

PROJETO DE MELHORIA INCREMENTAL NO SISTEMA DE CONFORMAÇÃO DE PERFILADOS METÁLICOS A FRIO PARA REDUÇÃO DO *LEAD TIME* E AUMENTO DE PRODUTIVIDADE.

G. G. Tibúrcio¹ *.; L. M. Pacheco¹.; P. C¹. Oliveira Jr.¹.; F. Scarpite¹.; R. A. Moura²

1 Universidade de Taubaté – UNITAU.
Rua Daniel Danelli, s/n – Vila Nossa Senhora das Graças, Taubaté/SP,
CEP: 12060-440, Brasil.
Telefone: (12) 3622-4005

2. Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos - Professor Jessen Vidal
Av. Cesare Mansueto Giulio Lattes, 1350 - Eugênio de Melo,
São José dos Campos/SP, CEP.: 12247-014, Brasil.
Telefone: (12) 3905-2423

*eng.gabrieltiburcio@gmail.com

RESUMO: Este artigo objetiva apresentar soluções para melhoria no sistema de conformação de perfilados à frio, implantado um projeto que reduz o tempo de reparo, facilita o ajuste dos rolos de conformação e maximiza a produtividade. O método adotado contou com vasta literatura técnica e conceitual e programas de análise matemática computacional. O resultado foi um projeto foi a instalação de trilhos anexados na máquina perfiladora, permitindo o deslocamento dos rolos, ajuste e a realização de manutenção quando necessário. Conclui-se que o projeto cooperou facilitando o acesso e manutenção dos rolos, que impactam diretamente na redução do tempo médio de reparo e aumenta a disponibilidade da máquina.

PALAVRAS-CHAVE: perfilado; conformação metálica; processo otimizado; produtividade.

ABSTRACT: The current project searches present solutions for improvement in the system of cold roll forming, implanted in a certain company, so as to achieve reduction of Mean Time To Repair (MTTR), besides improve the adjustment in the forming rolls, and practicality when necessary the maintenance in the structure that sustains them, optimizing the process. The project will be carried out by installing rails attached to the machine base, where the rolls support tower be able to move, allowing, when necessary, remove off the tower in the shortest time in case of maintenance, directly impacting the MTTR, reducing the lead time of the process.

KEYWORDS: roll forming; metal forming; optimized process; productivity.

1. INTRODUÇÃO

Uma empresa do ramo de equipamentos elétricos ao se deparar com a demanda requerida de eletro calha que quando instaladas protegem cabeamento elétricos, foi observado que o processo regularmente utilizado, de dobramento de chapas metálicas, não atendia o novo volume de produção no prazo requerido.

Visando diminuição do *lead time* de todo processo de fabricação para aumentar a produtividade, foi proposto um processo de produção contínua de forma a aumentar a capacidade e atingir o volume requerido nas dobradeiras de perfilados.

1.1. Definição do problema

Aumento na demanda requerida e falta de capacidade para atender ao pedido e devido ao longo tempo (3h) para realizar o *set up* e remoção da torre dos rolos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

De acordo com Niemann (2002), verifica-se que a maioria das dificuldades e erros de projetos são originada por exposição falha dos seus objetivos e por uma formulação incompleta dos problemas.

A metodologia para o projeto consiste na definição do problema, levantamento de dados, elaboração de hipóteses para o projeto, decisões preliminares do projeto, croquis, modelos matemáticos, viabilidade do projeto, protótipo, validação e aprovação, documentar fases e resultados (NORTON, 2014).

2.1. Processo de perfilação

O processo de perfilação consiste na conformação do material metálico, geralmente armazenado em uma bobina, através de rolos movidos a motores elétricos com um sistema de transmissão de engrenagens, podendo manter a fabricação constante e dentro do *takt time* que é calculado pela demanda, disponibilidade de máquina e prazos de entrega.

Durante a validação do novo processo (perfilados), foi identificado que há inoperâncias constantes dos rolos por quebra, erro e defeitos na matéria prima e que tal fato seja a necessidade de um projeto que de condições de contingência para que quando o sistema principal falhe um sistema de trilhos facilite e agilize a manutenção.

2.2. Levantamento de dados

Para elaboração no projeto foram levantados dados quanto às falhas analisadas no processo que deverão ser solucionados pelo projeto em questão. O primeiro dado aferido foi o tempo excessivo de média de 70 minutos para ajuste, e uma média de 150 minutos para manutenção dos rolos de conformação, diminuindo o tempo de disponibilidade de máquina resultando em menor volume de produção do que o necessário.

O rendimento estabelecido de acordo com o projeto inicial é que seja superior a 83%, porém foi aferida a falha no dimensionamento angular do produto final de modo que não atingiram o rendimento pré-estabelecido. O ângulo nos cantos das calhas elétricas segundo o requerimento do cliente deve compreender entre 87° e 93° , porém uma média de 27% das peças fabricadas não atingiu o permitido devido à distância uniforme entre as torres dos rolos de conformação, quando o rendimento previsto satisfatório é de 90%.

2.3. Elaboração de hipóteses para solução do problema

Para elaboração no processo foram levantadas hipóteses para a solução dos problemas apresentados após a implantação do novo processo. A perfilação é um processo de fabricação de alta produtividade que consiste em formar uma tira de chapa ao longo de linhas de dobra retas, longitudinais e paralelas com vários pares de rolos contornados, sem alterar a espessura do material (HALMOS, 2006).

Deste modo primeiramente para a questão da falha de dimensionamento angular, procurou-se um modelo de ajuste que fosse além do ajuste vertical dos rolos já utilizados no processo, portanto decidiu-se inserir trilhos ao longo do percurso de torres de rolos para ajustar os rolos horizontalmente, possibilitando a aproximação e afastamento de determinados pontos do processo com a finalidade de conformar de modo mais preciso de acordo com as solicitações de diversos materiais metálicos. As torres ficarão fixadas por meio de parafusos nos trilhos ao longo de todo o equipamento, de modo

com que a qualquer momento o qual seja requisitado, poderão ser removidas em menor tempo assim como recolocadas na mesma posição, visando à redução direta do tempo médio entre reparos (MTTR).

2.4. Decisão preliminar do projeto

Preliminarmente foi consultado catálogo de trilhos para se escolher o que melhor se adequa as condições solicitadas, foi selecionado o perfil A100 para o projeto:

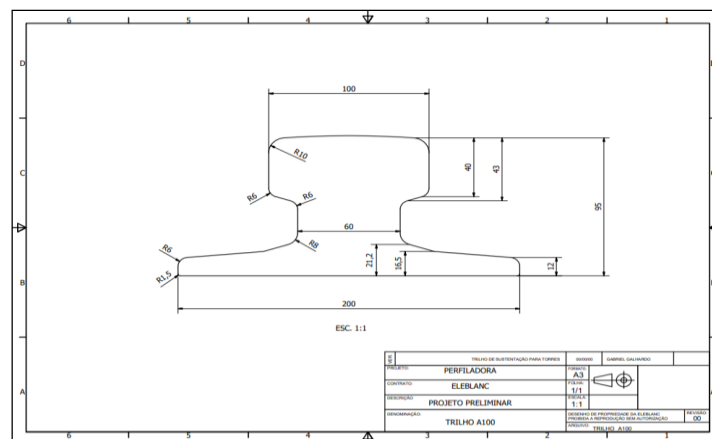


Figura 1. Projeto do perfil do trilho A100.

2.5. Desenvolvimento da Torre

Desenvolvido o modelo da torre que sustenta os rolos de conformação:

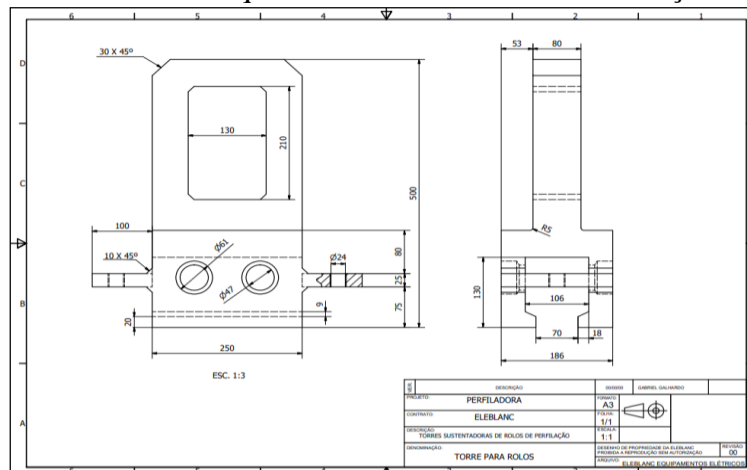


Figura 2. Projeto da Torre.

2.6. Análises dos modelos elaborados para simulação do sistema

Foi utilizado o Software Autodesk Inventor para analisar os esforços através de elementos finitos nas principais partes do sistema.

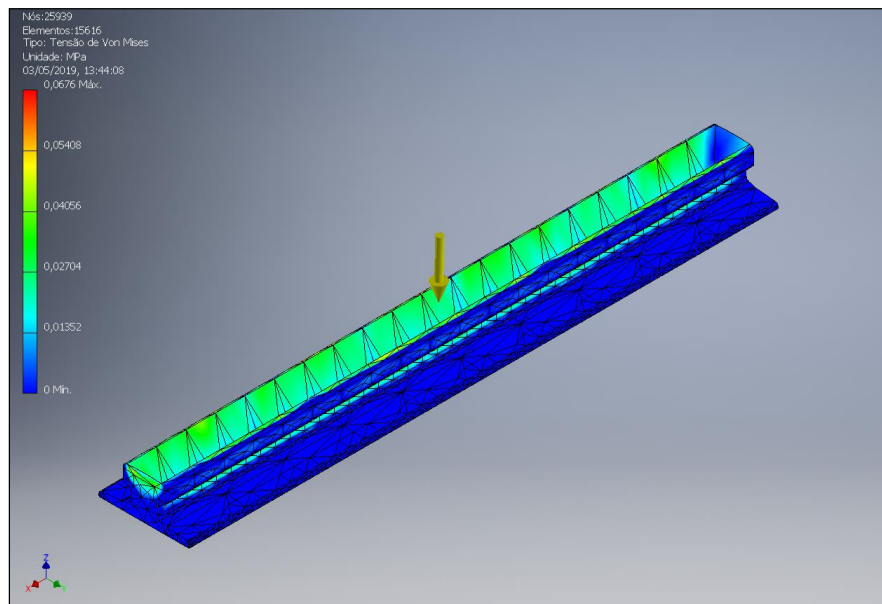


Figura 3. Análise elemento finito do trilho A100.

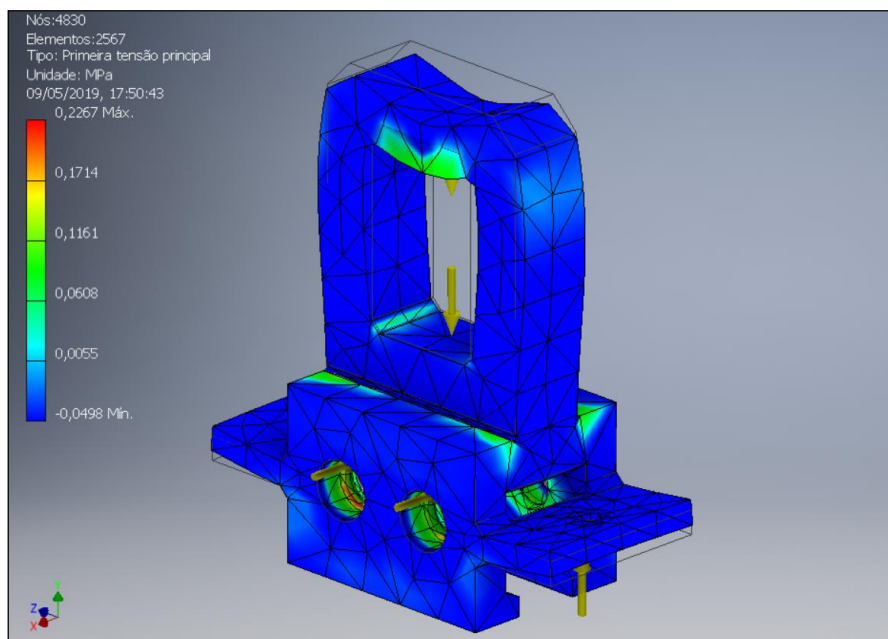


Figura 4. Análise elemento finito da torre.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para que a construção do sistema em questão seja realizada é necessário prover os materiais para sua fabricação. É de vital importância a certificação dos materiais adquiridos quanto a sua conformidade com as características propostas para o material em específico.

3.1. Normas de segurança e qualidade para o projeto

NR 10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade: estabelece os requisitos e condições mínimas objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de

forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade.

NR 12 - Máquinas e Equipamentos: objetiva a melhoria das condições de trabalho em prensas e similares, injetoras, máquinas e equipamentos de uso geral, e demais anexos, de modo que as máquinas e equipamentos permaneçam intrinsecamente seguros.

NR 25 - Resíduos Industriais: o principal objetivo é a prevenção da saúde e da integridade física dos trabalhadores, através da obrigatoriedade das empresas estabelecerem medidas preventivas aos riscos dos resíduos industriais, gerados nos locais de trabalho, até o seu destino final.

ABNT NBR 16197 - Cálculo de Caminho de Rolamento: fixa as diretrizes para o cálculo dos caminhos de rolamentos em base elástica contínua de equipamento para levantamento e movimentação de cargas.

3.2. Imagem do modelo do sistema completo

Após análise das hipóteses, projetos preliminares e análises em sistema simulado foi formulado um modelo do conjunto que será entregue como melhoria no processo de perfilação inserido no contexto da determinada necessidade, desse modo constata-se como o sistema final em sua entrega ao sistema de produção.

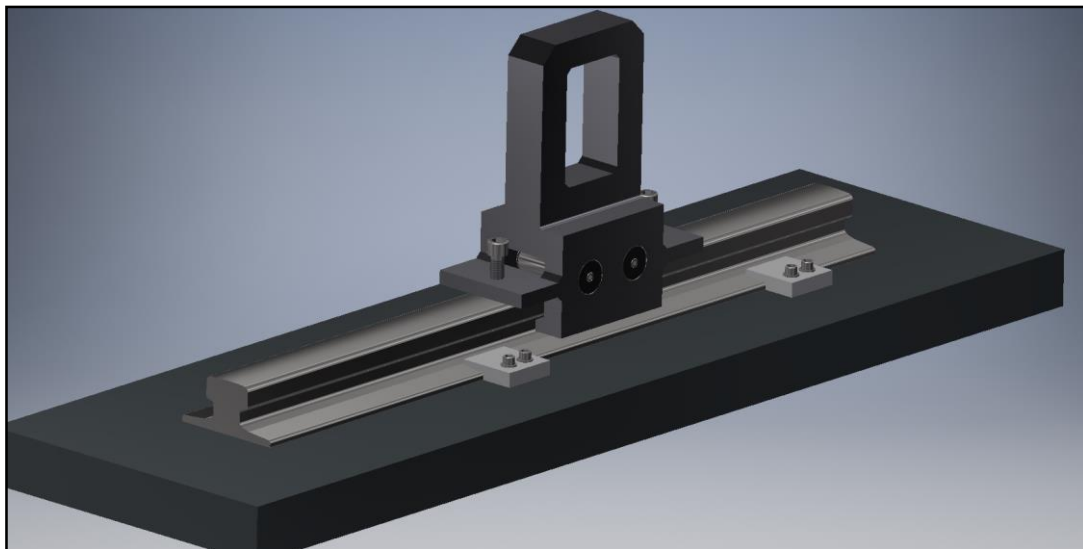


Figura 6. Modelo 3D do sistema completo.

3.3. Vista explodida do produto

Vista explodida do equipamento que demonstra a numeração de cada um dos componentes utilizados no sistema principal da torre para funcionamento mecânico do projeto.

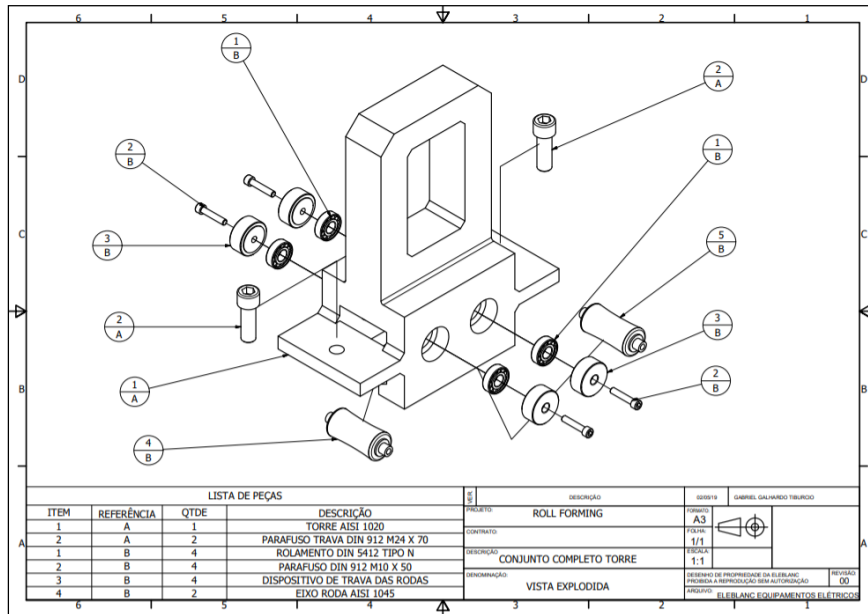


Figura 7. Desenho em vista explodida.

3.4. Esquema mecânico do sistema trilho-torre

Realizado o desenho em vista frontal e lateral do modelo completo para detalhar o esquema mecânico do sistema trilho-torre, cujo qual a torre é deslocada sobre o trilho utilizando o sistema de rodas e rolamentos implementados na torre sustentadora dos rolos conformadores.

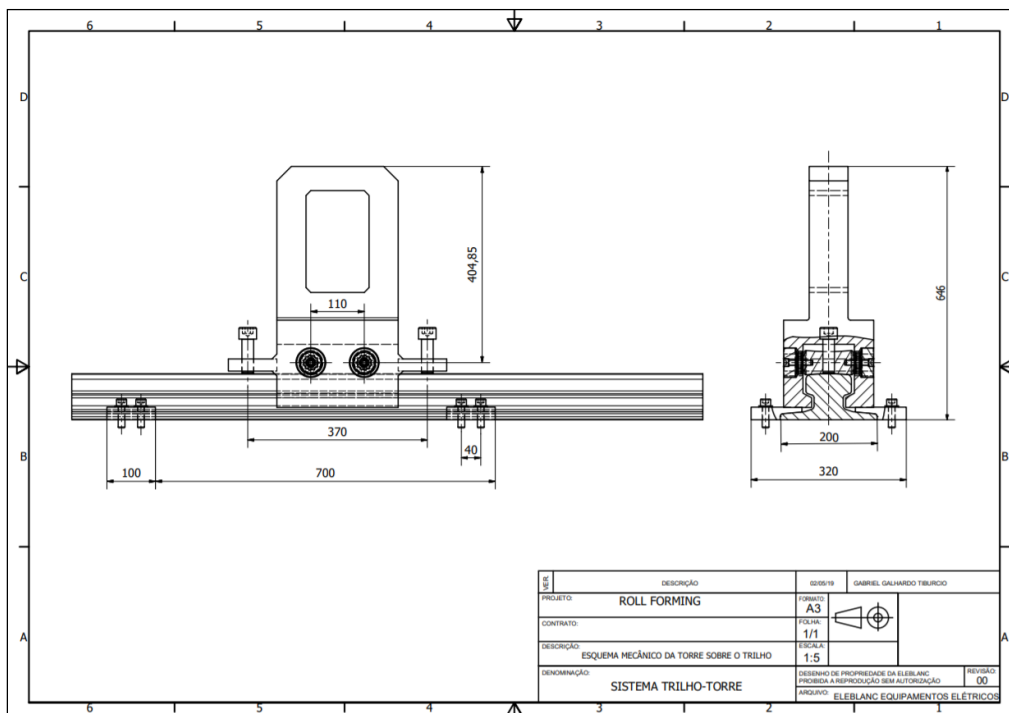


Figura 8. Detalhamento do sistema mecânico trilho-torre.

3.5. Instruções para operação da máquina

O equipamento foi projetado para diminuição do tempo de reparo, visando eliminar desperdícios de tempo no momento de retirada da estrutura sustentadora dos rolos (torre) e melhoria nos rolos para eliminar defeitos gerados no produto final. Deste modo foram desenvolvidas as instruções básicas em que se deve atentar para que o operador possa realizar o processo de fabricação. Verificar travas: para sua operação deve-se primeiramente verificar se as travas da torre estão efetivamente fixadas e alocadas de modo que a torre não se desloque ao longo do trilho. Verificar o sistema de rodas: Após verificação das travas deve-se imediatamente verificar se os parafusos dos dispositivos fixadores dos rolamentos estão intactos, sem folga e sem fraturas. Verificar lubrificação: Antes de iniciar a operação é necessário verificar se o reservatório de óleo possui o nível mínimo de lubrificante para que a máquina opere sem qualquer divergência do projeto.

3.6. Instruções para operação da manutenção

O equipamento dispõe dos seguintes sistemas para sua manutenção: estrutura da torre, sistema de rolamento das rodas, trava de fixação, rolo de conformação e o sistema do trilho principal.

3.7. Estrutura da torre

A torre fabricada em estrutura metálica de aço AISI 1020 devido à excelente usinabilidade e feito tratamento de têmpera para otimização das propriedades mecânicas, após este processo foi efetivado um revenimento para evitar que a dureza excessiva gere descontinuidades no material devido a uma ocasional vibração durante a operação.

3.8. Sistema de rolamento das rodas

O sistema de giro é composto por um rolamento DIN 5412 tipo N, sem utilização de lubrificação adicional. Acoplado por um dispositivo de trava que permite o rolamento rotacionar sem interferências. Os rolamentos devem ser avaliados no período compreendido a cada 30 dias, caso apresente mau funcionamento ou sinais de fratura, as travas devem ser mantidas fixadas para retirada dos dispositivos de travamento dos rolamentos e após isto poderão ser trocados os rolamentos determinados descritos na lista de peças de reposição.

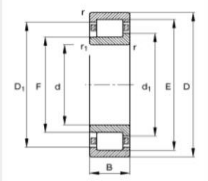
Cylindrical roller bearings NJ2317-E-TVP2	
main dimensions to DIN 5412-1; semi-locating bearing, separable, with cage	
	d 85 mm
	D 180 mm
	B 60 mm
	B₁ 12 mm
	B₂ 22 mm
	D₁ 152,7 mm
	D_{a max} 166 mm
	d₁ 117,8 mm
	d_{a max} 106 mm
	d_{a min} 99 mm
	d_{2 min} 119 mm
	F 108 mm
	r_{1 min} 3 mm
	f_{a max} 2,5 mm
	f_{a1 max} 2,5 mm
	r_{1 min} 3 mm
	s 4,7 mm Axial displacement facility from central position
	m 6,85 kg Mass
	C 435000 N Basic dynamic load rating, radial
	C₀ 445000 N Basic static load rating, radial
	n_G 4550 1/min Limiting speed
	n_B 3350 1/min Reference speed
	C₁ 80000 N Fatigue limit load, radial

Figura 9. Detalhes técnicos do rolamento.

3.9. Trava de fixação

Embora se trate de uma trava redundante de segurança, visto que a torre não poderá se deslocar ao longo do trilho durante o processo, foi implantada uma trava de cada lado da torre que funciona através de parafusos que pressionam o trilho de modo com que a torre se mantenha estática, apenas podendo ser retirada quando em manutenção ou em caso de ajuste.

Para a operação de manutenção do equipamento deve se atentar para estas travas de segurança que apenas devem ser removidas com a máquina totalmente desligada, e deve-se regularmente examinar a qualidade da parte de contato da trava com o trilho para que não haja deterioração da mesma.

3.10. Rolo de conformação

Para consertos nos rolos de conformação ou ajuste na distância compreendida entre os rolos deve se retirar ambas as travas que fixam a torre no trilho, e deslocar as torres ao longo do trilho até o limite das presilhas fixadoras do trilho na mesa ou até o determinado ponto desejado. Após a conclusão é necessário verificar se as travas estão fixadas e alocadas nos devidos locais.

Durante o processo, os rolos são constantemente lubrificados para evitar desgaste e aquecimento, o óleo utilizado durante o processo é solúvel em água e deve-se sempre atentar ao nível da solução no reservatório de óleo.

3.11. Sistema do trilho principal

Quanto ao trilho principal, é o modelo A100 fabricado em aço AISI 1020 sem qualquer tipo de tratamento superficial, cuja fixação na mesa-suporte da máquina é feito através de presilhas, fabricadas também em aço AISI 1020, fixadas com parafusos DIN 912.

3.12. Lista de peças de reposição

A lista de componentes trata-se das peças que compõe o sistema, esta lista é um item vital para que a manutenção preventiva e corretiva.

Tabela 1. Lista de peças para reposição.

Item	Referência	Nome do elemento	Descrição	Quantidade
01	A	Torre	AISI 1020	01
02	A	Parafuso trava	DIN 912 M24 X 70	02
01	B	Rolamento	DIN 5412 tipo N	04
02	B	Parafuso	DIN 912 M10 X 50	04
03	B	Trava do rolamento	AISI 1020 Ø60 mm	04
04	B	Eixo roda	AISI 1045	02
05	-	Trilho	Trilho A100	01
06	-	Presilha	AISI 1020	04
07	-	Parafuso	DIN 912 M14 X 45	08

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado esperado após a conclusão deste projeto é a diminuição do tempo médio de reparo (MTTR), devido a redução de tempo diretamente na retirada da torre para uma melhor efetividade nos reparos, diminuindo consequentemente o *lead time* da operação, além de uma ajustabilidade mais específica entre as estruturas que suportam os rolos de conformação, possibilitando que se alcance um ajuste que resulte em uma diferença maior ou menor entre rolos para que a angulação do produto perfilado seja o mais próximo do ideal segundo o projeto primário. Desta maneira torna possível que a ajustagem e manutenção sejam mais práticas e realizadas em menor tempo, como visto na Tabela 2, obtendo o produto final com um rendimento satisfatório da máquina.

Tabela 2. Tempo médio de reparo (MTTR) em minutos

Período	Antes da implantação do Projeto	Após a implantação do Projeto
1 ^a	150	74
2 ^a	143	72
3 ^a	148	77
4 ^a	155	81

5. CONCLUSÃO

Neste projeto, tem-se como ponto forte a resistência do equipamento, com a praticidade ao reparar ou regular os rolos de conformação, diminuindo expressivamente o tempo de reparo, mantendo a produção constante com a facilidade de manutenção da máquina, além da simplicidade do sistema mecânico. Porém, o ponto fraco do projeto é a dificuldade para implantar os trilhos na mesa-suporte da máquina, pois teve de se adaptar a mesa-suporte de modo que receba corretamente o sistema de caminho de rolamento. Além disto, se faz necessário uma constante aferição dos rolamentos visto que depois de alocados, receberão cargas apenas em um determinado ponto, podendo gerar uma tensão de fadiga ou vibração, ocasionando uma possível fratura futuramente.

Os processos de fabricação utilizados neste projeto são usinagem convencional e usinagem em CNC, tratamentos de têmpera e revenimento e testes de certificação do material com ensaio e teste com líquido penetrante,

6. REFERÊNCIAS

ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005 Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração. ABNT. Rio de Janeiro. 2005.

BRASIL. Associação Brasileira de normas técnicas. ABNT 1008. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/09/aco-sae-1008-propriedades-mecanicas.html>. Acesso em 12 mai.2019. **Anais do VI CIMATech – 22 a 24 de outubro de 2019, FATEC-SJC, São José dos Campos - SP.**

FERREIRA, A. B. H. Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa. 4ed, Curitiba: Positivo, p. 2120. 2009.

HALMOS, GEORGE T. Roll Forming Handbook (Manufacturing Engineering and Materials Processing). Ed. Geoffrey Boothroyd, 2006.

IIDA I.; BUARQUE L. Ergonomia Projeto e Produção. São Paulo: Blucher, 2016.

LUZ, G. Manual operacopnal Arselor Mital. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/12/tensao-admissivel.html>. Acesso em 12 mai.2019.

MOURA, R. A.; JESUS, N. M. R.; SOUZA, R. S. **Antropometria e ergonomia como ferramentas de vanguarda produtivas nas indústrias do futuro.** Revista SODEBRÁS. Volume nº 14. Edição nº 157. Janeiro/2019, p.109-112. ISSN. 1809-3957. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.2019.157>.

NIEMAM, G. Elementos Máquinas, Volume I e 2. Ed. Edgar Blusher, 2002.

NORTON, Robert L. Projeto de máquinas. Bookman Editora, 2013.

SAE. *Society of Automotive Engineers*. Aço baixo carbono. Disponível em: https://pt.m.wikipedia.org/wiki/Classifica%C3%A7%C3%A3o_SAE. Acesso em 12 mai.2019.

SHIGLEY, M. **Projeto de Engenharia Mecânica.** 7º Edição. Reimpressão 2011.

STONE, R.; BALL, J. K. **Automotive engineering fundamentals.** Michigan - USA. SAE Technical Paper. 2004.