interno e externo;	
4. Quantidade de óleo lubrificante dispensada abaixo do ideal	7	Obstrução ou colapso das linhas, distribuidores, válvulas, bicos pulverizadores de óleo	2	Deficiência de lubrificação das engrenagens e rolamentos de rolos da Tesoura;	7	Parada de produção por período a depender do tempo para restabelecer a condição ideal do sistema;	98
		Velocidade de operação alterada		Diminuição da eficiência da máquina;		Risco de prejuízos financeiros correlatos ao custo de reparo e diminuição da performance da máquina causados pela falha;	
		Desgaste da bomba		Aumento da taxa de desgaste dos componentes;		Possível geração de falha oculta.	
		Vazamentos nos tubos e conexões da linha de alimentação e distribuição de óleo		Redução de vida útil dos componentes.			

MCC		Análise dos Modos e Efeitos de Falha					FMEA
Sistema: Tesoura a Frio		Data FMEA (Orig.): nov/21					
S/C: S/C - 25		Nº Rev. Data: 0					
Descrição: Sistema de Lubrificação		Preparado Por: Equipe Laminação					
Função:							
Fornecer o lubrificante no momento, local e quantidade adequados para as superfícies de fricção da Tesoura a Frio.							
Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Conseqüências da Falha	RPN
5. Quantidade de graxa fornecida abaixo do ideal	7	Obstrução ou colapso das linhas, distribuidores, válvulas, dosadores de graxa	3	Deficiência de lubrificação do Conjunto Excêntrico, elementos do Porta-Faca e Suporte de Navalha da Tesoura; Diminuição da eficiência da máquina; Aumento da taxa de desgaste dos componentes.	7	Parada de produção por período a depender do tempo para restabelecer a condição ideal do sistema;	147
		Ciclo de lubrificação alterado				Risco de prejuízos financeiros correlatos ao custo de reparo e diminuição da performance da máquina causados pela falha;	
		Desgaste da bomba				Possível geração de falha oculta;	
		Vazamentos nos tubos e conexões da linha de alimentação e distribuição				Redução de vida útil dos componentes.	
6. Quantidade de lubrificante dispensada acima do ideal (óleo e graxa)	6	Configurações de operação do sistema de alimentação e repartição de fluido lubrificante alteradas	2	Aumento do risco de contaminação do lubrificante; Perdas do lubrificante devido excesso; Contaminação de outras partes do equipamento, como Facas, e até mesmo o próprio produto em linha.	6	Aumento de custos sem retorno com lubrificante e desperdícios;	72
		Alteração das características do lubrificante devido à temperatura				Possível perda do material em linha devido contaminação; Contaminação do meio ambiente interno/externo; Risco de acidente.	

<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">MCC</div> <div style="text-align: center;"> <h2 style="margin: 0;">Análise dos Modos e Efeitos de Falha</h2> <h3 style="margin: 0;">FMEA</h3> </div> </div>							
Sistema: Tesoura a Frio			Data FMEA (Orig.): nov/21				
S/C: S/C - 25			Nº Rev. Data: 0				
Descrição: Sistema de Lubrificação			Preparado Por: Equipe Laminação				
Função:							
Fornecer o lubrificante no momento, local e quantidade adequados para as superfícies de fricção da Tesoura a Frio.							
Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Conseqüências da Falha	RPN
7. Alta pressão na linha	5	Filtros entupidos	2	Possível perda de lubrificação em pontos da máquina; Aumento do desgaste dos componentes provocado pela dificuldade de fornecimento de lubrificante às partes em fricção; Diminuição da eficiência da máquina.	5	Parada de produção por período a depender do tempo para restabelecer a condição ideal do sistema; Redução de vida útil dos componentes; Possível geração de defeitos estruturais das linhas de alimentação e distribuição de lubrificante, bem como de elementos de vedação e fixação; Contribuição para criação de pontos passíveis de vazamento; Bom funcionamento dos elementos da Tesoura prejudicado.	50
		Tubos deformados, mangueiras dobradas					
		Obstrução das linhas de alimentação e circulação de fluido					
		Emprego de lubrificante com grau inadequado					
		Mangueiras e tubos instalados de maneira inadequada					
		Contaminação do lubrificante					
Configurações de operação do sistema de alimentação e repartição de fluido lubrificante alteradas							
8. Baixa pressão na linha	5	Bomba não escorvada	3	Possível perda de lubrificação em pontos da máquina; Aumento do desgaste dos componentes provocado pela deficiência do fornecimento de lubrificante às partes em fricção; Diminuição da eficiência da máquina.	5	Parada de produção por período a depender do tempo para restabelecer a condição ideal do sistema; Redução da vida útil dos componentes; Possibilidade de falha repentina da máquina.	75
		Falha intermitente da bomba					
		Presença de bolhas de ar nas linhas, principalmente nos locais onde há medidores					
		Nível de fluido no reservatório abaixo do adequado					
		Vazamentos no sistema em geral (linhas, conexões, válvulas, etc)					
		Emprego de lubrificante com grau inadequado					
Configurações de operação do sistema de alimentação e repartição de fluido lubrificante alteradas							

MCC**Análise dos Modos e Efeitos de Falha
FMEA**

Sistema: Tesoura a Frio

Data FMEA (Orig.): nov/21

S/C: S/C - 25

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Sistema de Lubrificação

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Fornecer o lubrificante no momento, local e quantidade adequados para as superfícies de fricção da Tesoura a Frio.

Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Consequências da Falha	RPN
9. Graxa lubrificante não entregue no momento adequado	7	Motobomba ineficiente	3	Lubrificação das partes móveis responsáveis pela movimentação da ferramenta de corte móvel prejudicada; Perda de eficiência do equipamento; Aumento da taxa de desgaste dos componentes.	7	Redução da vida útil dos componentes; Parada de produção até o restabelecimento do funcionamento ideal do sistema; Possibilidade de falhas de alto custo de reparo; Possível prejuízo ao produto em processamento.	147
		Pressão de calibragem da bomba e das chaves de limite de pressão inadequadas					
		Ciclo de lubrificação incorreto ou alterado					
		Sistema alimentador de graxa ineficiente					
		Falha do pressostato					
10. Graxa lubrificante dispensada em local não adequado	7	Dosadores de graxa inadequados	2	Lubrificação das partes móveis responsáveis pela movimentação da ferramenta de corte móvel prejudicada; Perda de eficiência do equipamento; Aumento da taxa de desgaste dos componentes.	7	Redução da vida útil dos componentes; Risco de contaminação do meio ambiente interno/externo; Possibilidade de falhas de alto custo de reparo; Possível prejuízo ao produto em processamento.	98
		Direção de despejo de graxa lubrificante alterada devido deformações e/ou erro de montagem dos dosadores ou bloqueio por corpo estranho					
11. Óleo lubrificante dispensado em local não adequado	7	Bicos pulverizadores inadequados	4	Lubrificação das partes móveis responsáveis pela transmissão de movimento do motor ao Eixo Excêntrico prejudicada; Perda de eficiência do equipamento; Aumento da taxa de desgaste dos componentes.	7	Redução da vida útil dos componentes; Risco de contaminação do meio ambiente interno/externo; Possibilidade de falhas de alto custo de reparo; Possível prejuízo ao produto em processamento.	196
		Alteração da direção de pulverização de óleo dos bicos devido a deformações e/ou erro de montagem ou bloqueio por corpo estranho					

MCC		Análise dos Modos e Efeitos de Falha FMEA					
Sistema: Tesoura a Frio		Data FMEA (Orig.): nov/21					
S/C: S/C - 25		Nº Rev. Data: 0					
Descrição: Sistema de Lubrificação		Preparado Por: Equipe Laminação					
Função:							
Fornecer o lubrificante no momento, local e quantidade adequados para as superfícies de fricção da Tesoura a Frio.							
Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Consequências da Falha	RPN
12. Lubrificante com características inadequadas ou alteradas	8	Viscosidade do lubrificante não apropriada	5	Alteração do fluxo de lubrificante; Aumento do arrasto; Redução da eficiência de lubrificação; Prejuízos à eficiência da máquina; Aumento da taxa de desgaste ou contaminação dos materiais dos componentes; Geração de instabilidades durante operação da máquina.	3	Parada de produção por tempo a depender dos danos causados pela falha; Possibilidade de prejuízos causados pelo custo de reparo de componentes e/ou substituição completo do lubrificante; Risco de altos prejuízos financeiros relacionados ao produto em linha.	120
		Contaminação do lubrificante por umidade					
		Práticas de lavagem da máquina inapropriadas ou ineficientes					
		Vedações inadequadas no equipamento					
		Depleção ou esgotamento de aditivos por: "decomposição" ou quebra, "adsorção" em superfícies de metal, partículas de água e "separação" devido à sedimentação ou filtração					
		Armazenamento externo (almoxarifado, área) e/ou interno (reservatório, recirculação) do lubrificante inapropriado					
		Contaminação do lubrificante por ação do ambiente					
		Contaminação do lubrificante por particulado de desgaste dos componentes da máquina					
		Filtragem do lubrificante ineficiente					
		Oxidação do fluido lubrificante					
		Respiradores de ventilação inadequados					
		Contaminação do lubrificante oriundas de intervenção de manutenção, operação					
		Práticas de substituição do lubrificante com intervalos inadequados					
		Emprego de lubrificante com grau inadequado para a aplicação					
Aditivos inapropriados ou ineficientes							

MCC							
Análise dos Modos e Efeitos de Falha							
FMEA							
Sistema: Tesoura a Frio				Data FMEA (Orig.): nov/21			
S/C: S/C - 25				Nº Rev. Data: 0			
Descrição: Sistema de Lubrificação				Preparado Por: Equipe Laminação			
Função:							
Fornecer o lubrificante no momento, local e quantidade adequados para as superfícies de fricção da Tesoura a Frio.							
Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Consequências da Falha	RPN
13. Temperatura de abastecimento do óleo lubrificante não adequada	5	Falha do aquecedor do sistema de óleo	1	Lubrificação dos elementos da transmissão inadequada; Aumento da taxa de desgaste dos componentes.	2	Redução de vida útil dos elementos da transmissão; Perda de eficiência da máquina.	10
14. Sinais de alertas da central de engraxamento não funcionam	7	Falha do sinal de alarme acústico Falha elétrica ou de comunicação	2	Impossibilidade de ouvir o sinal de falhas sonoro	4	Riscos graves ao equipamento caso uma falha da central de graxa ocorrer e não puder ser detectada devido à falha do sinal de alerta	56
15. Mecanismos de medições do sistema instáveis ou inoperantes	7	Falha do indicador de fluxo Falha do manômetro Falha do pressostato Falha do medidor de pressão	3	Impossibilidade de verificar corretamente valores de medições pertinentes ao sistema, como fluxo de óleo e pressão da linha, ou valores de medição inexistentes	2	Possibilidade de avaliação inadequada das condições do sistema, ou de não avaliação; Riscos ao sistema da Tesoura como um todo devido ao não conhecimento das informações dos medidores.	42
16. Erros operacionais ou de manutenção	5	Falta de análise de óleo ou análise de óleo ineficiente Práticas de manutenção preventiva deficientes Emprego de lubrificante ou aditivos inadequados Contaminação do fluido lubrificante durante intervenção operacional ou de manutenção	5	Perca gradual de performance da máquina; Aumento do desgaste de componentes devido à lubrificação inadequada.	1	Produtividade prejudicada; Redução da vida útil dos componentes da máquina; Riscos ao produto em processamento.	25

MCC**Análise dos Modos e Efeitos de Falha
FMEA**

Sistema: Tesoura a Frio

Data FMEA (Orig.): nov/21

S/C: S/C - 16 e S/C - 17

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Conjuntos Suportes de Faca
Inferior e Superior

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Sustentar as Facas na Tesoura a Frio atuando em conjunto com os elementos de fixação e calços para assegurar que as ferramentas de corte se mantenham fixas em seus encostos, e que possam ser montadas com ajustes de folga corretos, servindo também como componente de intermédio entre as Facas e os Porta-Facas.

Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Consequências da Falha	RPN
1. Superfícies de encosto da base e lateral para a Faca com desgaste excessivo e/ou avarias	7	Danificação das superfícies por partículas abrasivas, contaminantes e sujeiras prensadas nas interfaces Suporte-Faca e/ou Calço-Suporte	5	Conformidade do <i>setup</i> da máquina e operação de montagem de Facas prejudicados, principalmente no que diz respeito à assegurar o correto ajuste da folga entre Facas de acordo com a faixa recomendada de 0.2 a 0.3 mm, ao cruzamento entre Facas e ao paralelismo transversal entre Facas;	3	Parada de produção para a adequação da folga entre Facas (caso necessário);	105
		Falta de práticas de manutenção preventiva periódica do Suporte		Redução da vida útil dos componentes;		Carga de trabalho poderá ser aumentada em caso de geração de folga excessiva proveniente da falha;	
		Manuseio incorreto		Riscos à qualidade de corte;		Será necessário realizar a troca do Suporte em caso de desgaste e/ou avaria não admissível nos assentos de Faca.	
		Armazenamento do Suporte não adequado		A falha poderá aumentar a taxa de desgaste das superfícies da base e laterais da Faca.			
		Limpeza e lubrificação de rotina ineficientes					
Contaminação oriunda do processo							
2. Base do Suporte irregular	9	Degradação por partículas abrasivas, contaminantes e sujeiras presentes na base do encaixe tipo "rabo de andorinha" do Porta-Faca e/ou na base do Suporte	6	Conformidade do <i>setup</i> da máquina e operação de montagem de Facas prejudicados, principalmente no que diz respeito à assegurar o correto ajuste cruzamento entre Facas de acordo com o valor mínimo recomendado de 5 mm e ao paralelismo longitudinal entre Facas;	3	Parada de produção para adequação da montagem (caso necessário);	162
		Emprego de calços irregulares e/ou com contaminantes, sujeiras e partículas		Redução da vida útil dos componentes;		Carga de trabalho poderá ser aumentada em caso de geração de folga excessiva proveniente da falha;	
		Falta de práticas de manutenção preventiva periódica do Suporte		Riscos à qualidade de corte;		Será necessário realizar a troca do Suporte em caso de desgaste e/ou avaria não admissível na base.	
		Manuseio incorreto		Aumento da taxa de desgaste da base do encaixe tipo rabo de andorinha do Porta-Faca.			
		Armazenamento do Suporte não adequado					
Limpeza e lubrificação de rotina ineficientes							
Contaminação oriunda do processo							

MCC**Análise dos Modos e Efeitos de Falha
FMEA**

Sistema: Tesoura a Frio

Data FMEA (Orig.): nov/21

S/C: S/C - 16 e S/C - 17

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Conjuntos Suportes de Faca
Inferior e Superior

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Sustentar as Facas na Tesoura a Frio atuando em conjunto com os elementos de fixação e calços para assegurar que as ferramentas de corte se mantenham fixas em seus encostos, e que possam ser montadas com ajustes de folga corretos, servindo também como componente de intermédio entre as Facas e os Porta-Facas.

Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Consequências da Falha	RPN
3. Faces inclinadas do Suporte com desvios superficiais	8	Degradação por partículas abrasivas, contaminantes e sujeiras na face inclinada do encaixe tipo rabo de andorinha do Porta-Faca e/ou nas faces inclinadas do Suporte	6	Conformidade do setup da máquina e operação de montagem de Facas prejudicados, principalmente no que diz respeito à assegurar o correto ajuste da folga entre Facas de acordo com a faixa recomendada de 0.2 a 0.3 mm e ao paralelismo transversal entre Facas;	3	Possibilidade da ocorrência de defeitos de corte acentuada;	144
		Falta de práticas de manutenção preventiva periódica do Suporte		Redução da vida útil dos componentes;		Carga de trabalho poderá ser aumentada em caso de geração de folga excessiva proveniente da falha;	
		Manuseio incorreto		Riscos à qualidade de corte;		Será necessário realizar a troca do Suporte em caso de desgaste e/ou avaria não admissível nas faces inclinadas.	
		Armazenamento do Suporte não adequado		Aumento de vibração;			
		Limpeza e lubrificação de rotina ineficientes		Aumento da taxa de desgaste das faces inclinadas do encaixe tipo rabo de andorinha do Porta-Faca.			
4. Raio de alívio do Suporte inadequado	5	Desgradação proveniente do uso	2	Aumento da taxa de desgaste dos componentes e da não conformidade de montagem do conjunto.	4	Possível concentrador de tensão em caso de raio menor;	40
		Defeito de fabricação				Ponto propício para acumulação de impurezas em caso de raio maior.	
		Usinagem de recuperação do suporte incorreta					
5. Falha dos elementos de fixação	10	Carregamento excessivo	1	Danos ao conjunto como um todo, principalmente aos periféricos ao Suporte, devido à instabilidade causada pela falha e aos altos esforços envolvidos na operação de corte;	2	Possibilidade de inutilização de peças e componentes devido à ocorrência da falha;	20
		Fadiga				Parada de produção não planejada por período de tempo a depender dos efeitos do evento;	
		Falta de práticas de manutenção preventiva periódica do Suporte				Possibilidade de acidentes.	
		Contaminação oriunda do processo					
		Lubrificação e limpeza de rotina ineficientes					
Torque de montagem das Facas não adequado							

MCC**Análise dos Modos e Efeitos de Falha
FMEA**

Sistema: Tesoura a Frio

Data FMEA (Orig.): nov/21

S/C: S/C – 10 e S/C – 11

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Conjuntos Porta-Faca Inferior e Superior

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Possibilitar montagem do Suporte de Faca na máquina e realizar travamento do mesmo num encaixe tipo rabo de andorinha através da atuação de um conjunto de 6 *clamps* hidráulicos com pressão de trabalho de 100 bar, molas prato e helicoidais e parafusos de fixação, assegurando que o Suporte que sustenta a Navalha se mantenha estático durante a operação da Tesoura a Frio; Liberar travamento mediante a uma pressão de 120 bar.

Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Consequências da Falha	RPN
1. Superfície da base do encaixe rabo de andorinha com desgaste excessivo e/ou avarias	7	Danificação da superfície por partículas abrasivas, contaminantes e sujeiras prensadas na interface Suporte-Base	6	Conformidade do <i>setup</i> da máquina e operação de troca de Facas prejudicados, principalmente no que diz respeito à assegurar o correto ajuste da folga entre Facas de acordo com a faixa recomendada de 0.2 a 0.3 mm, ao cruzamento entre Facas e ao paralelismo transversal entre Facas;	2	Parada de produção para a adequação da folga entre Facas (caso necessário);	84
		Falta de práticas de manutenção preventiva periódica do Suporte e da base do encaixe rabo de andorinha		Redução da vida útil dos componentes;		Carga de trabalho poderá ser aumentada em caso de geração de folga excessiva proveniente da falha;	
		Limpeza e lubrificação de rotina ineficientes		Riscos à qualidade de corte;		Será necessário realizar a troca de elementos do encaixe rabo de andorinha em caso de desgaste e/ou avaria não admissível, acarretando em aumento de custos.	
		Contaminação oriunda do processo		A falha poderá aumentar a taxa de desgaste das superfícies da base e laterais da Faca.			
		Carregamento excessivo					
		Montagem inadequada					
2. Superfície inclinada do encaixe rabo de andorinha com desgaste excessivo e/ou avarias	7	Degradação por partículas abrasivas, contaminantes e sujeiras na face inclinada do encaixe tipo rabo de andorinha do Porta-Faca e/ou nas faces inclinadas do Suporte	4	Conformidade do <i>setup</i> da máquina e operação de Troca de Facas prejudicados, principalmente no que diz respeito à assegurar o correto ajuste da folga entre Facas de acordo com a faixa recomendada de 0.2 a 0.3 mm, ao cruzamento entre Facas e ao paralelismo transversal entre Facas;	2	Possibilidade da ocorrência de defeitos de corte acentuada;	56
		Falta de práticas de manutenção preventiva periódica		Redução da vida útil dos componentes;		Carga de trabalho poderá ser aumentada em caso de geração de folga excessiva proveniente da falha;	
		Limpeza e lubrificação de rotina ineficientes		Riscos à qualidade de corte;		Será necessário realizar a troca da cunha do encaixe rabo de andorinha em caso de desgaste e/ou avaria não admissível nas faces inclinadas, acarretando em aumento de custos.	
		Contaminação oriunda do processo		Aumento de vibração.			

MCC**Análise dos Modos e Efeitos de Falha
FMEA**

Sistema: Tesoura a Frio

Data FMEA (Orig.): nov/21

S/C: S/C – 10 e S/C – 11

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Conjuntos Porta-Faca Inferior e Superior

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Possibilitar montagem do Suporte de Faca na máquina e realizar travamento do mesmo num encaixe tipo rabo de andorinha através da atuação de um conjunto de 6 *clamps* hidráulicos com pressão de trabalho de 100 bar, molas prato e helicoidais e parafusos de fixação, assegurando que o Suporte que sustenta a Navalha se mantenha estático durante a operação da Tesoura a Frio; Liberar travamento mediante a uma pressão de 120 bar.

Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Consequências da Falha	RPN
3. Falha de travamento e/ou destravamento do Suporte de Faca no encaixe rabo de andorinha	9	Travamento mecânico do sistema de <i>clamps</i> hidráulicos	3	Em caso de não destravamento do sistema ou falha de travamento do mesmo, será impossibilitada a execução de Troca de Facas; Caso haja travamento ineficiente, o sistema estará sujeito à instabilidades, vibrações e ajustes de folga incorretos, o que pode provocar defeitos de corte e aumento de desgaste dos componentes da máquina.	2	Parada de produção até o restabelecimento do sistema; Poderá haver redução da vida útil dos componentes caso haja travamento ineficiente; Será necessário realizar a troca de elementos do encaixe rabo de andorinha em caso de desgaste e/ou avaria não admissível, acarretando em aumento de custos.	54
		Vazamento na linha de alimentação de óleo hidráulico dos <i>clamps</i>					
		Falha da vedação do sistema de óleo hidráulico					
		Linha de alimentação de óleo hidráulico obstruída					
		Falha do sistema de bombeamento e distribuição de óleo hidráulico					
		Contaminação do óleo hidráulico					
		Falha do distribuidor hidráulico					
		Falha da vedação dos cilindros hidráulicos do <i>clamps</i>					
		Falha da válvula solenoide					
		Quebra da mola helicoidal					
Pressão do óleo hidráulico inadequada							
4. Vibração excessiva e/ou instabilidades	8	Molas prato e helicoidais danificadas	3	Funcionamento irregular da máquina devido à propagação de vibrações; Possível afrouxamento de elementos de fixação; Defeitos de corte; Aumento do desgaste dos componentes.	4	Parada de produção até o restabelecimento do sistema; Poderá haver redução da vida útil dos componentes; Será necessário realizar a troca de elementos do encaixe rabo de andorinha em caso de desgaste e/ou avaria não admissível, acarretando em aumento de custos.	96
		Lubrificação inadequada					
		Contaminação do sistema por particulado abrasivo					
		Falta de práticas de manutenção preventiva periódica					
		Carregamento excessivo					
		Montagem inadequada					
5. Falha dos elementos de fixação	10	Falha por fadiga	1	Falha catastrófica do sistema	1	Prejuízos extremos ao sistema da máquina e financeiros; Risco de acidentes.	10
		Carregamento excessivo					
		Falta de práticas de manutenção preventiva					
		Montagem inadequada					

MCC**Análise dos Modos e Efeitos de Falha
FMEA**

Sistema: Tesoura a Frio

Data FMEA (Orig.): nov/21

S/C: S/C - 12

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Conjunto Prendedor

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Prender barras laminadas contra a Mesa de Rolos da Tesoura a Frio antes que a Faca Superior inicie o contato com o material, garantindo que este esteja preso e firme para realização do corte e servindo de sistema auxiliar para a obtenção de um corte sem irregularidades e/ou instabilidades

Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Consequências da Falha	RPN
1. Não acionamento do Prendedor (avanço e/ou recuo)	10	Falha do sistema de alimentação de óleo hidráulico: bombas, válvulas, vedações, tubulações e conexões Falha do cilindro hidráulico: conexões, vedações, haste, camisa/corpo do cilindro, olhal superior e inferior Quebra dos elementos de transmissão de movimento Falha de controle e instrumentação Travamento do sistema de transmissão: atrito excessivo, impedimento por corpo estranho, desalinhamento, interferências	2	Interrupção completa do processamento de material laminado devido à não atuação do Prendedor	1	Alto risco de perdas e/ou retrabalhos do material em linha; Parada de produção até o restabelecimento do sistema.	20
2. Velocidade de avanço e/ou recuo mais rápida que o adequado	6	Vazão de óleo hidráulico excessiva Temperatura do óleo acima do adequado (diminuição de viscosidade) Emprego de óleo hidráulico com propriedades inadequadas para às condições de operação do equipamento	2	Falha de sequenciamento de operações do processo, principalmente entre o conjunto Prendedor/Aferidor/Tesoura a Frio; Possíveis problemas de corte envolvendo comprimento de corte incorreto e defeitos de corte.	4	Alto risco de perdas e/ou retrabalhos do material em linha; Parada de produção até o restabelecimento do funcionamento ideal do sistema.	48
3. Velocidade de avanço e/ou recuo mais lenta que o adequado	6	Vazão de óleo hidráulico insuficiente Temperatura do óleo abaixo do adequado (aumento de viscosidade) Vazamentos na linha hidráulica Emprego de óleo hidráulico com propriedades inadequadas para às condições de operação do equipamento	2	Falha de sequenciamento de operações do processo, principalmente entre o conjunto Prendedor/Aferidor/Tesoura a Frio; Possíveis problemas de corte envolvendo comprimento de corte incorreto e defeitos de corte.	4	Alto risco de perdas e/ou retrabalhos do material em linha; Parada de produção até o restabelecimento do funcionamento ideal do sistema.	48

MCC							
Análise dos Modos e Efeitos de Falha							
FMEA							
Sistema: Tesoura a Frio				Data FMEA (Orig.): nov/21			
S/C: S/C - 12				Nº Rev. Data: 0			
Descrição: Conjunto Prendedor				Preparado Por: Equipe Laminação			
Função:							
Prender barras laminadas contra a Mesa de Rolos da Tesoura a Frio antes que a Faca Superior inicie o contato com o material, garantindo que este esteja preso e firme para realização do corte e servindo de sistema auxiliar para a obtenção de um corte sem irregularidades e/ou instabilidades							
Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Consequências da Falha	RPN
4. Pressão exercida sobre o material excessiva	5	Falha do sistema de proximidade indutivo	2	Possível ocorrência de defeitos superficiais nas barras; Riscos à qualidade de corte devido ao possível empenamento do corpo do material causado pela falha; Aumento de esforços mecânicos atuantes na máquina; Risco de projeção de material.	3	Alto risco de perdas e/ou retrabalhos do material em linha; Parada de produção até o restabelecimento do funcionamento ideal do sistema; Risco de acidentes.	30
		Pressão de óleo hidráulico excedente					
		Falha do acumulador hidráulico					
5. Pressão exercida sobre o material insuficiente	5	Falha do sistema de proximidade indutivo	2	Possível ocorrência de defeitos superficiais nas barras; Riscos à qualidade de corte devido ao aumento ao material não estar firme durante o corte e sujeito à deslocamentos; Aumento de vibrações durante o corte; Risco de projeção de material.	3	Alto risco de perdas e/ou retrabalhos do material em linha; Parada de produção até o restabelecimento do funcionamento ideal do sistema; Risco de acidentes.	30
		Pressão de óleo hidráulico deficiente					
		Vazamentos na linha hidráulica					
		Falha do acumulador hidráulico					
6. Prendedor avança antes/depois do momento adequado	7	Falha de controle e instrumentação: sequenciamento de operações	3	Geração de condições de corte inadequadas: a falha irá fazer com que não seja possível garantir que o material esteja preso no momento do corte; Risco à qualidade do material (comprimento incorreto e defeitos de corte).	2	Alto risco de perdas e/ou retrabalhos do material em linha; Parada de produção até o restabelecimento do sistema.	42
		Vazamentos na linha hidráulica					

MCC**Análise dos Modos e Efeitos de Falha
FMEA**

Sistema: Tesoura a Frio

Data FMEA (Orig.): nov/21

S/C: S/C - 12

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Conjunto Prendedor

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Prender barras laminadas contra a Mesa de Rolos da Tesoura a Frio antes que a Faca Superior inicie o contato com o material, garantindo que este esteja preso e firme para realização do corte e servindo de sistema auxiliar para a obtenção de um corte sem irregularidades e/ou instabilidades

Modo de Falha	SEVERIDADE (1 - 10)	Causa da Falha	OCORRÊNCIA (1 - 10)	Efeito da Falha	DETECÇÃO (1 - 10)	Consequências da Falha	RPN
7. Atuação do Prendedor provocando marcas superficiais no material laminado	6	Base de contato do prendedor com defeitos superficiais: fissuras, riscos, incrustações, trincas, avarias	3	Prejuízos à qualidade superficial do produto	2	Risco de perdas e/ou retrabalhos do material processado;	36
		Contaminação oriunda do processo				Parada de produção até o restabelecimento do funcionamento ideal do sistema.	
		Desgaste excessivo da base de contato do Prendedor					
		Práticas de manutenção preventiva periódica do Prendedor ineficientes ou inexistentes					
8. Prendedor empurrando barras para frente	7	Alteração da trajetória de avanço do prendedor devido à folgas nos elementos de transmissão ou alteração incorreta de seus componentes	5	Defeitos de corte; Possível ocorrência de variação indesejada do comprimento de corte; Agressão às Facas caso haja sobra de material sobre a Mesa da Tesoura que seja empurrada, prendida e tenha sua uma pequena porção de sua extremidade cortada.	3	Risco de perdas e/ou retrabalhos do material processado;	105
		Falha do sistema de proximidade indutivo				Parada de produção até o restabelecimento do funcionamento ideal do sistema; Possível redução da vida útil de componentes.	
9. Movimentação não suave	5	Lubrificação inadequada do mecanismo de transmissão (roletes e mancais de deslizamento) e olhais do cilindro acionador	6	Aumento da taxa de desgaste dos componentes; Redução de vida útil; Alteração do ritmo de operação do Prendedor; Aumento de instabilidade e vibrações; Risco de defeitos superficiais no material laminado.	2	Aumento da chance de haver necessidade de intervenção não programada no equipamento caso a falha se agrave;	60
		Presença de partículas e/ou contaminantes em partes do mecanismo de transmissão				Ritmo de produção afetado negativamente;	
		Desgaste excessivo do mecanismo de transmissão				Possível ocorrência de perdas e/ou retrabalhos do material.	
		Falha do sistema hidráulico					
		Ação agressiva do ambiente					

APÊNDICE D – Planilhas de seleção de tarefas

MCC												Planilha de seleção de tarefas		
Sistema: Tesoura a Frio						Data elaboração: nov/21								
S/C: S/C - 25						Nº Rev. Data: 0								
Descrição: Sistema de Lubrificação						Preparado Por: Equipe Laminação								
Função:														
Fornecer o lubrificante no momento, local e quantidade adequados para as superfícies de fricção da Tesoura a Frio.														
Modo de Falha	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	Item (MF.A)	Ações Propostas	Frequência	
1. Interrupção do sistema de lubrificação a óleo	N	N	-	-	S	S	X				1.1	Revisão mecânica e elétrica preventiva das bombas do sistema de alimentação e recirculação de óleo.	Anual	
	N	S	S	X							1.2	Executar análise de vibração dos rolamentos do conjunto de bombas do sistema de alimentação e recirculação de óleo lubrificante.	Trimestral	
	N	N	-	-	S	S	X				1.3	Inspeccionar visualmente as conexões, tubulações e mangueiras dos sistemas de distribuição e retorno quanto a linhas danificadas, vazamentos, entupimento ou torções.	Semanal	
	N	N	-	-	S	S	X				1.4	Inspeccionar visualmente o nível de óleo do reservatório e registrar. Restaurar o nível, caso necessário, e garantir não contaminação da graxa durante esta atividade.	Diário	
	N	N	-	-	S	S	X				1.5	Inspeccionar visualmente as válvulas controladoras quanto a presença de pontos de vazamento e anomalias.	Semanal	
	N	N	-	-	S	S	X				1.6	Inspeccionar visualmente as linhas de distribuição entre os dispositivos de medição e os pontos de lubrificação quanto a vazamentos ou danos.	Semanal	
	N	N	-	-	S	S	X				1.7	Inspeccionar funcionamento e condição dos bocais pulverizadores de óleo através do orifício de inspeção. Verificar a direção de despejo, quantidade e fluxo de lubrificante. Atentar-se a possíveis entupimentos, contaminação do óleo por particulado ou corpo estranho.	Semanal	

MCC**Planilha de seleção de tarefas**

Sistema: Tesoura a Frio

Data elaboração: nov/21

S/C: S/C - 25

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Sistema de Lubrificação

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Fornecer o lubrificante no momento, local e quantidade adequados para as superfícies de fricção da Tesoura a Frio.

Modo de Falha	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	Item (MF.A)	Ações Propostas	Frequência
2. Interrupção do sistema de engraxamento	N	N	-	-	S	S	X				2.1	Revisão preventiva da bomba de engraxamento e redutor do sistema de alimentação.	Semestral
	N	N	-	-	S	S	X				2.2	Verificar funcionamento da motobomba e dispositivo elétrico. Verificar pressão de calibragem da bomba e das chaves de limite de pressão.	Semanal
	N	N	-	-	S	S	X				2.3	Inspeccionar visualmente o nível de graxa do reservatório e registrar. Restaurar o nível, caso necessário, e garantir não contaminação da graxa durante esta atividade.	Diário
	N	N	-	-	S	S	X				2.4	Inspeccionar visualmente as conexões, tubulações e mangueiras no sistema de distribuição primário e secundário quanto a linhas danificadas, vazamentos, entupimento ou deformações.	Semanal
	N	N	-	-	S	S	X				2.5	Inspeccionar visualmente as válvulas controladoras quanto a presença de pontos de vazamento e anomalias.	Semanal
	N	N	-	-	S	S	X				2.6	Inspeccionar visualmente as linhas de distribuição entre os dispositivos de medição e os pontos de lubrificação quanto a vazamentos ou danos.	Semanal
	N	N	-	-	S	S	X				2.7	Inspeccionar correto funcionamento dos distribuidores, checando o deslocamento de seus embolos.	Semanal
	N	N	-	-	S	S	X				2.8	Verificar dos dosadores de graxa quanto a entupimento dos bicos, vazamentos e avarias. Substituir dosadores, caso necessário.	Semestral

MCC**Planilha de seleção de tarefas**

Sistema: Tesoura a Frio

Data elaboração: nov/21

S/C: S/C - 25

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Sistema de Lubrificação

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Fornecer o lubrificante no momento, local e quantidade adequados para as superfícies de fricção da Tesoura a Frio.

Modo de Falha	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	Item (MF.A)	Ações Propostas	Frequência
3. Perda repentina de volume de lubrificante (óleo e graxa)	N	N	-	-	S	S	X				3.1	Verificar aperto dos parafusos das juntas de vedação dos flanges. Executar reaperto, caso necessário.	Trimestral
	N	N	-	-	S	S	X				3.2	Inspeções recomendadas anteriormente.	N/A
4. Quantidade de óleo lubrificante dispensada abaixo do ideal	N	N	-	-	S	S	X				4.1	Verificar visualmente os dispositivos de medição quanto a operação adequada do sistema e registrar as informações em formulário adequado. Atentar-se quanto a quedas ou aumentos de pressões incomuns e fluxos de lubrificante.	Semanal
	N	N	-	-	S	S	X				4.2	Revisões e inspeções recomendadas anteriormente.	N/A
5. Quantidade de graxa fornecida abaixo do ideal	N	N	-	-	S	S	X				5.1	Inspeções e revisões recomendadas anteriormente.	N/A
6. Quantidade de lubrificante dispensada acima do ideal (óleo e graxa)	N	N	-	-	S	S	X				6.1	Verificar configurações de funcionamento do sistema, histórico de alterações (caso houver), e validar se estão conforme <i>setup</i> correto.	Trimestral
	N	N	-	-	S	S	X				6.2	Verificar visualmente a condição do lubrificante.	Diário
7. Alta pressão na linha	N	N	-	-	S	S	X				7.1	Verificar condição do óleo e limpar os filtros da linha de sucção conforme necessário. Avaliar condição do filtro e necessidade de substituição	Mensal
	N	N	-	-	S	S	X				7.2	Verificar condição do óleo e limpar os filtros da linha de exaustão conforme necessário. Avaliar condição do filtro e necessidade de substituição	Mensal
	N	N	-	-	S	S	X				7.3	Inspeções recomendadas anteriormente.	N/A

MCC**Planilha de seleção de tarefas**

Sistema: Tesoura a Frio

Data elaboração: nov/21

S/C: S/C - 25

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Sistema de Lubrificação

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Fornecer o lubrificante no momento, local e quantidade adequados para as superfícies de fricção da Tesoura a Frio.

Modo de Falha	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	Item (MF.A)	Ações Propostas	Frequência
8. Baixa pressão na linha	N	N	-	-	S	S	X				8.1	Revisões e inspeções recomendadas anteriormente.	N/A
9. Graxa lubrificante não entregue no momento adequado	N	N	-	-	S	S	X				9.1	Verificar as configurações e funcionamento do <i>timer</i> do sistema centralizado de engraxamento. O sistema deve ser ativado a cada ____ minutos. Verificar a conclusão correta do ciclo de lubrificação e a operação do alimentador, checando os movimentos da pequena haste visível dentro da torre do alimentador.	Diário
	N	N	-	-	S	S	X				9.2	Revisões e inspeções recomendadas anteriormente.	N/A
10. Graxa lubrificante dispensada em local não adequado	N	N	-	-	S	S	X				10.1	Revisões e inspeções recomendadas anteriormente.	N/A
11. Óleo lubrificante dispensado em local não adequado	N	N	-	-	S	S	X				11.1	Revisões e inspeções recomendadas anteriormente.	N/A
12. Lubrificante com características inadequadas ou alteradas	N	S	S	X							12.1	Realizar análise química do óleo regularmente a fim de avaliar particulado contaminante no fluido, desgaste dos elementos da transmissão e alterações das propriedades físicas do óleo. Definir intervalo de amostragem levando em consideração a penalidade econômica de falha, severidade do ambiente de fluido, idade da máquina, idade do óleo e a rigidez de metas de controle de contaminação.	Definir conforme situação
	N	N	-	-	S	S	X				12.2	Realizar verificação do respiradouro.	Trimestral
	N	N	-	-	S	S	X				12.3	Inspeções e revisões recomendadas anteriormente.	N/A

MCC**Planilha de seleção de tarefas**

Sistema: Tesoura a Frio

Data elaboração: nov/21

S/C: S/C - 25

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Sistema de Lubrificação

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Fornecer o lubrificante no momento, local e quantidade adequados para as superfícies de fricção da Tesoura a Frio.

Modo de Falha	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	Item (MF.A)	Ações Propostas	Frequência
13. Temperatura de abastecimento do óleo lubrificante não adequada	N	N	-	-	S	S	X				13.1	Revisão preventiva do sistema Aquecedor de óleo lubrificante conforme padrão fabricante.	padrão fabricante ou avaliação da equipe.
14. Sinais de alertas da central de engraxamento não funcionam	N	N	-	-	S	S	X				14.1	Verificar o funcionamento dos dispositivos de alerta e segurança.	Diário
	N	N	-	-	S	S	X				14.2	Verificar integridade física e executar limpeza no interior dos painéis elétricos e controles em geral. Checar se há conexões elétricas soltas.	Semestral
15. Mecanismos de medições do sistema instáveis ou inoperantes	N	N	-	-	S	S	X				15.1	Inspeccionar condição dos medidores de pressão e calibrar conforme necessário.	Semestral
	N	N	-	-	S	S	X				15.2	Inspeções e revisões recomendadas anteriormente.	N/A
16. Erros operacionais ou de manutenção	N	N	-	-	S	S	X				16.1	Análise de óleo recomendada anteriormente.	N/A

MCC**Planilha de seleção de tarefas**

Sistema: Tesoura a Frio

Data elaboração: nov/21

S/C: S/C - 9 e S/C - 6

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Conjunto Excêntrico

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Transformar o movimento giratório do Eixo Excêntrico de Acionamento em movimento linear suave do Trenó de Escorregamento de maneira eficiente para fazer com que a Faca Superior possa executar um ciclo de corte sem instabilidades e com precisão.

Modo de Falha	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	Item (MF.A)	Ações Propostas	Frequência
1. Escorregamento do Trenó dificultado ou não suave	N	N	-	-	S	S	X				1.1	Realizar inspeção da integridade das bronzinas do Eixo Excêntrico e cabeças das Bielas e buchas do Pino Articulador e pé das Bielas. Fazer esta verificação através da retirada da tampa superior da máquina, e avaliação da integridade dos componentes. Atentar-se a possível desgaste excessivo ou avarias nas bronzinas e buchas	Semestral
	N	N	-	-	S	S	X				1.2	Inspeccionar o sistema de lubrificação das bronzinas e buchas das Bielas.	Quadrimestral
	N	N	-	-	S	S	X				1.3	Inspeccionar o sistema de lubrificação das buchas dos mancais de deslizamento.	Semestral
	N	N	-	-	S	S	X				1.4	Medir folga das Bielas e registrar este valor. Executar esta medição utilizando um macaco hidráulico debaixo do Conjunto Excêntrico e aferir variação através do emprego de um relógio comparador. A folga deve estar entre +0.35 e +0.50 mm.	Mensal
	N	S	S	X							1.5	Coletar graxa dos mancais de deslizamento, bronzinas e buchas e realizar análise química a fim de detectar particulado contaminante proveniente do desgaste dos componentes	Semestral
	N	N	-	-	S	S	X				1.6	Executar medição de vibração e temperatura dos mancais de deslizamento sobre os quais gira o Eixo Excêntrico em intervalo de tempo específico e analisar comportamento do sistema.	Trimestral
	N	N	-	-	S	S	X				1.7	Inspeccionar lubrificação das superfícies de escorregamento do Trenó.	Mensal

MCC**Planilha de seleção de tarefas**

Sistema: Tesoura a Frio

Data elaboração: nov/21

S/C: S/C - 9 e S/C - 6

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Conjunto Excêntrico

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Transformar o movimento giratório do Eixo Excêntrico de Acionamento em movimento linear suave do Trenó de Escorregamento de maneira eficiente para fazer com que a Faca Superior possa executar um ciclo de corte sem instabilidades e com precisão.

Modo de Falha	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	Item (MF.A)	Ações Propostas	Frequência
2. Superaquecimento da cabeça das bielas	N	N	-	-	S	S	X				2.1	Inspeções recomendadas anteriormente e em outros documentos.	N/A
3. Superaquecimento dos mancais de deslizamento do Eixo Excêntrico	N	N	-	-	S	S	X				3.1	Inspeções recomendadas anteriormente e em outros documentos.	N/A
4. Falha estrutural das bielas (deformação, trinca, fissura)	N	N	-	-	S	S	X				4.1	Inspeções recomendadas anteriormente e em outros documentos.	N/A
5. Corrosão dos componentes	N	N	-	-	S	S	X				5.1	Inspeções recomendadas anteriormente e em outros documentos.	N/A

MCC**Planilha de seleção de tarefas**

Sistema: Tesoura a Frio

Data elaboração: nov/21

S/C: S/C – 10 e S/C – 11

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Conjuntos Porta-Faca Inferior e Superior

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Possibilitar montagem do Suporte de Faca na máquina e realizar travamento do mesmo num encaixe tipo rabo de andorinha através da atuação de um conjunto de 6 *clamps* hidráulicos com pressão de trabalho de 100 bar, molas prato e helicoidais e parafusos de fixação, assegurando que o Suporte que sustenta a Navalha se mantenha estático durante a operação da Tesoura a Frio; Liberar travamento mediante a uma pressão de 120 bar.

Modo de Falha	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	Item (MF.A)	Ações Propostas	Frequência
1. Superfície da base do encaixe rabo de andorinha com desgaste excessivo e/ou avarias	N	N	-	-	S	S	X				1.1	Verificar condição da base do encaixe rabo de andorinha do Porta-Faca e executar limpeza da superfície utilizando materiais adequados. Evitar utilizar ar comprimido nesta atividade devido ao risco de expelir sujeiras e particulado contaminante para o interior do sistema de <i>clamps</i> e assento da cunha.	Toda troca de Navalha
2. Superfície inclinada do encaixe rabo de andorinha com desgaste excessivo e/ou avarias	N	N	-	-	S	S	X				2.1	Verificar condição da faces inclinadas do encaixe rabo de andorinha do Porta-Faca e executar limpeza das superfícies utilizando materiais adequados. Evitar utilizar ar comprimido nesta atividade devido ao risco de expelir sujeiras e particulado contaminante para o interior do sistema de <i>clamps</i> e assento da cunha.	Toda troca de Navalha

MCC**Planilha de seleção de tarefas**

Sistema: Tesoura a Frio

Data elaboração: nov/21

S/C: S/C – 10 e S/C – 11

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Conjuntos Porta-Faca Inferior e Superior

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Possibilitar montagem do Suporte de Faca na máquina e realizar travamento do mesmo num encaixe tipo rabo de andorinha através da atuação de um conjunto de 6 *clamps* hidráulicos com pressão de trabalho de 100 bar, molas prato e helicoidais e parafusos de fixação, assegurando que o Suporte que sustenta a Navalha se mantenha estático durante a operação da Tesoura a Frio; Liberar travamento mediante a uma pressão de 120 bar.

Modo de Falha	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	Item (MF.A)	Ações Propostas	Frequência
3. Falha de travamento e/ou destravamento do Suporte de Faca no encaixe rabo de andorinha	N	N	-	-	S	S	X				3.1	Inspeccionar integridade do funcionamento do sistema de <i>clamps</i> na <i>working position</i> e <i>blade holder relative position</i> . Garantir que o sistema limpo antes de executar essa verificação. Atentar-se quanto a presença de vazamentos de óleo e hidráulico nas vedações. Verificar condição dos elementos de fixação, solicitar troca dos componentes, caso necessário.	Quadrimestral
	N	N	-	-	S	S	X				3.2	Inspeccionar molas prato e helicoidais quanto a danos estruturais. Solicitar troca dos componentes, caso necessário.	Quadrimestral
	N	N	-	-	S	S	X				3.3	Realizar verificação junto da operação sobre a ocorrência de funcionamento anormal do sistema de travamento do Suporte de Faca.	Diário
	N	N	-	-	S	S	X				3.4	Atividades preventiva do sistema hidráulico citadas em outro documento.	N/A
	N	N	-	-	S	S	X				3.5	Inspeções e atividades recomendadas anteriormente.	N/A
4. Vibração excessiva e/ou instabilidades	N	N	-	-	S	S	X				4.1	Inspeções e atividades recomendadas.	N/A
5. Falha dos elementos de fixação	N	N	-	-	S	S	X				5.1	Inspeções e atividades recomendadas.	N/A

MCC**Planilha de seleção de tarefas**

Sistema: Tesoura a Frio

Data elaboração: nov/21

S/C: S/C - 12

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Conjunto Prendedor

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Prender barras laminadas contra a Mesa de Rolos da Tesoura a Frio antes que a Faca Superior inicie o contato com o material, garantindo que este esteja preso e firme para realização do corte e servindo de sistema auxiliar para a obtenção de um corte sem irregularidades e/ou instabilidades.

Modo de Falha	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	Item (MF.A)	Ações Propostas	Frequência
1. Não acionamento do Prendedor (avanço e/ou recuo)	N	N	-	-	S	S	X				1.1	Inspeccionar visualmente as conexões, tubulações e mangueiras do sistema de alimentação de óleo hidráulico quanto a linhas danificadas, vazamentos, entupimento ou torções.	Diário
	N	N	-	-	S	S	X				1.2	Inspeccionar visualmente o nível de óleo hidráulico do reservatório e registrar. Restaurar o nível, caso necessário, e garantir não contaminação do óleo durante esta atividade.	Diário
	N	N	-	-	S	S	X				1.3	Verificar se há mudanças anormais de temperatura no óleo hidráulico.	Diário
	N	N	-	-	S	S	X				1.4	Verificar aperto dos parafusos e braçadeiras de tubos e mangueiras da linha hidráulica.	Diário
	N	N	-	-	S	S	X				1.5	Verificar as leituras do manômetro e comparar com pressão operacional. Registrar valor.	Diário
	N	N	-	-	S	S	X				1.6	Monitorar o ruído de funcionamento de bombas de alimentação e motores elétricos para identificar alterações e anomalias.	Diário
	N	N	-	-	S	S	X				1.7	Inspeccionar se há vazamentos nos bancos de válvulas, limpando um item antes de inspecioná-lo.	Diário
	N	N	-	-	S	S	X				1.8	Verificar com a operação quanto a ocorrências de mal funcionamento do equipamento. Verificar o livro de passagem de turno para ver se os operadores registraram algum problema.	Diário

MCC**Planilha de seleção de tarefas**

Sistema: Tesoura a Frio

Data elaboração: nov/21

S/C: S/C - 12

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Conjunto Prendedor

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Prender barras laminadas contra a Mesa de Rolos da Tesoura a Frio antes que a Faca Superior inicie o contato com o material, garantindo que este esteja preso e firme para realização do corte e servindo de sistema auxiliar para a obtenção de um corte sem irregularidades e/ou instabilidades.

Modo de Falha	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	Item (MF.A)	Ações Propostas	Frequência
1. Não acionamento do Prendedor (avanço e/ou recuo)	N	N	-	-	S	S	X				1.9	Verificar os filtros de óleo do sistema hidráulico do Prendedor. Para filtros com um indicador de contaminação excessiva, substitua o elemento do filtro.	Bimestral
	N	N	-	-	S	S	X				1.10	Enquanto as bombas estão paradas, apertar todas as conexões soltas. Aperte apenas para estancar o vazamento e não mais. Substituir quaisquer conexões ou tubos que continuem vazando após serem apertados. Substituir todas as vedações com vazamento.	Bimestral
	N	N	-	-	S	S	X				1.11	Inspeccionar o estado das mangueiras hidráulicas. Remover os principais acúmulos de sujeira. Se as mangueiras tiverem rachaduras ou se óleo vazar entre a manga e a mangueira (a extremidade da mangueira está úmida), substituir a mangueira.	Bimestral
	N	N	-	-	S	S	X				1.12	Verificar a condição do cilindro hidráulico especialmente quanto a vazamentos nas conexões e mangueiras hidráulicas. Remover qualquer sujeira, especialmente dos pivôs da haste do pistão.	Bimestral
	N	N	-	-	S	S	X				1.13	Apertar os parafusos das bombas, motores elétricos, válvulas, etc.	Bimestral
	N	N	-	-	S	S	X				1.14	Registrar todas as manutenções no livro de serviço.	N/A
	N	N	-	-	S	S	X				1.15	Enviar uma amostra de óleo para análise a fim de verificar se há contaminantes e desgaste. A amostra de óleo deve ser analisada quanto à viscosidade, metais de desgaste, contagem de partículas.	Semestral
	N	N	-	-	S	S	X				1.16	Verificar a pressão de pré-carga do acumulador.	Semestral

MCC**Planilha de seleção de tarefas**

Sistema: Tesoura a Frio

Data elaboração: nov/21

S/C: S/C - 12

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Conjunto Prendedor

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Prender barras laminadas contra a Mesa de Rolos da Tesoura a Frio antes que a Faca Superior inicie o contato com o material, garantindo que este esteja preso e firme para realização do corte e servindo de sistema auxiliar para a obtenção de um corte sem irregularidades e/ou instabilidades.

Modo de Falha	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	Item (MF.A)	Ações Propostas	Frequência
1. Não acionamento do Prendedor (avanço e/ou recuo)	N	N	-	-	S	S	X				1.17	Drenar o tanque de óleo da unidade de força e limpar o tanque. Remover com cuidado qualquer sujeira acumulada no fundo do tanque (dentro). Limpar completamente o interior do tanque usando uma solução de limpeza aprovada pelo fabricante do óleo hidráulico. Não usar restos de algodão ou panos para limpar o tanque. Se houver um atraso entre a limpeza e o reabastecimento do tanque, mantenha-o lacrado para evitar que a umidade entre. Lavar a tubulação.	Anual
	N	N	-	-	S	S	X				1.18	Se o óleo hidráulico for reutilizado, certificar-se de drená-lo em recipientes limpos. Ao reabastecer o tanque, filtrar o óleo novo ou reutilizado usando uma unidade de filtro separada.	Anual
	N	N	-	-	S	S	X				1.19	Inspeccionar integridade dos acoplamentos da bomba e do motor.	Anual
	N	N	-	-	S	S	X				1.20	Se as válvulas proporcionais exigirem manutenção, dar preferência ao fabricante do componente ou um engenheiro de serviço autorizado por esse fabricante para realizar a manutenção.	Anual
	N	N	-	-	S	S	X				1.21	Verificar a condição do sistema hidráulico testando todos os componentes acionados hidráulicamente.	Anual
	N	N	-	-	S	S	X				1.22	Inspeccionar visualmente o funcionamento do Prendedor. Atentar-se quando à suavidade de movimentação de seu mecanismo e ruídos anormais. Registrar anomalias, caso houver.	Diário

MCC**Planilha de seleção de tarefas****Sistema: Tesoura a Frio****Data elaboração: nov/21****S/C: S/C - 12****Nº Rev. Data: 0****Descrição: Conjunto Prendedor****Preparado Por: Equipe Laminação****Função:**

Prender barras laminadas contra a Mesa de Rolos da Tesoura a Frio antes que a Faca Superior inicie o contato com o material, garantindo que este esteja preso e firme para realização do corte e servindo de sistema auxiliar para a obtenção de um corte sem irregularidades e/ou instabilidades.

Modo de Falha	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	Item (M.F.A)	Ações Propostas	Frequência
1. Não acionamento do Prendedor (avanço e/ou recuo)	N	N	-	-	S	S	X				1.23	Inspeccionar a estrutura do mecanismo de movimentação do Prendedor quanto à presença de deformações e outros desvios que possam interferir em seu funcionamento. O sistema deve estar isento de particulado contaminante nas articulações e mancais. Verificar lubrificação das articulações e possível contaminação do lubrificante. Restaurar condição da lubrificação com graxa a base de sabão de lítio, caso necessário.	Mensal
	N	N	-	-	S	S	X				1.24	Verificar aperto dos elementos de fixação do sistema junto a estrutura da Tesoura. Executar esta mesma verificação nos parafusos de fixação dos olhais do cilindro hidráulico e dos mancais dos rolos do mecanismo de movimentação. Realizar reaperto de todos os elementos inspecionados, caso necessário.	Bimestral
	N	N	-	-	S	S	X				1.25	Inspeccionar a superfície da base do Prendedor que faz contato com o material em processamento quanto a presença de particulado contaminante, sujeira, lubrificante ou contaminação oriunda do processo. Executar limpeza da base com instrumentos adequados.	Mensal

MCC**Planilha de seleção de tarefas**

Sistema: Tesoura a Frio

Data elaboração: nov/21

S/C: S/C - 12

Nº Rev. Data: 0

Descrição: Conjunto Prendedor

Preparado Por: Equipe Laminação

Função:

Prender barras laminadas contra a Mesa de Rolos da Tesoura a Frio antes que a Faca Superior inicie o contato com o material, garantindo que este esteja preso e firme para realização do corte e servindo de sistema auxiliar para a obtenção de um corte sem irregularidades e/ou instabilidades.

Modo de Falha	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	Item (MF.A)	Ações Propostas	Frequência
1. Não acionamento do Prendedor (avanço e/ou recuo)	N	N	-	-	S	S	X				1.26	Verificar estado da superfície da base do Prendedor que faz contato com o material em processamento quanto a desvios superficiais, como frisos, riscos e qualquer outro tipo de irregularidade que possa prejudicar sua eficiência. Realizar limpeza criteriosa da base utilizando desengraxante e pano. Realizar lixamento da base do Prendedor de maneira uniforme para remoção de desvios, caso necessário.	Trimestral
	N	N	-	-	S	S	X				1.27	Medir espessura da chapa da base do Prendedor em 5 pontos igualmente espaçados e perpendicularismo entre as facas a fim de avaliar e acompanhar o desgaste do componente.	Em todas preventivas
2. Velocidade de avanço e/ou recuo mais rápida que o adequado	N	N	-	-	S	S	X				2.1	Revisões e inspeções recomendadas anteriormente.	N/A
3. Velocidade de avanço e/ou recuo mais lenta que o adequado	N	N	-	-	S	S	X				3.1	Revisões e inspeções recomendadas anteriormente.	N/A
4. Pressão exercida sobre o material excessiva	N	N	-	-	S	S	X				4.1	Revisões e inspeções recomendadas anteriormente.	N/A
5. Pressão exercida sobre o material insuficiente	N	N	-	-	S	S	X				5.1	Revisões e inspeções recomendadas anteriormente.	N/A
6. Prendedor avança antes/depois do momento adequado	N	N	-	-	S	S	X				6.1	Check dos parâmetros de controle e instrumentação do Prendedor	Mensal
7. Atuação do Prendedor provocando marcas superficiais no material laminado	N	N	-	-	S	S	X				7.1	Revisões e inspeções recomendadas anteriormente.	N/A
8. Prendedor empurrando barras para frente	N	N	-	-	S	S	X				8.1	Revisões e inspeções recomendadas anteriormente.	N/A
9. Movimentação não suave	N	N	-	-	S	S	X				9.1	Revisões e inspeções recomendadas anteriormente.	N/A

APÊNDICE E – Planos de ação 5W1H



5W1H

Tema tratado: MCC - Tesoura a Frio Laminador 3

Data: nov/22

Revisão: 0

5W

1H

Item	S/C referenciado	What	Why	Where	Who	When	How
		Descrição das ações	Motivos	Local	Responsável	Quando	Como executar as ações
1	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Elaborar método de acompanhamento de tonelagem processada pelas Facas e criar instrução operacional	Para monitorar o uso das ferramentas e estimar sua vida útil	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Sugestão: planilha Excel compartilhada na rede conectada aos dados de produção do Painel Gerencial L3
2	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Garantir limpeza adequada da Faca no momento de montagem e inserção na máquina	Para evitar impurezas e contaminantes no sistema	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Criar instrução operacional, treinar operação e promover avaliações de resultado da tarefa
3	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Criar padrão interno de manuseio e armazenamento das Navalhas	Para garantir que as ferramentas de corte não sejam deterioradas por ação do ambiente ou manuseio	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Criar instrução operacional, treinar operação e promover avaliações de resultado da tarefa
4	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Executar estudo da variação de dureza do gume de corte da ferramenta de acordo com a execução de reafiações	A fim de determinar a distribuição de dureza ao longo do material, padronizar espessura removida de reafiação, e estimar vida útil das Facas	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Medição de dureza HRC no gume de corte conforme quantidade de material processado, registro, avaliação e interpretação dos resultados
5	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Monitorar materiais cortados fora da faixa de temperatura ideal e montar histórico de desgaste das ferramentas	Avaliar comportamento das Facas em tais condições de corte adversas	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Avaliação no IBA, inspeção visual, criação de padrão de comparação
6	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Criar e implantar check-list de inspeção do gume de corte em linha conforme quantidade de material processada e definir nível de desgaste máximo admissível e defeitos estruturais a serem observados	Para que as Facas não sejam empregadas no processo estando com desgaste excessivo	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Criar procedimento, treinar operação e promover avaliações de resultado da tarefa
7	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Estudar aplicação de melhoria nas superfícies de assento dos Suportes de Faca	Para diminuir a taxa de desgaste causada pela interação dos componentes	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Aumento de dureza das superfícies, revestimentos
8	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Realizar padronização dos calços de montagem	Evitar o empilhamento de calços para obter ajuste de folgas necessário	L3	Equipe Laminação 3	fev/22	Desenvolver espessura de calço padrão, e garantir grau de acabamento retificado
9	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Desenvolver e implantar padrão de montagem contendo instruções de torqueamento das Facas conforme padrão do fabricante da máquina	Para assegurar que não sejam feitas montagens inadequadas	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Criar procedimento, treinar operação e promover avaliações de resultado da tarefa



5W1H

Tema tratado: MCC - Tesoura a Frio Laminador 3

Data: nov/22

Revisão: 0

5W

1H

Item	S/C referenciado	5W					1H
		What	Why	Where	Who	When	How
		Descrição das ações	Motivos	Local	Responsável	Quando	Como executar as ações
10	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Avaliar revisão do padrão de montagem da Faca nos Suportes e do conjunto nos Porta-Facas	Assegurar que as atividades estão conformemente descritas	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Auditorias
11	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Desenvolver ferramentas e métodos para medição da folga entre Facas, do cruzamento entre Facas e dos paralelismos longitudinal e transversal de maneira a ser possível executar as medições nas extremidades e meio do corpo das Facas montadas na Tesoura	Para que seja possível determinar se o padrão das folgas de montagem recomendadas pelo fabricante estão sendo empregados no equipamento	L3	Equipe Laminação 3	mar/22	Desenvolvimento junto à equipe, fornecedores de soluções e da máquina
12	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Criar instrução de operação para inspeção de folgas em linha conforme tonelagem cortada e registro do histórico de medições	Para acompanhar comportamento das folgas durante o processo	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Criar procedimento, treinar operação e promover avaliações de resultado da tarefa
13	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Criar e implantar método de controle e avaliação das montagens realizadas em setup externo	Para aumentar confiabilidade e conformidade das atividades de montagem das Facas nos Suportes de Faca	L3	Equipe Laminação 3	fev/22	Implementação de check-lists, formulários, padrões de resultado
14	S/C - 20 e S/C - 21: Facas Superior e Inferior	Desenvolver método de controle de qualidade preventivo das Facas e realizá-lo conforme intervalo de tempo pré-determinado	Avaliar a integridade das Facas fornecidas pelo fabricante e identificar possíveis desvios de fabricação e/ou lotes defeituosos recebidos	L3	Equipe Laminação 3	mar/22	Desenvolvimento junto à equipe, fornecedores das Facas e de soluções



5W1H

Tema tratado: MCC - Tesoura a Frio Laminador 3

Data: nov/22

Revisão: 0

5W

1H

Item	S/C referenciado	What	Why	Where	Who	When	How
		Descrição das ações	Motivos	Local	Responsável	Quando	Como executar as ações
1	S/C - 25: Sistema de Lubrificação	Executar treinamento sobre lubrificantes e métodos de lubrificação da Tesoura a Frio com participação da manutenção e operação	Desenvolvimento do conhecimento do pessoal sobre o sistema e importância da execução das práticas de lubrificação preventiva e da sua preservação	L3	Equipe Laminação 3	fev/22	Benchmarking interno, avaliação de parceiros
2	S/C - 25: Sistema de Lubrificação	Checar parâmetros de <i>setup</i> adequados do sistema de engraxamento centralizado e de óleo lubrificante e validar na máquina	Garantir que o sistema está configurado de maneira apropriada	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Consulta a manuais, validação dos parâmetros atuais via sistemas de supervisão e medidores
3	S/C - 25: Sistema de Lubrificação	Executar treinamento sobre correta limpeza da Tesoura a Frio com participação da manutenção e operação	Desenvolvimento do conhecimento do pessoal sobre o sistema e importância das práticas de limpeza	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Benchmarking interno, avaliação de parceiros
4	S/C - 25: Sistema de Lubrificação	Verificar ocorrência de depleção dos aditivos no óleo lubrificante (se houver)	Validar saúde do óleo e possível presença de fonte de contaminação	L3	Equipe Laminação 3	fev/22	Análise química do óleo empregado na máquina
5	S/C - 25: Sistema de Lubrificação	Verificação e validação das condições de armazenamento interno/externo dos fluidos lubrificantes	Contribuir para evitar que problemas como introdução de ar e contaminantes no sistema aconteçam	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Auditoria e benchmarking internos, avaliação de parceiros
6	S/C - 25: Sistema de Lubrificação	Executar estudo de avaliação da periodicidade da troca dos fluidos lubrificantes	Assegurar que não haverá emprego de lubrificante velho no sistema	L3	Equipe Laminação 3	fev/22	Análise de dados históricos das propriedades do óleo, intervalos de troca e possíveis falhas do equipamento
7	S/C - 25: Sistema de Lubrificação	Realizar estudo a fim de validar se o óleo e graxa lubrificantes empregados são adequados para a aplicação na Tesoura a Frio	Validação das características dos fluidos lubrificantes utilizados na Tesoura mediante à mudança significativa do contexto operacional do Laminador ocorrida nos últimos 3 anos (BC, bitolas novas, volume, etc)	L3	Equipe Laminação 3	fev/22	Análise das propriedades dos lubrificantes utilizados atualmente e comparação com as condições de trabalho atuais e previstas da Tesoura



5W1H

Tema tratado: MCC - Tesoura a Frio Laminador 3

Data: nov/22

Revisão: 0

5W

1H

Item	S/C referenciado	What Descrição das ações	Why Motivos	Where Local	Who Responsável	When Quando	How Como executar as ações
1	S/C - 9 e S/C - 6: Conjunto Excêntrico da Tesoura a Frio	Planejar e programar avaliação do estado atual do Conjunto Excêntrico no que diz respeito à folgas e desgaste dos componentes	Avaliar condição do sistema e possibilitar base para tomada de decisão sobre os próximos passos	L3	Equipe Laminação 3	mar/22	Contratação de serviço especializado
2	S/C - 9 e S/C - 6: Conjunto Excêntrico da Tesoura a Frio	Verificar situação de sobressalentes dos seguintes itens: bronzinas, buchas, pino articulado e seus elementos de fixação	Assegurar que em caso de necessidade esses componentes críticos estarão disponíveis	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Avaliação interna
3	S/C - 9 e S/C - 6: Conjunto Excêntrico da Tesoura a Frio	Promover treinamento junto a manutenção e operação sobre princípio de funcionamento do sistema e principais pontos de atenção	Desenvolver o conhecimento da equipe sobre o sistema	L3	Equipe Laminação 3	jan/22	Recurso interno ou contratação de serviço especializado



5W1H

Tema tratado: MCC - Tesoura a Frio Laminador 3

Data: nov/22

Revisão: 0

5W

1H

Item	S/C referenciado	What Descrição das ações	Why Motivos	Where Local	Who Responsável	When Quando	How Como executar as ações
1	S/C - 16 e S/C - 17: Conjuntos Suportes de Faca Inferior e Superior	Realizar medição de todos os Suportes de Faca e comparar com o padrão especificado para a Tesoura a Frio	Para validar condição dos Suportes e realizar correções necessárias	L3	Equipe Laminação	dez/21	Recurso interno ou contratar empresa especializada
2	S/C - 16 e S/C - 17: Conjuntos Suportes de Faca Inferior e Superior	Criar desenho dos Suportes e estudar necessidade de aquisição de Suportes novos conforme desenho	Para que seja possível fabricar Suportes novos caso os atuais não estejam em condições de recuperação viáveis e para que seja possível ter sobressalentes	L3	Equipe Laminação	jan/22	Recurso interno ou contratar empresa especializada
3	S/C - 16 e S/C - 17: Conjuntos Suportes de Faca Inferior e Superior	Elaborar método de acompanhamento do desgaste da base do Suporte e de seus assentos de Faca. Criar procedimento de manutenção preventiva periódica dos Suportes com foco na avaliação das dimensões do mesmo, realização de limpeza criteriosa, retirada de defeitos superficiais e restauração do acabamento de suas superfícies de montagem.	Assegurar que os Suportes não atinjam um nível de desgaste não aceitável e prejudiquem o setup da Tesoura	L3	Equipe Laminação	fev/22	Análise das superfícies, elaboração do método de avaliação e restauração das superfícies, criação de check-list informativo
4	S/C - 16 e S/C - 17: Conjuntos Suportes de Faca Inferior e Superior	Avaliar implantação do uso de calços laterais e da base com espessura padrão e em inox com grau de acabamento retificado. Determinar espessura dos calços conforme reafiação ou necessidade de montagem na máquina (ajuste de folgas)	Para que não haja ocorrência de empilhamento de calços nas montagens, o que dificulta obtenção de folgas corretas e pode contribuir para o aumento da taxa de desgaste dos componentes	L3	Equipe Laminação	jan/22	Desenvolvimento e aquisição dos calços conforme necessidade priorizada
5	S/C - 16 e S/C - 17: Conjuntos Suportes de Faca Inferior e Superior	Garantir limpeza dos Suportes em operações de montagem de Faca nos mesmos e de inserção do conjunto na máquina	Assegurar que não há contaminação por particulado estranho nas montagens	L3	Equipe Laminação	dez/21	Criar procedimento, treinar operação e promover avaliações de resultado da tarefa
6	S/C - 16 e S/C - 17: Conjuntos Suportes de Faca Inferior e Superior	Criar padrão de manuseio e armazenamento interno dos Suportes	Para promover manuseio correto dos componentes e prevenir choques, armazenamento incorreto e contaminação do ambiente que possam danificar os Suportes	L3	Equipe Laminação	jan/22	Criar procedimento, treinar operação e promover avaliações de resultado da tarefa
7	S/C - 16 e S/C - 17: Conjuntos Suportes de Faca Inferior e Superior	Promover treinamento junto da manutenção e operação sobre setup da máquina com foco no ajuste de folgas de montagem recomendadas e na importância do setup adequado para a obtenção de uma boa qualidade de corte	Promover o desenvolvimento da equipe quanto ao sistema e a conscientização da importância da atividade para os resultados da operação e seus impactos tanto no produto quanto na máquina	L3	Equipe Laminação	jan/22	Benchmarking interno, avaliação de parceiros



5W1H

Tema tratado: MCC - Tesoura a Frio Laminador 3

Data: nov/22

Revisão: 0

5W

1H

Item	S/C referenciado	What Descrição das ações	Why Motivos	Where Local	Who Responsável	When Quando	How Como executar as ações
1	S/C - 11 e S/C - 10: Conjuntos Porta-Faca Superior e Inferior	Programar avaliação da situação das cunhas dos encaixes rabo de andorinha	Avaliar condição do sistema e possibilitar base para tomada de decisão sobre os próximos passos	L3	Equipe Laminação	dez/21	Avaliar condição física das cunhas; estudar aquisição de novas peças, caso necessário
2	S/C - 11 e S/C - 10: Conjuntos Porta-Faca Superior e Inferior	Avaliar a situação de sobressalentes para os seguintes itens: molas prato e helicoidais, cunha do encaixe rabo de andorinha e elementos de fixação	Assegurar que em caso de necessidade esses componentes críticos estarão disponíveis	L3	Equipe Laminação	jan/21	Avaliação interna
3	S/C - 11 e S/C - 10: Conjuntos Porta-Faca Superior e Inferior	Estudar a revisão do procedimento de troca das Facas quanto à necessidade de limpeza das superfícies dos encaixes tipo rabo de andorinha durante a execução desta atividade, bem como da regulação de folgas do conjunto	Assegurar que a atividade seja executada de maneira correta e sem prejudicar o <i>setup</i> do equipamento	L3	Equipe Laminação	jan/21	Validar no procedimento a descrição das atividades e materiais utilizados
4	S/C - 11 e S/C - 10: Conjuntos Porta-Faca Superior e Inferior	Promover treinamento junto a manutenção e operação sobre princípio de funcionamento do sistema e principais pontos de atenção	Desenvolver o conhecimento da equipe sobre o sistema	L3	Equipe Laminação	jan/21	Recurso interno ou contratação de serviço especializado

