

TECNOLOGIA CAE APLICADA À MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

CAE TECHNOLOGY APPLIED TO INDUSTRIAL MAINTENANCE

Andrews de Paula Jesuino ^{1, i}

Daniel Camusso ^{2, ii}

Rudolfo Hesse ^{3, iii}

Sergio Tadeu Bernatavicius ^{4, iv}

Data de submissão: 16/03/2022 Data de aprovação: 26/04/2023

RESUMO

A manutenção industrial desempenha um papel estratégico nas grandes empresas. É fundamental que as equipes de manutenção tenham como prioridade o aumento da disponibilidade dos equipamentos e redução de paradas inesperadas. O objetivo desse trabalho é demonstrar, por meio da tecnologia de engenharia auxiliada por computador (CAE - *Computer-Aided Engineering*), que manutenções corretivas podem ser previamente estudadas e validadas em ambiente virtual. O resultado é ganho de tempo e prevenção de possíveis retrabalhos, poupando custos e mão de obra. O case abordado será a manutenção corretiva em um tambor de elevador industrial de carrocerias automotivas, que sofreu a quebra de uma união soldada devido a fadiga por esforços mecânicos repetitivos. Utilizando o software CATIA V5 foi possível desenhar o tambor e realizar a análise de tensões mecânicas exercidas sobre o conjunto, onde foi possível identificar a causa-raiz do problema, simular e validar a eficácia da solução proposta e solucionar na prática o problema crônico.

Palavras-chave: engenharia auxiliada por computador; manutenção corretiva; ambiente virtual; esforços mecânicos repetitivos.

ABSTRACT

Industrial maintenance plays a strategic role in great companies. It is essential that maintenance teams prioritize increasing equipment availability and reducing unexpected stops. The objective of this work is to demonstrate, through computer-aided engineering (CAE) technology, that corrective maintenance can be previously studied and validated in a virtual environment. The result is time savings and prevention of possible rework, saving costs and labor. The case addressed will be corrective maintenance on an industrial elevator drum for automotive bodies, which suffered a break in a welded joint due to fatigue due to

¹ Pós-graduando em Projeto, Manufatura e Análise de Engenharia pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: andrews_pj@hotmail.com

² Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica Mestrando em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté. Especialista em CAD/CAE e IoT. E-mail: daniel.camusso@sp.senai.br

³ Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica Especialista em Usinagens / Processos / Materiais. E-mail: rudolfo.hesse@sp.senai.br

⁴ Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica Especialista em *Supply Chain Management* (SCM), Automóvel, *Design*, Tecnologia, Qualidade, Produção e Administração. E-mail: sergio.tadeu@sp.senai.br

repetitive mechanical efforts. Using the CATIA V5 software, it was possible to design the drum and carry out the analysis of the mechanical stresses exerted on the set, where it was possible to identify the root cause of the problem, simulate and validate the effectiveness of the proposed solution and solve the chronic problem in practice.

Keywords: Computer-Aided Engineering (CAE); corrective maintenance; virtual environment; repetitive mechanical stresses.

1 INTRODUÇÃO

Os complexos sistemas de produção automotivos requerem amplo espaço físico para construção de suas células de trabalho, onde são necessárias divisões de operações por alas ou galpões industriais. Para as carrocerias transitarem entre as linhas de produção, que possuem diversos níveis de altura diferentes, são necessárias mesas de rolos, *skids*⁵ e elevadores industriais para o transporte no processo produtivo, como observado na figura 1.

Figura 1 – Carroceria automotiva sobre skid em transporte



Fonte: AFT-Group (2023)

Devido ao alto volume de produção de veículos esses elevadores efetuam vários movimentos repetitivos de subida e descida, com carga e sem carga, para que as carrocerias sigam para as próximas etapas do processo produtivo. Há situações em que as linhas de produção possuem diferenças de altura em média de 10 metros, como observado na figura 2 a seguir.

⁵ *Skids* são componentes construídos em aço constituídos por duas barras longas principais unidas por outras barras menores transversais, que servem para apoiar e transportar, por meio de mesas de rolos de transporte, as carrocerias automotivas durante sua construção entre diversas operações do processo produtivo.

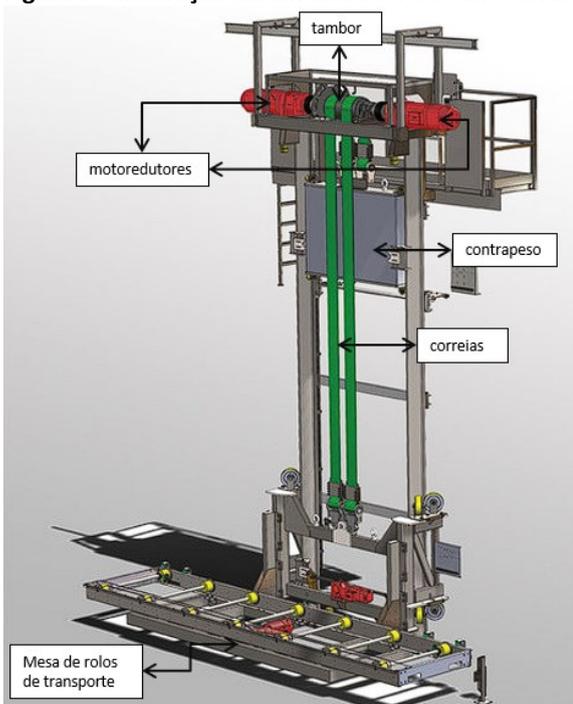
Figura 2 – Elevador industrial de carrocerias automotivas.



Fonte: AFT-Group (2023)

Basicamente, esses elevadores funcionam por meio de um motoredutor acoplado a um tambor que gira e movimenta as correias que são fixadas à mesa do elevador de um lado e ao contrapeso do outro lado (figura 3), para que os movimentos de subida e descida sejam uniformes.

Figura 3 – Ilustração de um elevador de carrocerias automotivas

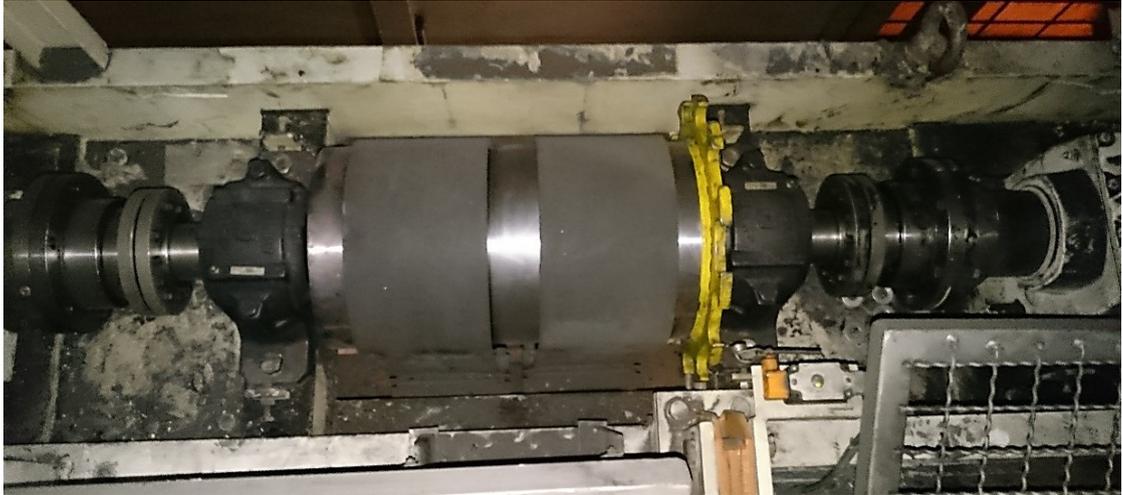


Fonte: ERTL (2023)

1.1 Problema de pesquisa

O tambor do elevador industrial sofre grande incidência de cargas e esforços mecânicos devido a sustentação do peso do conjunto e movimentos repetitivos de giro no sentido horário e anti-horário para que a mesa do elevador suba ou desça (figura 4). Com o tempo de trabalho a vida útil do tambor é comprometida devido à fadiga causada em sua estrutura mecânica, causando trincas principalmente nas uniões soldadas.

Figura 4 – Tambor de elevador industrial acoplado ao motoredutor



Fonte: Elaborada pelo autor

1.2 Objetivos

A proposta deste trabalho é encontrar as causas raízes deste problema utilizando a ferramenta de qualidade “método 6M” e analisar por meio do método de elementos finitos, apresentando uma solução para que a manutenção corretiva a ser executada seja eficaz, evitando retrabalho e perda de tempo e recursos.

1.3 Justificativa

A análise em ambiente virtual se justifica pela possibilidade de buscar a origem do problema, sugerir uma manutenção corretiva mais adequada antes da implantação, e consequentemente prevenir a reincidência do problema economizando tempo e custos desnecessários.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Manutenção industrial

Atualmente é inadmissível que um equipamento pare de funcionar inesperadamente ou sem planejamento. Isso é caracterizado um fracasso para a manutenção. As equipes não devem atuar apenas nas falhas, mas sim atuar na prevenção delas (KARDEC e NASCIF, 2013). O papel da manutenção industrial não se resume apenas a consertar os equipamentos. Seu planejamento é muito mais amplo do que imaginamos. Existem diversas etapas a serem

seguidas, onde todas são fundamentais para o perfeito funcionamento dos processos industriais. (ARAÚJO, 2019).

Existem três tipos de manutenção industrial: preditiva, preventiva e corretiva. Na manutenção preditiva é realizado o monitoramento e análise das máquinas e componentes. O objetivo é detectar sintomas de desgaste e possíveis falhas, obtendo dados para um estudo mais aprofundado. A manutenção preventiva visa evitar paradas não planejadas de produção, prevenindo o desgaste prematuro dos equipamentos mediante paradas de produção planejadas para atuação das equipes de manutenção no processo produtivo. A manutenção corretiva trata do reparo do equipamento após ocorrência da falha. É a menos desejada pelas companhias porém a mais comum, muitas vezes por falha no planejamento de manutenção. Pode ser planejada ou não planejada, dependendo do grau de criticidade das falhas (KARDEC e NASCIF, 2013).

2.2 Fadiga de estruturas soldadas

Baseado no estudo sobre fadiga de estruturas soldadas, é possível concluir que a causa da quebra da união tenha sido defeitos de soldagem ou trincas geradas na estrutura do material devido à fadiga por esforços mecânicos repetitivos, como observado na figura 5. (BRANCO; FERNANDES; CASTRO, 1999).

Figura 5 – Quebra de união soldada devido a esforços repetitivos



Fonte: Elaborada pelo autor

2.3 Método 6M para análise de causa e efeito

Após manutenção corretiva e repetição do problema de quebra da solda, resolvi aprofundar a análise desse problema utilizando uma das diversas ferramentas de qualidade, denominada “método 6M”. De acordo com Faesarella (2006), método 6M é uma ferramenta de qualidade utilizada para identificar, explorar e ressaltar as possíveis causas de um problema e seus efeitos. Os 6M's se referem aos seguintes parâmetros:

1. **Máquina:** verifica se a máquina apresenta plenas condições de uso e atende aos requisitos básicos estabelecidos;
2. **Método:** verifica se o procedimento ou processo adotado atende as conformidades exigidas;
3. **Material:** verifica se o material atende as especificações técnicas adequadas para utilização;
4. **Meio ambiente:** verifica se fatores climáticos (frio, calor, poluição, etc.) ou fatores físicos (falta de espaço, desorganização, etc.) afetam a correta utilização dos meios;
5. **Medição:** esse parâmetro identifica se há falhas técnicas de medição, falha de monitoramento ou variáveis inadequadas.
6. **Mão-de-obra:** esse parâmetro verifica se a proficiência técnica e disciplina dos profissionais estão de acordo com os padrões exigidos.

É importante ressaltar que a gestão da qualidade deve ser empregada em todas as atividades de manutenção, onde o objetivo principal é identificar e gerir as atividades necessárias para melhoria da competitividade das empresas, otimizando a qualidade de seus produtos, serviços, processos e recursos humanos, e conseqüentemente reduzindo custos (FAESARELLA; SACOMANO; CARPINETTI, 2006).

2.4 Método dos Elementos Finitos

Para que os cálculos computacionais sejam realizados é necessário discretizar o produto a ser ensaiado virtualmente. Para isso, foi empregado o método dos elementos finitos (MEF), que consiste na construção de uma malha de elementos finitos que subdivide todo produto normalmente em pequenos tetraedros, que podem ser parabólicos ou lineares. Após construção da malha de elementos finitos é possível calcular as tensões em cada nó de ligação entre os elementos (SOUZA e ULBRICH, 2013).

Mediante apresentação gráfica dos valores dessas tensões é possível identificar quais são os pontos que sofrem maior incidência de cargas mecânicas. Isso possibilita a identificação de pontos frágeis na construção do produto e auxilia também a propor e validar possíveis otimizações (ALVES FILHO, 2002).

3 METODOLOGIA

A metodologia empregada é exploratória e baseada no estudo de caso. Na primeira parte houve um trabalho no sentido de identificar e analisar os esforços atuantes no tambor. Na segunda parte foi proposta uma melhoria no projeto.

3.1 Manutenção corretiva

No caso da manutenção corretiva realizada no elevador industrial, foi decidido realizar o reparo do tambor em uma parada de produção planejada. Após execução da manutenção corretiva foi verificado que após um tempo as trincas voltaram a surgir, como observado na figura 6. Isso demonstra que mesmo utilizando técnicas adequadas de soldagem, a fadiga da solda e do material em volta da união, tecnicamente chamada de zona afetada pelo calor (ZAC), acabam gerando novas trincas (WAINER; MELLO; BRANDI, 1992).

Figura 6 – Solda trincada após manutenção corretiva. Com o tempo mostrou-se ineficaz.



Fonte: Elaborada pelo autor

3.2 Diagrama de causa e efeito

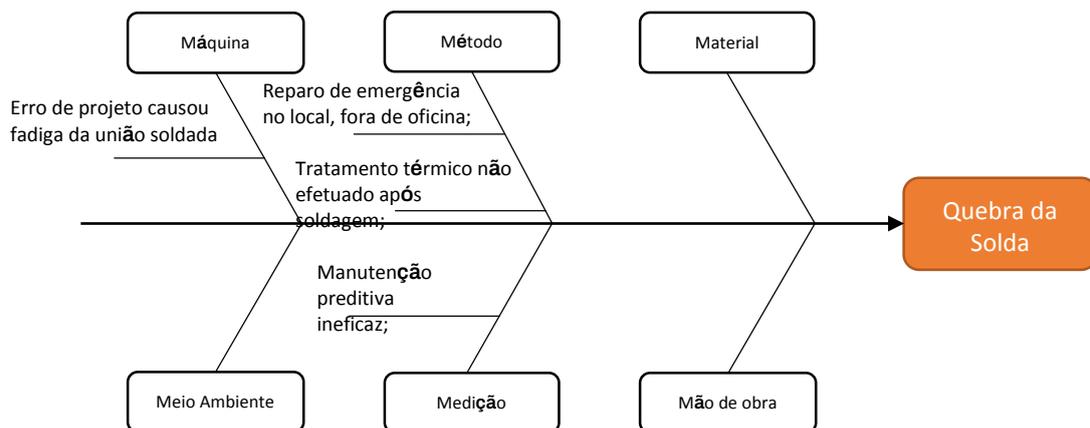
Para empregar essa metodologia em nosso estudo será utilizada a técnica do diagrama de causa e efeito, também conhecido como diagrama de Ishikawa ou espinha de peixe. Para construção desse diagrama, seguimos as seguintes etapas:

- a) Definir o problema a ser analisado;
- b) Levantar as possíveis causas do problema;

- c) Construir o diagrama. O problema é colocado à direita de uma linha horizontal e as causas são colocadas nas linhas ramificadas que partem dessa linha horizontal;
d) Interpretar o diagrama, destacando a causa mais importante do problema.

Após conclusão dessas etapas, podemos utilizar esse diagrama para analisar o problema, e o resultado é apresentado na figura 7:

Figura 7 – Utilização do diagrama de Ishikawa



Fonte: Elaborada pelo autor

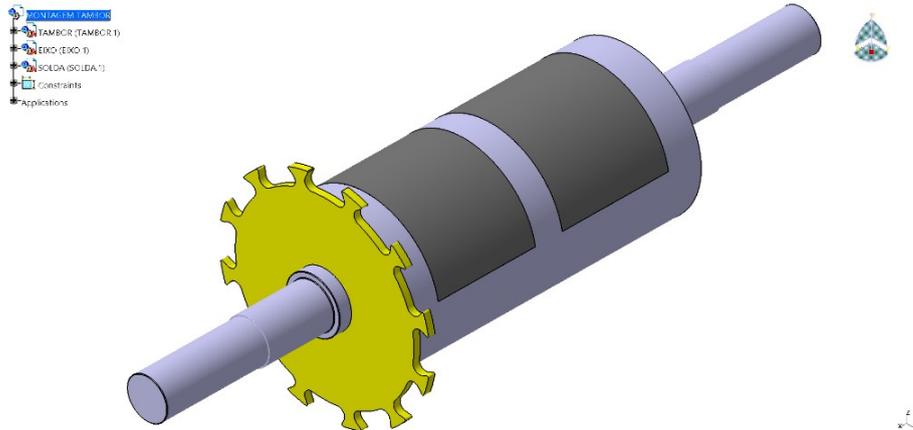
Interpretando esse diagrama, no parâmetro “máquina” constatei erro de projeto, pois uma única solda no eixo do tambor não seria suficiente para suportar todas as cargas exercidas sobre o conjunto. No parâmetro “método” também foi constatado que, devido à urgência, a manutenção corretiva foi realizada no próprio local, onde o ideal seria desmontar o tambor do equipamento e levá-lo para uma oficina de manutenção para soldagem, tratamento térmico para alívio de tensões e análise de solda por ultrassom ou ensaio por líquido penetrante, por exemplo. No parâmetro “medição”, analisando o plano de manutenção preditiva, constatei que há apenas inspeção visual e monitoramento periódico das correntes elétricas nos inversores de frequência dos motoredutores. Essa metodologia não se mostra suficiente, pois dessa forma o problema só será detectado quando os motoredutores já estiverem exercendo esforços acima do limite ou quando a união soldada já estiver comprometida. Uma sugestão de melhoria seria a utilização de células de carga na região, realizando o monitoramento das cargas exercidas sobre o tambor.

Assim sendo, foi possível concluir que a manutenção corretiva poderia ser melhor executada, mas que a causa-raiz desse problema foi a utilização de apenas uma união soldada no tambor, que suporta toda carga do conjunto e sofre fadiga devido aos ciclos repetitivos de subida e descida do elevador. Esse modo de falha também foi detectado utilizando um modelo matemático em ambiente virtual.

3.3 Desenvolvimento do modelo matemático em ambiente virtual

O modelo foi construído no software CATIA V5 em escala natural, onde utilizou os módulos “Part Design” e “Assembly Design” para modelamento tridimensional e montagem do conjunto, chegando ao resultado apresentado na figura 8 a seguir.

Figura 8 – Modelamento tridimensional do tambor



Fonte: Elaborada pelo autor

O tambor é construído em aço e a tabela 1 informa suas características.

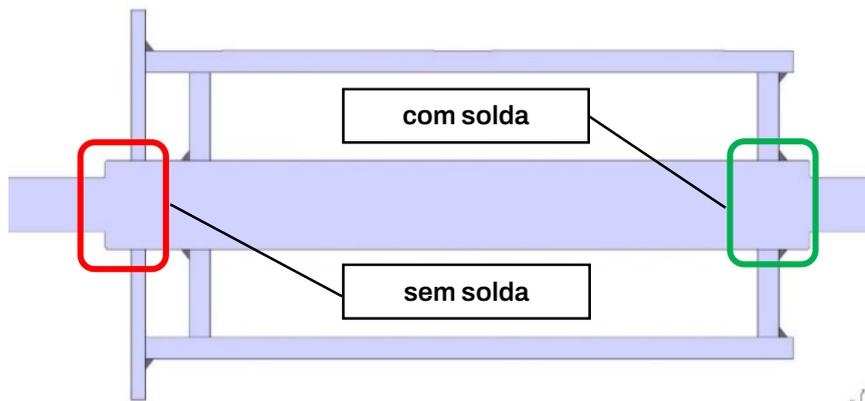
Tabela 1 – Propriedades de material

| | |
|---|-----------------------------|
| Material | Aço |
| Tipo | SAE 1045 |
| Tensão de escoamento (<i>Yield strength</i>) | 250 – 300 MPa (megapascals) |

Fonte: SAE *International* (2014)

Durante análise em oficina de manutenção, observou-se que o eixo era soldado ao tambor apenas de um lado, como pode ser observado na figura 9.

Figura 9 – Vista lateral em corte



Fonte: Elaborada pelo autor

Identificado esse possível problema, decidi se primeiramente comprovar esse modo de falha em ambiente virtual antes de decidir com a equipe de manutenção qual seria a melhor solução.

Nesse caso, utilizar a tecnologia CAE para analisar a causa-raiz do problema e posteriormente validar a eficácia da proposta de manutenção corretiva seria fundamental para prevenir a reincidência do problema e reduzir custos com recursos e mão-de-obra. Além

de poupar tempo e evitar uma parada de produção, o que causaria grande prejuízo para a companhia.

3.4 Preparação do protótipo para simulação virtual

Para realização do ensaio virtual foi utilizado o módulo “*Generative Structural Analysis*”, e a união de cada componente do conjunto tambor foi criada por meio de comandos “*Fastened Connection Property*”.

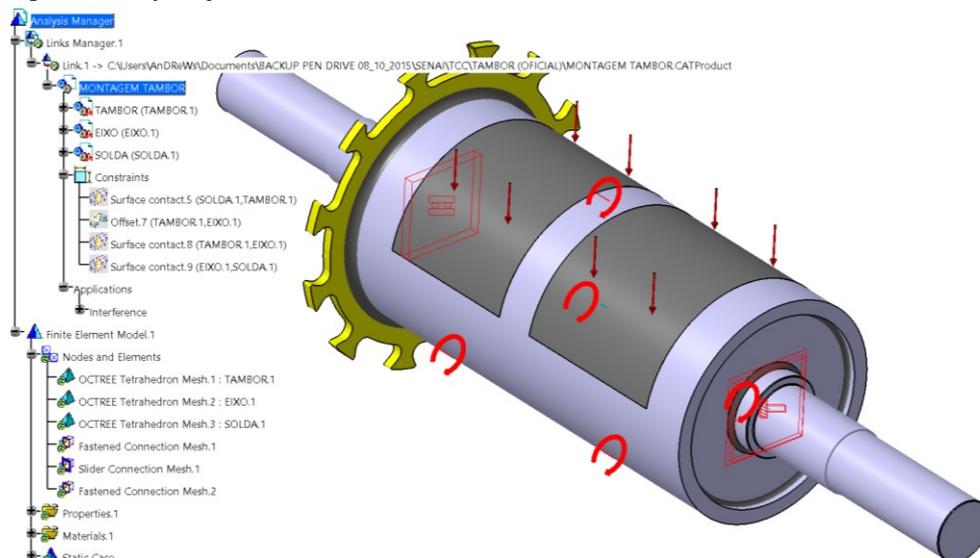
O equipamento é acionado por um motoredutor que trabalha com torque de 1060 newton-metros (Nm), variável que foi inserida por meio do comando “*Moment*”.

Uma carroceria veicular apenas em construção de chapas de aço, com *skid*, pesa em média 500 quilos (kg), a mesa do elevador que sustenta o *skid* com a carroceria pesa em média 1500 kg, o elevador também possui um contrapeso de aproximadamente 3000 kg. Totalizando 5000 kg ou 5 toneladas o conjunto completo que o tambor deverá movimentar. Assim sendo, a força-peso suportada pelo tambor do elevador será de 50000 newtons (N), carga aplicada de forma distribuída na vertical para baixo por meio do comando “*Distributed Force*”.

A união quebrada tinha sido realizada pelo processo de soldagem à arco elétrico, onde foram utilizados eletrodos revestidos do tipo E6013 (BÖHLER, 2016). De acordo com normas da *American Welding Society (AWS)*, esse tipo de eletrodo possui tensão de escoamento de 330 MPa, então foi desenhada e aplicada a solda ao protótipo virtual.

E a última restrição aplicada foi o “*Clamp*” para fixar o eixo do tambor, finalizando dessa forma a inserção das variáveis de entrada. A representação das forças atuantes sobre o conjunto pode ser visualizada na figura 10.

Figura 10 – Aplicação das variáveis de entrada



Fonte: Elaborada pelo autor

O tipo de elemento e os respectivos tamanhos estão descritos na tabela 2.

Tabela 2 – Características dos tetraedros

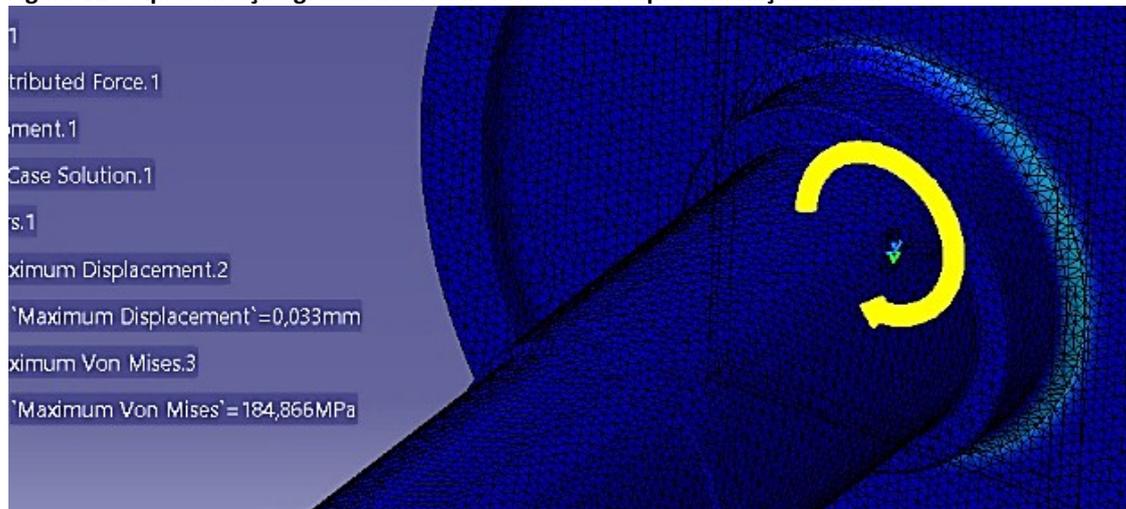
| Componente | Tipo de tetraedro | Tamanho (<i>size</i>) | Erro (<i>absolute sag</i>) |
|------------|-------------------|-------------------------|------------------------------|
| Tambor | Parabólico | 3mm | 1mm |
| Eixo | Parabólico | 3mm | 1mm |
| Solda | Parabólico | 1mm | 0,5mm |

Fonte: Elaborada pelo autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o processamento, o maior ponto de tensão encontrado está próximo da região onde houve a quebra da união soldada. De acordo com a análise, a tensão foi de 185 MPa, chegando próximo da tensão de escoamento do aço SAE 1045, conforme figura 11.

Figura 11 – Apresentação gráfica dos resultados obtidos após simulação virtual

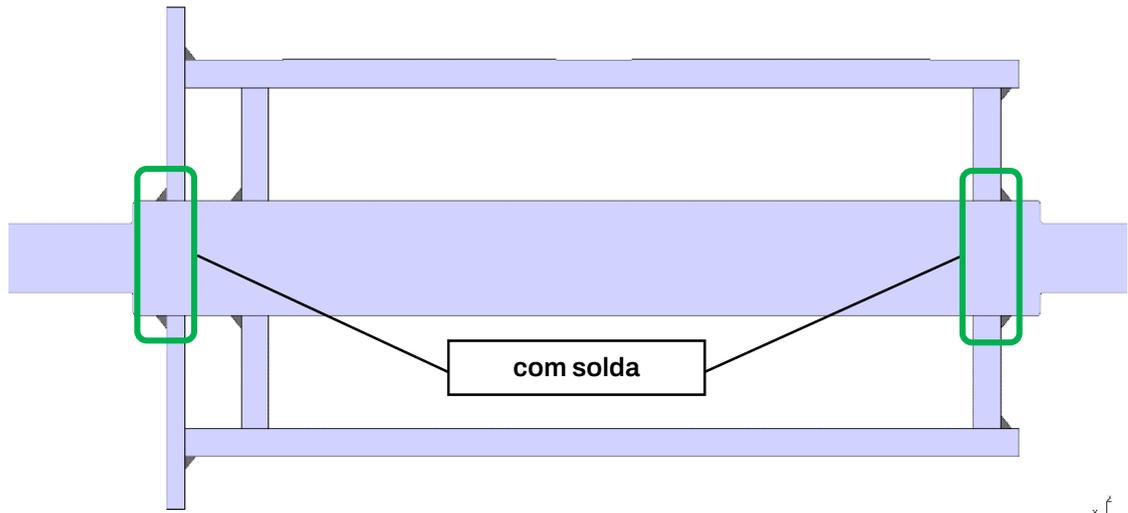


Fonte: Elaborada pelo autor

Pode-se concluir que, mesmo o aço não entrando em sua zona de deformação plástica, ele acaba fadigando pelo regime de trabalho repetitivo ao qual o equipamento é solicitado, gerando trincas em sua estrutura até a ruptura da união soldada.

Com base nesses dados, foi decidido simular a proposta de manutenção corretiva sugerida pelo time, que seria adicionar mais uma solda ao conjunto, e validar via tecnologia CAE a eficácia da solução, como pode ser observado na figura 12 na próxima página.

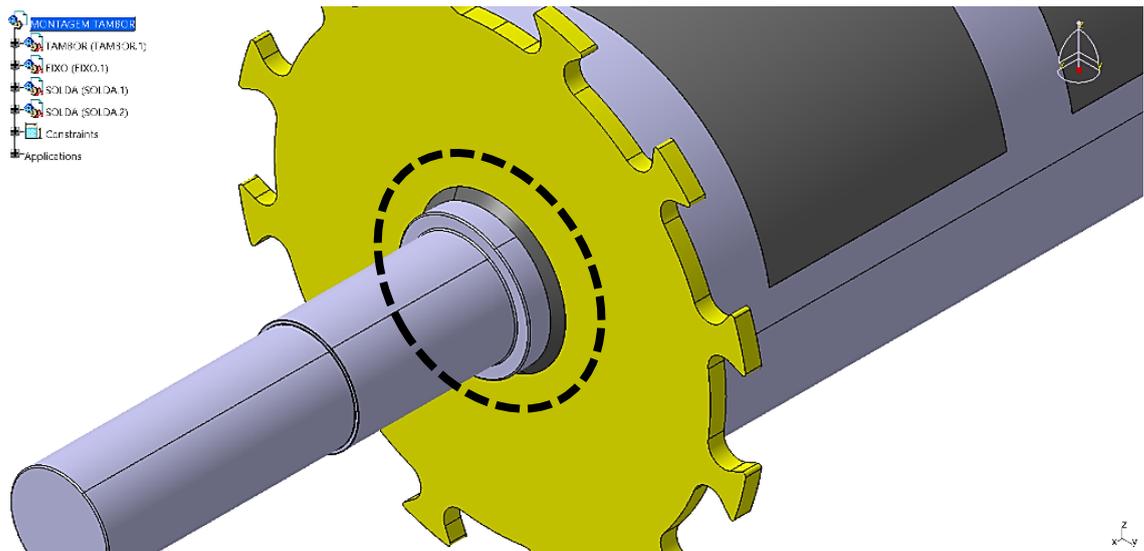
Figura 12 – Vista lateral em corte com melhoria sugerida



Fonte: Elaborada pelo autor

Seguindo novamente a etapa de desenvolvimento do protótipo virtual, foi calculada a tensão após adição do novo cordão de solda proposto, observado na figura 13 a seguir.

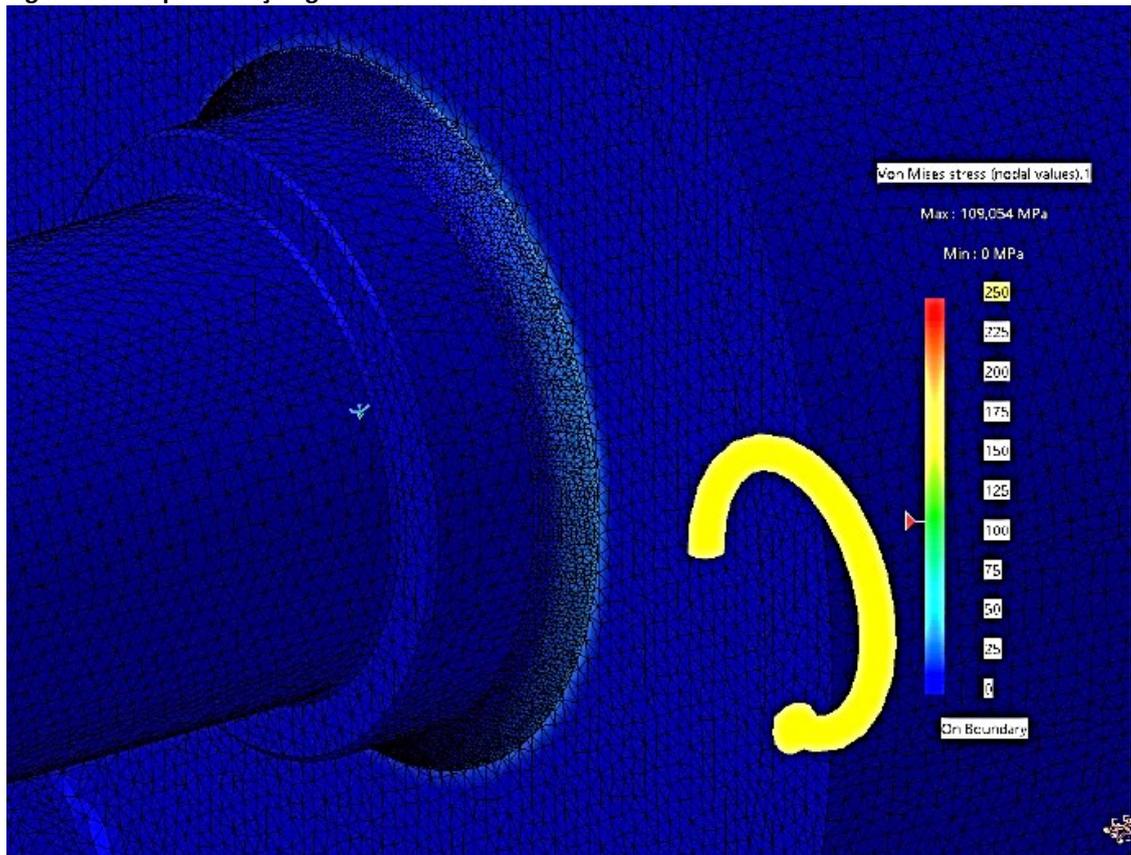
Figura 13 – Cordão de solda adicionado ao protótipo virtual



Fonte: Elaborada pelo autor

Representado na imagem abaixo, pode se identificar que as tensões exercidas sobre o conjunto foram distribuídas entre as duas uniões soldadas, permitindo que o tambor trabalhe efetivamente sem comprometer sua estrutura mecânica. O resultado de “Von Mises Stress” foi de 109 MPa. Valor abaixo da tensão de escoamento do aço SAE 1045. A representação gráfica pode ser observada na figura 14.

Figura 14 – Representação gráfica dos resultados



Fonte: Elaborada pelo autor

Mediante análise e validação dos resultados positivos por meio da tecnologia CAE, foi possível atuar na manutenção corretiva com mais assertividade (figura 15), tendo base teórica a partir de testes virtuais comprovando a eficácia da solução (figura 16).

Figura 15 – Tambor em manutenção, região traseira



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 16 – Novo cordão de solda aplicado, região dianteira



Fonte: Elaborada pelo autor

5 CONCLUSÃO

A finalidade das equipes de manutenção na indústria é, basicamente, manter todos os equipamentos inerentes ao processo produtivo funcionando efetivamente.

Com base no caso prático abordado, conclui-se que a utilização da tecnologia CAE pode dar suporte a essas equipes tanto para encontrar a causa-raiz de problemas crônicos quanto propor e validar virtualmente possíveis melhorias. De fato, isso se traduz em economia de tempo, recursos e mão de obra. Além de prevenir paradas de produção devido a um reparo mal sucedido, que podem gerar enormes prejuízos financeiros.

Garantir o pleno funcionamento dos processos produtivos é fator-chave para as empresas garantirem a competitividade no mercado atual, fazendo muito sentido investir na área de engenharia auxiliada por computador.

REFERÊNCIAS

AFT-Group. AFT Skid Rollenbahn. 2023. Disponível em: <https://www.aft-group.de/portfolio-item/skid-rollenbahn/>. Acesso em: 10 jun. 2022.

ALVES FILHO, Avelino. **Elementos finitos**: a base da tecnologia CAE. 7. ed. p 202-208, São Paulo, 2002.

ARAÚJO, Evanir. **Manutenção industrial**: o que é, exemplos e principais tipos. 21 jun. 2019. Disponível em: <https://www.automacaoindustrial.info/manutencao-industrial/>. Acesso em: 03 dez. 2022.

BÖHLER Welding. **Eletrodo rutílico FOX 6013**. Rev. 6 2016 . Disponível em: <https://ecatalogo.fg.com.br/Content/Arquivos/Arquivos/p1at21pcsr2413ejvvl1mkm1pbv7.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2022.

BRANCO, C. Moura; FERNANDES, A. Augusto; CASTRO, Paulo M. S. Tavares de. **Fadiga de estruturas soldadas**. 2. ed. p 320-339. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1999.

ERTL. **SKID-Fördertechnik**. 2023. Disponível em: <https://www.ertl-gmbh.de/produkt-leistungsspektrum/foerdertechnik/skid-foerdertechnik/>. Acesso em: 12 abr. 2023.

FAESARELLA, Ivete S.; SACOMANO, José B.; CARPINETTI, Luiz C.R. **Gestão da Qualidade: conceitos e ferramentas**. EESC/USP Editora, p 71-73. São Carlos, abril 2006. Disponível em: http://repositorio.eesc.usp.br/bitstream/handle/RIEESC/6212/FaesarellaIvete_GestaoQualidade.pdf?sequence=1. Acesso em: 12 abr. 2023.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção Preditiva: fator de sucesso na gestão empresarial**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.

SAE INTERNATIONAL. **SAE J403_201406**: chemical compositions of SAE carbon steels. Canada: SAE International, 2014. Disponível em: https://www.sae.org/standards/content/j403_201406/. Acesso em: 23 jul. 2022.

SOUZA, Adriano Fagali de; ULBRICH, Cristiane Brasil Lima. **Engenharia integrada por computadores e sistemas CAD/CAM/CNC: princípios e aplicações**, p 40-46, São Paulo 2013.

WAINER, Emílio; MELLO, Fábio Décourt H. de; BRANDI, Sérgio Duarte. **Soldagem: processos e metalurgia**, 4 ed. p 415-424, São Paulo 2004.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que me deu saúde, força de vontade e coragem para superar mais um desafio.

A toda minha família pela empatia e suporte incondicional nessa fase de estudos.

Ao professor orientador Me. Daniel Camusso, todo corpo docente e funcionários da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica pelo empenho, dedicação e atenção dispensados durante todo período de ensino.

Aos amigos e companheiros de trabalho pela parceria e suporte técnico.

SOBRE O(S)AUTOR(ES)

ⁱ ANDREWS DE PAULA JESUINO



Graduado em Tecnologia em Automação Industrial pela Faculdade de Tecnologia de São Bernardo do Campo – FATEC (dez/2013). Pós-graduando em Projeto, Manufatura e Análise de Engenharia pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2023). Experiência na área de Manutenção Mecânica na indústria automobilística. Atualmente exerce a função de Analista de Processos na empresa Volkswagen do Brasil (Anchieta), sendo parte da equipe de Armação de Carrocerias.

ⁱⁱ DANIEL CAMUSSO



Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté - UNITAU (jul/2022). Pós-Graduado em Engenharia Automobilística pela Faculdade de Engenharia Industrial – FEI (2000). Graduado em Engenharia Mecânica Plena pela FEI (1996). Aperfeiçoamento em CAD/CAM/CAE pela Dassault Systèmes em Paris - França. Docente nos cursos de "Tecnologia Mecatrônica Industrial" e "Pós-Graduação em Projetos, Manufatura e Análise de Engenharia". Participação no projeto BLERIOT, um trabalho colaborativo entre Brasil, França e Índia e apresentado em 2009 na Feira Internacional de Aviação em Le Borget (França). Possui experiência como engenheiro na área de desenvolvimento de projetos para a indústria automobilística, utilizando os softwares CATIA e NX. <https://orcid.org/0000-0001-7827-9564>

iii RUDOLFO HESSE



Mestrando Poli-PMT (e IEE), USP-SP – desde 2015; MBA – Gestão Empresarial, FGV-RJ – 2002; Tecnólogo em Processos de Produção, FATEC-SP – 1992; Técnico em Processamento de Dados, OENIAC-SP – 1998; Técnico em Processamento de Dados, ENIAC-SP – 1987; Técnico em Mecânica, SENAI-SP – 1985; Mec. Geral; Ferramentaria; eletrônica; etc. SENAI-SP – 1993. Auditor ISO interno e líder (TÜV Rheinland). Docente das disciplinas: Usinagem de Superfícies Prismáticas e Complexas – Pós-graduação CAE/CAD/CAM; Geração Convencional e Renovável – Pós-graduação E.E.; CAM e PROJETOS – Graduação Mecatrônica; - Técnico em Sistemas de Energia Renovável (diversas); - Técnico em Eletromecânica (diversas); Desenho Técnico; Gest. Manut. E Máq. Elétricas–Téc. em Eletroeletrônica ou Eletrotécnica; Professor de Ensino Superior no SENAI-SP (SCS), e na rede desde janeiro/2015. Docente de diversas disciplinas – Autom. e Eng.^a Prod. – Faculdade particular em São Paulo, desde 2017. Atuação profissional em empresas anteriores ASEA(ABB); VOITH; PHILIPS; SIEMENS; MAHLE; FISCHER; MULLER, segmentos variados de mercado e na grande maioria relacionados aos mercados de energia/automotivo. Especializado em auditorias do SGQ, inclusive com treinamentos/intercâmbios no exterior.

CV: <http://lattes.cnpq.br/4558676334357358>. <https://orcid.org/0000-0001-6187-6784>

iv SERGIO TADEU BERNATAVICIUS



Realizando Pós-Doutorado pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Mestrado e Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2004). Graduação em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCar (2013), Mecânica pela Unesp (1988), e Engenharia de Computação pela UNIVESP(2021). Professor - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo PUC-SP e Professor do MBA Gestão de Projetos e Produção SENAI-SP e FIAP. Tem experiência nas áreas de Gestão e Engenharia. Trabalhou 22 anos em empresas relacionadas a auto peças atuando principalmente nos seguintes temas: Supply Chain Management (SCM), automóvel, design, tecnologia, qualidade, produção e administração. Atuando na área de pesquisa de biomateriais e manufatura aditiva. Pesquisador participante do INCT-FAPESP, Avaliador INEP. CV:

<http://lattes.cnpq.br/8572882746776825>

<https://orcid.org/0000-0002-9308-4981>