Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

ANÁLISE DE QUEBRA DOS PARAFUSOS UTILIZADOS NA MONTAGEM DE MOTOVIBRADOR

Gustavo Alves Reis de Souza
Thalita de Castro Castilho

Pindamonhangaba - SP
2024

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

ANÁLISE DE QUEBRA DOS PARAFUSOS UTILIZADOS NA MONTAGEM DE MOTOVIBRADOR

Gustavo Alves Reis de Souza
Thalita de Castro Castilho

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba para graduação no Curso Superior de Tecnologia em Processos Metalúrgicos

Orientador: Me. Amir Rivaroli Júnior

Pindamonhangaba - SP
2024

S729a Souza, Gustavo Alves Reis de.
Análise de quebra dos parafusos utilizados na montagem de motovibrador / Gustavo Alves Reis de Souza; Thalita de Castro Castilho / FATEC Pindamonhangaba, 2024.
44f.; il.

Orientador: Professor Me. Amir Rivaroli Junior
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2024

1. Motovibrador. 2. Parafusos. 3. Confiabilidade. 4. Análise. 5. Prevenção. I. Souza, Gustavo Alves Reis de. II. Castilho, Thalita de Castro. III. Rivaroli Junior, Amir. IV. Título.

CDD 621

Sueli Camargo de Souza – Bibliotecária FATEC Pindamonhangaba – CRB/8 7788

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

"ANÁLISE DE QUEBRA DOS PARAFUSOS UTILIZADOS NA MONTAGEM DE MOTOVIBRADOR".

Gustavo Alves Reis de Souza
Thalita de Castro Castilho

Monografia apresentada à Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba, para graduação no Curso Superior de Tecnologia em Processos Metalúrgicos.

Comissão Examinadora

Orientador – Prof. Me. Amir Rivaroli Junior

Membro – Prof. Me. Marcelo Bergamini de Carvalho

Membro – Prof. Me. Laercio Ferreira

Pindamonhangaba, 03 de julho de 2024.

Scanned with ACE Scanner

DEDICATÓRIA

Gustavo Alves Reis de Souza

Dedico esse trabalho a minha noiva, por sempre me ouvir, apoiar, incentivar e ser meu porto seguro. Aos meus pais, pilares da minha formação como ser humano. Aos meus sogros por me encorajarem a ir atrás dos meus sonhos. Aos meus avós que sempre me apoiaram e me incentivaram a estudar, em especial ao meu avô João (*in memoriam*), meu amigo e herói da vida.

Thalita de Castro Castilho

Dedico esse trabalho aos meus avós (*in memoriam*) e aos meus pais por me criarem e estarem aos meu lado. Aos meus irmãos por partilharem uma infância tão cheia de memórias. Aos meus amigos por serem presentes nos atravessamentos da vida e em especial ao João Vilaça Guimarães Junior, quem me incentivou em finalizar esse ciclo.

AGRADECIMENTO

Gustavo Alves Reis de Souza

A minha digníssima noiva por estar sempre ao meu lado, ajudando a poder me formar, a todo momento ao meu lado na luta, batalhando junto comigo nas dificuldades e na alegria. Aos meus sogros por sempre me incentivarem a não desistir de realizar todos os sonhos, por me apoiarem e me aceitarem e dar a honra de poder ter essa mulher linda ao meu lado que será minha esposa.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. Aos meus pais (Luis Claudio Reis de Souza e Adriana Aparecida Alves Reis de Souza), que proporcionaram toda condição necessária para a conclusão desta faculdade, ao meu irmão (Douglas Alves Reis de Souza) pela amizade e incentivo.

Ao professor, orientador e amigo (Amir Rivaroli Junior, Mestre), pelo inestimável apoio na orientação deste trabalho e não ter desistido de me orientar me incentivando e me apoiando a todo momento com amizade e companheirismo.

Aos colegas de classe, em especial aos meus amigos Felipe Alves Aurilio de Oliveira e Ryan Antony de Jesus Silva com quem nesses anos de estudo tive a honra de poder estar ao lado, compartilhando alegria e risadas.

Thalita de Castro Castilho

Agradeço a minha mãe, Maria Claudina Guedes de Castro, por respeitar meu tempo e me incentivar a continuar quantas vezes fossem necessárias. Agradeço aos meus amigos que viram mais em mim do que eu mesma pude ver.

Agradeço ao José Valsechi por ter sido um exemplo de profissional e fonte de inspiração até hoje em minha vida. Agradeço a muitos profissionais com os quais tive oportunidade de trabalhar que enriqueceram minha caminhada e me deram suporte ao longo da minha jornada profissional.

Agradeço ao professor e orientador, Amir Rivaroli Junior, pela paciência e incentivo sempre presente nesse tempo que partilhamos. Agradeço a toda entidade FATEC de Pindamonhangaba e aos professores que compartilham seus conhecimentos e suas experiências profissionais com todos.

“Se um dia tiver que escolher entre o mundo e o amor lembre-se: se escolher o mundo ficará sem o amor, mas se escolher o amor com ele você conquistará o mundo.”

(Albert Einstein)

SOUZA, G. A. R.; CASTILHO, T. C. **Análise de quebra dos parafusos utilizados na montagem de motovibrador.** 2024. 93p. Trabalho de Graduação (Curso de Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2024.

RESUMO

A presente pesquisa tem como finalidade analisar a causa da fratura de parafusos, visto que o mercado preza pela funcionalidade e segurança operacional, torna-se uma perda competitiva considerável. As consequências de se ter um equipamento quebrado ou mal dimensionado pode interferir na produção ou acarretar acidentes graves de trabalho. Este projeto destina-se com o propósito de procurar compreender as falhas verificadas nas quebras dos parafusos na montagem do motovibrador, onde com uma certa frequência, apresentavam rompimentos conforme o ciclo de trabalho em um determinado período de utilização disponível do maquinário. Devido aos erros de quebras dos parafusos, os impactos na linha de produção ocasionavam paradas atípicas no equipamento que eram comprometidas por hora trabalhada, interferindo diretamente na produtividade final da planta fabril. É de suma importância o estudo e a compreensão das bases técnicas para assimilar e entender, a fim de buscar alternativas e soluções que possam ampliar a confiabilidade das máquinas, garantindo um ciclo maior de eficácia sem eventuais quebras. Entretanto para estabelecer o dimensionamento ideal de um parafuso depende de uma série de fatores e aplicações. Com a análise prévia dos parafusos utilizados na montagem do motovibrador, através de inspeções visuais, análise de composição química, ensaio de dureza, macrográfico e análise microestrutural foi possível observar diferenças nas amostras, onde observou-se uma periodicidade maior de falhas do atual fornecedor comparadas ao fornecedor antigo. Constatou-se que o antigo, por ter um maior corpo e propriedades mecânicas mais próximas ao padrão, obteve capacidade maior de resistir à fadiga, enquanto no atual encontrou-se irregularidades estruturais que poderiam resultar no seu rompimento. Por meio dessa análise será possível comparar e possibilitar a escolha ideal da substituição dos parafusos, visando uma melhoria no processo e foco na qualidade final do produto. A prevenção é um pilar fundamental em todo setor industrial.

Palavras-chave: Motovibrador. Parafusos. confiabilidade. Análise. Prevenção.

SOUZA, G. A. R; CASTILHO, T.C. **Analysis of the breakage of screws used in the assembly of a motorized vibrator**. 2024. 93p. Undergraduate Work (Metallurgical Processes Course). Pindamonhangaba College of Technology. Pindamonhangaba. 2024.

ABSTRACT

The purpose of this research is to analyze the cause of bolt fracture, given that the market values functionality and operational safety, it becomes a considerable competitive loss. The consequences of having broken or poorly dimensioned equipment can interfere with production or lead to serious accidents at work. The purpose of this project was to try to understand the faults found in bolt breakages when assembling the motor vibrator, where the bolts frequently broke according to the work cycle in a given period of available use of the machinery. Due to screw breakage errors, the impact on the production line caused atypical equipment stoppages that were compromised per hour worked, directly interfering with the plant's final productivity. It is of the utmost importance to study and understand the technical bases in order to find alternatives and solutions that can increase the reliability of machines, guaranteeing a longer cycle of efficiency without any breakdowns. However, establishing the ideal size for a screw depends on a number of factors and applications. With the previous analysis of the screws used in the assembly of the motor vibrator, through visual inspection, chemical composition analysis, hardness testing, macrography, and microstructural analysis, it was possible to observe differences in the samples, where we observed a greater frequency of failures from the current supplier compared to the old supplier. It was found that the old one, because it had a larger body and mechanical properties closer to the standard, had a greater capacity to resist fatigue, while the current one had structural irregularities that could result in it breaking. Through this analysis, it will be possible to compare and make the ideal choice for replacing the screws, with a view to improving the process and focusing on the final quality of the product. Prevention is a fundamental pillar in every industrial sector.

Keywords: Motovibrator. Screws. reliability. Analysis. Prevention.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química do aço 4140 22
Tabela 2 – Faixa especificada do SAE 4140 31
Tabela 3 - Resultados obtidos (%), nos respectivos parafusos e faixa especificada do SAE 4140 36

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - Países e normas mais usuais 19

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais tipos de parafusos 20
Figura 2 - Tratamento Térmico..... 24
Figura 3 - Elementos de fixação metálicos e químicos 28
Figura 4 – Aspecto geral e detalhe da montagem da tampa superior do motovibrador. 30
Figura 5 - Detalhes dos parafusos usados na montagem, mostrando o parafuso fraturado e o parafuso novo. 30
Figura 6 – Face fraturada do parafuso. 33
Figura 7 – Trincas na cabeça do parafuso (indicados por setas) 34
Figura 8 – Cavidades no raio de concordância (indicado por setas) 34
Figura 9 – Marca de clivagem partindo de uma das trincas (indicada por setas) 35
Figura 10 – Marca mecânica próxima a cabeça do parafuso (indicado por seta) ... 35
Figura 11 – Riscos observado em uma geratriz do parafuso (indicado por seta) ... 35
Figura 12 – Trincas observadas na cabeça do parafuso sem uso..... 36
Figura 13 – linhas de deformação acompanhando o perfil dos parafusos, sendo “A”, fraturada, “B” sem uso..... 37
Figura 14 – Microestrutura encontrada no corpo do parafuso fraturado, 500x ataque nital 2%..... 38
Figura 15 – Trincas encontradas no corpo do parafuso fraturado e suas profundidades (μm), 100x, sem ataque..... 38
Figura 16 – Trincas encontradas e microestruturas ao redor, no corpo do parafuso fraturado, 100x ataque nital 2%..... 39
Figura 17 – Microestrutura encontrada no corpo do parafuso sem uso, 500x ataque nital 2%..... 39
Figura 18 – Trincas encontradas no corpo do parafuso sem uso e sua profundidade (μm), 100x sem ataque..... 40
Figura 19 – Dobra encontrada no corpo do parafuso sem uso e seu comprimento (μm), 100x sem ataque..... 40
Figura 20 – Trincas encontradas e microestruturas ao redor, no corpo do parafuso sem uso, 100x ataque nital 2%..... 41
Figura 21 – Dobra encontrada e microestrutura ao redor, no corpo do parafuso sem

uso, 100x ataque nital 2%..... 41
Figura 22 – Trinca na região no raio de concordância corpo/cabeça do parafuso sem uso e sua profundidade (μm), 100x sem ataque..... 42
Figura 23 – Microestrutura ao redor da trinca encontrada na região do raio de concordancia corpo/cabeça do parafuso sem uso (indicado pela seta), 100x ataque nital 2%..... 42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NBR	Norma Brasileira Registrada
ISO	Internacional Organization Standardization
CNC	Controle Numérico Computadorizado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....16

1.1 PROBLEMA..... 17
1.2 OBJETIVOS..... 17
1.2.1 Objetivo geral..... 17
1.2.2 Objetivos específicos..... 17
1.3 JUSTIFICATIVA..... 17

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....18

2.1 A ORIGEM DOS PARAFUSOS……..… 18
2.2 PADRONIZAÇÃO DOS PARAFUSOS..... 18
2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS..... 20
2.3.1 Aço Liga SAE 4140..... 21
2.4 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO..... 22
2.4.1 AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA FABRICAÇÃO DE PARAFUSOS.....23
2.5 TRATAMENTO TÉRMICO..... 24
2.6 ENSAIO DE DUREZA..... 26
2.6.1 TIPOS DE ENSAIOS DE DUREZA: ROCKWELL, BRINELL E VICKERS..... 26
2.7 ELEMENTOS DE FIXAÇÃO.....27
2.8 APLICAÇÃO DOS PARAFUSOS..... 28
3 MATERIAIS E MÉTODOS..... 30
3.1 MATERIAIS ……..…… 31
3.2 MÉTODOS …… 31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 33
4.1 EXAME VISUAL 33
4.2 ANÁLISE QUÍMICA 36
4.3 ÁNALISE DE DUREZA 36
4.4 EXAME MACROGRÁFICO 37
4.5 EXAME MICROGRÁFICO 37

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....43

REFERÊNCIAS.....44

1 INTRODUÇÃO

A indústria é um setor da economia que agrega ao seu meio atividades produtivas caracterizadas pela conversão de matérias-primas em mercadorias manufaturadas. Dominar o comportamento das falhas, entender como se manifestam e qual a frequência de ocorrência é importante para a criação de estratégias dentro da manutenção. Segundo a NBR 5462 (1993, p.3), "*a* falha é a incapacidade de qualquer item desempenhar a função requerida." Com isso, pode-se considerar que as falhas são um grande risco para panes e quebras. Não existe uma forma padronizada de falha, no entanto, quando se sabe quais são suas características, facilita na hora de encontrar um modelo.

Encontrar uma boa solução está relacionada principalmente com os procedimentos técnicos, como as normas de fabricação, por exemplo, que se apresentam como requisito básico de qualidade, assim obtendo um retorno considerável de demanda. Segundo Callister (2000, v. 5) "O desenvolvimento de muitas tecnologias que tornam nossa existência tão confortável tem estado intimamente associado com a acessibilidade a materiais adequados". A montagem de uma máquina precisa estar atrelada ao uso de equipamentos de qualidade, confiabilidade e excelência, a fim de que seu resultado se dê sem nenhum tipo de intercorrência.

A pesquisa está diretamente ligada com a união de peças com elementos de fixação de máquinas, através de parafusos sextavados de alta resistência, que em certo momento romperam-se durante a operação, assim ocasionando a parada inesperada e total da produção. A falha é sempre um acontecimento indesejado, visto que coloca em risco vidas humanas, prejuízo econômico, e a interferência na disponibilidade de produtos e serviços. Ainda que as causas sejam conhecidas, prevenir é uma tarefa complexa. Antecipar e planejar possíveis falhas é uma das responsabilidades da engenharia, pois assim facilita na hora de avaliar sua causa, dando direcionamento da solução a ser tomada e empregar medidas de cautela contra futuros incidentes.

1.1 PROBLEMA

O problema trata de uma análise da quebra de um parafuso de um motovibrador que se encontrava em operação.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é entender a causa da quebra de um parafuso no motovibrador.

1.2.2 Objetivos Específicos

Determinar o motivo real da quebra e encontrar soluções para prevenções futuras.

1.3 JUSTIFICATIVA

Este trabalho justifica-se devido a importância de evitar paradas inesperadas, devido à quebra de equipamentos, acarretando a perda de produtividade e custos indesejados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A ORIGEM DO PARAFUSO

Apesar de existirem várias versões sobre a origem do parafuso, a mais antiga remete a invenção ao grego Arquitas de Tarento, por volta de 400 a.c. O instrumento foi desenvolvido para operar em prensas na extração de azeite de oliva e na produção de vinho. Ao longo da história, dado a facilidade do seu uso, diversas personalidades criaram utilizações diferenciadas, como Arquimedes, que em 250 a.C. elaborou e produziu a rosca, utilizada para a construção civil. Algumas evidências indicam o parafuso como parte dos instrumentos cirúrgicos, pelos anos de 79 a.C. O primeiro registro sobre a ferramenta consta em documentos impressos no começo do século XV, e anos mais tarde Johan Gutenberg, o pai da imprensa, já os utilizava em sua impressora.

No século XV, desenhos de Leonardo da Vinci, já mostravam máquinas cortadoras de parafusos, mas só em 1958 que o primeiro equipamento foi inventado para este propósito, por meio de Jacques Besson, um matemático francês. Próximo do final do século XVII, os parafusos eram peças comuns, utilizadas em armas de fogo e diversos tipos de indústrias, principalmente no mercado bélico, visto que este que fez a propagação dos fixadores em um contexto mundial direcionado a outros nichos, tornando-se essencial em tudo.

2.2 PADRONIZAÇÃO DOS PARAFUSOS

A padronização dos parafusos aconteceu ao longo dos anos devido a evolução da indústria, visto que ao progredir nesse meio, evidenciou a necessidade de encontrar medidas precisas e uniformes, a fim de garantir a intercambialidade e a compatibilidade dos parafusos com as peças que seriam fixadas. No final do século XVIII, a padronização começou a ser instituída com o uso de padrões para medir o diâmetro das roscas. Por volta de meados do século XIX, os primeiros sistemas de roscas padronizadas foram elaborados, como o sistema Whitworth na Inglaterra (um sistema uniforme de roscas em parafusos), essa forma é identificada por um ângulo com perfil de 55º, com arredondamento

da crista e uma raiz a uma altura de ⅙ do triângulo fundamental, além do sistema Métrico na França. Esses sistemas eram importantes para um conjunto de medidas padrão para diâmetro, passo e perfil da rosca.

Com o tempo, diversas outras padronizações foram surgindo, como a padronização americana (UNC/UNF), que teve início na primeira metade do século XX, e a padronização DIN (Deutsche Industrie Norm), com origem na Alemanha em 1928 e que se estabeleceu como uma das mais utilizadas no mundo todo. Hoje em dia, a padronização de parafusos é essencial para a indústria, possibilitando a fabricação de peças intercambiáveis, a contenção de gastos, o ganho de produtividade e a garantia da qualidade dos produtos. Algumas normas são mais utilizadas. O Quadro 1 irá apresentar as principais e as mais utilizadas no mundo todo, já para os parafusos mais usuais a Figura 1 irá mostrar.

Quadro 1: Países e normas mais usuais

PAÍS	**ABREVIATURA DA NORMA**	**ORGANISMO NORMALIZADOR**
Internacional	ISO	Organização internacional de normalização
Espanha	UNE	Instituto de racionalização e normalização
Alemanha	DIN	Comitê de normas alemã
Rússia	GOST	Organismo Nacional de normalização soviético
França	NF	Associação francesa de normas
Inglaterra	BSI	Instituto de normalização inglês
Itália	UNI	Entidade nacional italiano de unificação
América	USASI	Instituto de normalização para os estados da América

Fonte: O autor, 2024.

Figura 1: Principais tipos de parafusos

Fonte: Blog Ciser

2.3 CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

A classificação do aço é crucial para a engenharia e a indústria, pois permite a seleção do material adequado para cada aplicação específica. O aço é classificado principalmente com base na composição química, propriedades mecânicas e uso. De acordo com a classificação da composição química, o aço é dividido em duas categorias principais: aço carbono e aço liga. O aço carbono, como o nome sugere, utiliza o carbono como principal elemento de liga e pode ser subdividido em baixo, médio e alto carbono. Os aços-liga contêm elementos adicionais como níquel, cromo, molibdênio e vanádio que proporcionam propriedades aprimoradas como maior resistência à corrosão e aumento de dureza (CALLISTER, 2014).

Além da composição química, o aço também pode ser classificado com base nas suas propriedades mecânicas. O aço de alta resistência e baixa liga (HSLA) é projetado para fornecer uma combinação de alta resistência e boa soldabilidade, tornando-o ideal para estruturas projetadas e aplicações de construção civil. Outro exemplo é o aço ferramenta, que possui dureza elevada

e resistência ao desgaste e é aplicado na construção de ferramentas de corte e moldes (DE GANG, 1990). Estas propriedades mecânicas são críticas para determinar a adequação de um aço para diferentes ambientes operacionais e requisitos de desempenho.

A classificação dos aços também leva em consideração suas aplicações específicas. Por exemplo, o aço estrutural é amplamente utilizado na construção de edifícios, pontes e outras infraestruturas devido à sua elevada resistência e durabilidade. Os aços para molas, por outro lado, são projetados para fornecer alta elasticidade e resistência à fadiga, o que os torna essenciais em sistemas de suspensão e componentes onde o desempenho da mola é necessário. Essa classificação baseada na aplicação auxilia na seleção do material, garantindo que o aço utilizado atenda aos requisitos específicos de cada projeto (GUNN, 1997).

2.3.1 AÇO LIGA (SAE 4140)

Na indústria existem inúmeras ligas metálicas de uso imprescindível, uma delas é o aço 4140. Ele é utilizado de forma extensiva em processos de forjamento, especialmente por ter componentes como molibdênio e cromo, o tornando resistente a deformações e impactos.

O aço 4140 é operado com frequência em veículos pesados, pins de trilha, bielas, entre outros. Para que o aço possa ser utilizado nas aplicações citadas, em muitas delas é necessário passar por tratamentos térmicos, que são processos que expõe os materiais a variações de temperaturas, a fim de que ao aquecer e resfriar, melhorem suas propriedades.

O aço-cromo-molibdênio, conhecido como aço 4140, é denominado como médio carbono, além de pertencer ao grupo de metais de baixa liga, pois carrega em sua estrutura certa porcentagem de carbono que fica entre de 0,3% e 0.5% e leva em sua composição outros elementos, não somente carbono e ferro, o que auxilia em sua aprimoração de propriedades mecânicas.

Tabela 1: Composição química do aço 4140

Material	C	Mn	Si	Cr	Mo
4140	0,4	0,9	0,25	0,95	0,2

Fonte: O autor, 2024

2.4 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Construir uma peça com formato e dimensões desejadas é chamado de Processo de Fabricação. Normalmente esse método se divide em: fabricação por conformação mecânica, ou seja, sem separação de massa e fabricação por usinagem, com separação de massa. Os processos podem ser divididos em 5 grupos essenciais: fundição, conformação mecânica, usinagem, soldagem e metalurgia do pó.

O processo de fabricação de um parafuso é extremamente complexo e cauteloso, os principais materiais utilizados são: cobre, destacando-se por possuir propriedades anticorrosivas e excelente condutividade elétrica; aço, comum por sua durabilidade e resistência; alumínio, sobressaindo por sua leveza e resistência a corrosão e titânio, combinando resistência com leveza.

Os materiais passam, antes de qualquer coisa, por um processo de preparação que inclui aquecimento do fio-máquina até uma temperatura que permita sua manipulação, acompanhado de uma limpeza a fim de remover impurezas. Esse tratamento inicial é de suma importância para garantir a qualidade do material antes de dar sequências nas próximas etapas.

Na sequência, o parafuso passa pelo forjamento a frio, que consiste em moldar o material sob alta pressão em temperatura ambiente, formando a cabeça e a pré-forma da rosca, nessa etapa, a técnica tem como finalidade melhorar a resistência, suportando tensões e com maior durabilidade. Após passar por esse processo, alguns parafusos precisam da usinagem para criarem designs mais complexos ou um detalhamento fino, podendo assim, garantir a precisão das dimensões, incluindo torneamento, perfuração e fresamento, obtendo-se assim a conformidade dos parafusos.

Passa-se pelo processo de tratamento térmico, uma etapa crucial que tem como objetivo dar um incremento na dureza e a resistência à tração do parafuso, melhorando com isso a sua performance em aplicações que são mais exigidos. Essa etapa envolve aquecer e, logo em seguida, resfriar o material e condições controladas para que se possa alterar suas propriedades mecânicas. Cada um desses estágios é minuciosamente controlado e monitorado para que os parafusos sejam fabricados com todos os requisitos técnicos e com qualidade.

O controle de qualidade é uma etapa fundamental para que os padrões de qualidade e desempenho sejam atingidos, são feitos testes rigorosos, designados a identificar e corrigir quaisquer defeitos e intercorrências, antes que cheguem ao consumidor final. Nessa etapa está inserida a conformidade com os padrões ISO, sendo fundamental para atingir consistência internacional, resultando em durabilidade e confiança das peças, assegurando reputação sólida dos fabricantes. Além desses processos há ainda a inspeção visual e dimensional, que consiste na verificação da forma, tamanho e integridade da rosca, sendo possível a detecção de defeitos superficiais.

Os parafusos são submetidos ainda a testes de resistências para verificar sua capacidade de suportar tensões e cargas e sem quebrar ou falhar. Adota-se também procedimentos de amostragem para o controle de qualidade em grande escala, mas mesmo que esse tipo de processo seja econômico, é importante que haja cautela para que as amostras reflitam adequadamente a qualidade do lote.

2.4.1 AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA FABRICAÇÃO DE PARAFUSOS

Há um movimento tecnológico que ajuda na redução de custos e ainda aumenta a produtividade. O foco está no crescimento lucrativo sem sacrificar a qualidade, valorizando o potencial dos dados e aumentando a adoção de tecnologias para criar resiliência, permitir agilidade e aumentar a sustentabilidade (CONSENTINO, 2023).

Os avanços refletem a evolução das técnicas, desde os métodos tradicionais até processos que são altamente automatizados e controlados

digitalmente. A automação e o controle numérico computadorizado (CNC) revolucionaram a fabricação de parafusos. As máquinas CNC permitem que a produção dos parafusos saia com precisão excepcional, garantindo consistência e qualidade infinitamente superiores. Além disso, ao automatizar as linhas de produção foi possível perceber o aumento significativo da eficiência produtiva, possibilitando a fabricação em massa com agilidade e gerando redução de custos.

Os parafusos de titânio, ligas de alumínio e os aços inoxidáveis de alta resistência, são exemplos de como os materiais avançados estão sendo aplicados para atender os requisitos tecnológicos atuais. Hoje tem-se emergido tecnologias promissoras, como a impressão 3D, que permite a produção de parafusos de geometrias complexas, abrangendo a flexibilidade de design e inovação, e reflete o compromisso da indústria em ofertar eficiência e qualidade.

2.5 TRATAMENTO TÉRMICO

Os tratamentos térmicos trata-se de processos que expõem os materiais, geralmente ligas metálicas, a variações de temperatura, com taxas de aquecimento e resfriamento conforme mostra a Figura 2. Sabendo que o tratamento térmico tem como principal objetivo a alteração das propriedades mecânicas e físicas do material, é necessário que ele seja aquecido acima da temperatura crítica ou temperatura de recristalização, como também é denominada. (CHIAVERINI, 1986).

Figura 2: tratamento térmico

Fonte: Blog Sacchelli

Os tratamentos são utilizados a fim de melhorar as propriedades mecânicas de determinado componente, por exemplo, é possível deixar uma peça mais “mole” ou “dura” a partir desse processo, otimizando o trabalho, além de reduzir custos. Há diversos tipos de tratamentos com finalidades distintas, abaixo segue a lista dos mais usados atualmente.

- **Recozimento**: é a técnica que aquece o material até determinada temperatura e resfria de forma graduada. Esse processo visa alterar a estrutura cristalina, eliminando as tensões e restaurando suas propriedades originais.
- **Normalização**: consiste no aquecimento da peça, seguido pelo seu resfriamento lento, normalmente exposto ao ar livre, para que diminua a dureza e aumente a ductilidade do componente, a fim de remover tratamentos que tenham sido realizados anteriormente.
- **Têmpera**: processo de aquecimento da peça e em seguida seu resfriamento rápido em óleo ou água, assim obtendo uma dureza maior no final.
- **Austêmpera**: técnica capaz de aquecer o material até sua temperatura de austenitização, seguido de resfriamento rápido em banho de sal fundido. É utilizado em materiais que não podem sofrer modificações dimensionais e necessitam de efeito mola.
- **Martêmpera**: similar ao processo anterior, sua diferença é conseguir uma alta dureza e fragilidade.
- **Revenimento**: tratamento feito após a técnica da têmpera, que equivale a aquecer a peça entre 150º e 600º, aliviando as tensões e ajustando as durezas.
- **Nitretação**: processo caracterizado pelo endurecimento da superfície dos aços, adicionando nitrogênio na estrutura, a fim de resultar numa camada mais dura e resistente ao desgaste, corrosão e fadiga.

2.6 ENSAIOS DE DUREZA

O ensaio de dureza caracteriza-se por ser uma ferramenta amplamente utilizada para medir a resistência dos materiais, ou seja, definir como um material resiste à deformação permanente a partir da penetração de um identador (ferramenta padronizada). Dentre os diversos ensaios mecânicos responsáveis pela caracterização mecânica dos materiais, o ensaio de dureza é um dos ensaios mais aplicados e mais importantes (GONÇALVES, 2020).

O principal objetivo do ensaio de dureza é determinar as propriedades mecânicas relacionadas à dureza, como por exemplo o limite elástico, a resistência mecânica, resistência ao desgaste, sua tenacidade e abrasão dos materiais. Em alguns momentos, é avaliado como um ensaio não destrutivo, pois deixa uma impressão pequena na peça.

2.6.1 TIPOS DE ENSAIOS DE DUREZA: ROCKWELL, BRINELL E VICKERS

- **Rockwell**: é o método de medição direta da dureza (o mais popular é o HRC), um dos mais utilizados em indústrias. Nesse ensaio, a carga é aplicada em etapas, ou seja, primeiro é feito uma pré-carga e somente depois é feito a aplicação de carga.
- **Brinell**: foi o primeiro teste padronizado a ser largamente utilizado, especialmente em materiais metálicos. O método do ensaio envolve a pressão do penetrador de esfera de carboneto na superfície do material durante um determinado tempo com uma força que é aplicada em constância.
- **Vickers**: é uma propriedade mecânica essencial que está relacionada com a resistência de um material. É utilizada principalmente para avaliar a qualidade de materiais operados em diversas aplicações, como na indústria aeroespacial, metalúrgica, entre outras. A dureza Vickers normalmente é utilizada para determinar a eficácia de tratamentos térmicos e processos de endurecimento de materiais.

2.7 ELEMENTOS DE FIXAÇÃO

Elementos de fixação são seguimentos que servem para unir as peças, de forma básica, são objetos que fixam as peças. Podem compor desde pequenos equipamentos até grandes sistemas. Encontram-se diversas maneiras de se realizar uma fixação e há também dois grupos que definem esses elementos, sendo eles os metálicos e os químicos, alguns exemplos serão apresentados na Figura 3.

Júnior (2020) descreve sobre os elementos de fixação em parafusos:

> Formado em uma única peça, com cabeça, corpo e ponta. A cabeça é responsável pelo acoplamento da chave onde irá ser realizado o aperto no momento da aplicação. Já o corpo sempre irá apresentar rosca, podendo ser rosca inteira (RI), em todo o corpo do parafuso; ou rosca parcial (RP), presente em apenas parte do corpo.
>
> A RP ainda pode ser de dois tipos: a parcial paralela, em que o diâmetro da rosca é paralelo ao de corpo não roscado; e a parcial sobreposta, em que o diâmetro de rosca é superior ao de corpo não roscado. Por último, a ponta do parafuso, onde normalmente remete a forma de aplicação, podendo ser: chanfrada, tipo C, agulha, broca, broca com asa, piloto. Dependendo do perfil de rosca e de ponta, são utilizadas também em montagens com porca.

Além desses, ainda existes os rebites, utilizados em montagens com acesso por apenas um lado; as barras roscadas, elemento reto com rosca ao longo do seu corpo; além da porca, responsável por realizar apertos em barras roscadas e da arruela, usada para passar o elemento a ser fixado.

Figura 3: Elementos de fixação metálicos e químicos

Fonte: Blog Ciser

2.8 APLICAÇÃO DOS PARAFUSOS

Os parafusos são muito utilizados na construção civil para unir vigas de aço, perfis metálicos e componentes estruturais. A seleção de parafusos para essas aplicações é crítica, pois eles devem suportar cargas significativas e condições ambientais adversas. Parafusos de alta resistência (como grau 8.8 ou 10.9) são frequentemente escolhidos para esses fins devido à sua capacidade de suportar altas tensões sem deformação permanente. (MISCHKE, 2001).

Na indústria automotiva, os parafusos têm uma variedade de aplicações, que vão desde a montagem de motores até a caixa de câmbio que conecta os componentes da carroceria ao sistema de suspensão. A precisão das especificações dos parafusos é fundamental para garantir a segurança e durabilidade do seu veículo. Os parafusos automotivos são frequentemente tratados termicamente e revestidos com materiais anticorrosivos para prolongar

sua vida útil e garantir desempenho em condições extremas. (BOLT, 2009).

Além disso, os parafusos são cruciais na fabricação de dispositivos eletrônicos, pois são utilizados para fixar componentes sensíveis sem causar danos. Nesta indústria, os parafusos devem atender a requisitos específicos de tamanho, material e torque de aperto para garantir uma conexão segura e não interferir na operação de circuitos eletrônicos. Parafusos de precisão, geralmente feitos de aço inoxidável ou ligas especiais, são comuns nessas aplicações devido à sua resistência à corrosão e propriedades mecânicas adequadas (JONES, 2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho originou-se devido à quebra de parafuso ocorrida durante o primeiro uso na fixação da tampa superior durante a montagem de motovibrador, conforme figura 1. Como este é um equipamento muito utilizado na produção, foi solicitado a caracterização metalúrgica do parafuso fraturado e de outro que não havia sido usado, sendo que estes parafusos podem ser vistos na figura 5.

Figura 4: Aspecto geral e detalhe da montagem da tampa superior do motovibrador.

Fonte: O Autor, 2024

Figura 5: Detalhes dos parafusos usados na montagem, mostrando o parafuso fraturado e o parafuso novo.

Fonte: O Autor, 2024

3.1 MATERIAIS

Para estes parafusos de fixação são utilizados normalmente o material SAE 4140, temperado e revenido. São comumente usados em aplicações com alta resistência e boa dureza. Possui cromo-molibdênio na sua composição química, o que favorece a obtenção de boas propriedades mecânicas. A tabela 2 mostra a faixa de composição do aço SAE 4140.

Tabela 2: Faixa especificada do SAE 4140

Elemento	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al
Aço SAE 4140	0,38 0,43	0,15 0,35	0,75 1,00	Máx. 0,030	Máx. 0,040	-	0,80 1,10	0,15 0,25	-	-

Fonte: O autor, 2024.

3.2 METODOS

Para análise dos parafusos foram realizados:

- Exame visual, para se verificar a ocorrência de irregularidades, trincas ou imperfeições;
- Ensaio macrográfico para identificar possíveis segregações, ou defeitos de fabricação;
- Análise química, para se checar se o material estava dentro do especificado pela norma.
- Ensaio de dureza e análise microestrutural, com o intuito de se verificar se o material estava corretamente tratado termicamente.

Para as análises de dureza e micrografia, nos dois parafusos recebidos, retirou-se um segmento de cada um.

Para o exame macrográfico, após corte ao meio no sentido longitudinal ao eixo, as amostras foram preparadas com lixamento até a grana #220, atacados em solução 1:1 de ácido muriático e H_2O, à 70º C, durante 20 minutos.

A análise química foi realizada em espectrômetro de emissão ótica fabricação ARL, dosando-se os elementos C, Si, Mn, P, S, Ni, Cr, Mo, Cu e Al,

para possibilitar a identificação da liga utilizada na confecção dos parafusos, bem como detectar diferenças.

No ensaio de dureza, utilizou-se durômetro Rockwell, de fabricação Wilson, em escala “C”, realizando-se ensaio à meia distância do centro do parafuso, com preparação mecânica final em lixa grana #400, apurando-se a média aritmética de 05 (cinco) penetrações.

Para exame microestrutural, fez-se preparação mecânica e polimento final em suspensão de diamante de granulometria ¼μm, sendo observado em microscópio ótico, modelo DMLM dotado de sistema de aquisição digital e análise de imagens, fabricação Leica, onde foram fotografadas com ataque Nital 2% v/v.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

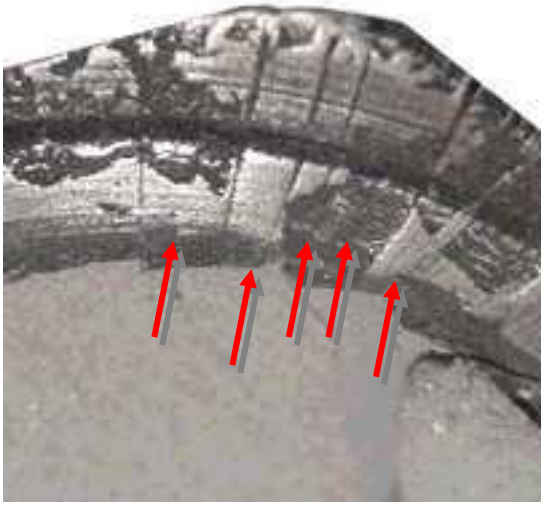
4.1 – EXAME VISUAL

Observou-se que um dos parafusos apresentava fratura frágil por torção, conforme Figura 6. Na região da cabeça deste parafuso, observou-se presença de trincas, conforme Figura 7, e cavidades no raio de concordância, conforme Figura 8. Marcas de clivagem na face fraturada partindo de uma trinca, conforme Figura 9; e marcas mecânicas em duas regiões do corpo do parafuso, provavelmente causadas por dano mecânico, pelo uso de garras durante o forjamento da cabeça, conforme Figura 10. Notou-se também riscos no sentido longitudinal ao eixo do parafuso em uma geratriz do seu corpo, conforme Figura 11, e no parafuso sem uso também se notaram trincas na região da cabeça, conforme Figura 12.

Figura 6: Face fraturada do parafuso.

Fonte: O autor, 2024.

Fig. 7: Trincas na cabeça do parafuso (indicados por setas)



Fonte: O autor, 2024.

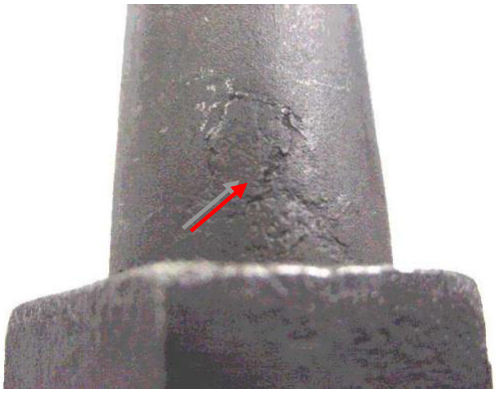
Figura 8: Cavidades no raio de concordância (indicado por setas) .

Fonte: O autor, 2024.

Figura 9: Marca de clivagem partindo de uma das trincas (indicada por seta).

Fonte: O autor, 2024.

Figura 10: Marca mecânica próxima a cabeça do parafuso (indicado por seta).



Fonte: O autor, 2024.

Figura 11: Riscos observados em uma geratriz do parafuso (indicado por seta)

Fonte: O autor, 2024.

Figura 12: Trincas observadas na cabeça do parafuso sem uso.

Fonte: O autor, 2024.

4.2 ANÁLISE QUÍMICA

Após análise química dos dois parafusos, observou-se que eles apresentaram composição química similar entre eles e ao aço SAE 4140, como demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados obtidos (%), nos respectivos parafusos e faixa especificada do SAE 4140

Elemento	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al
Parafuso fraturado	0,41	0,30	0,91	0,026	0,015	0,03	0,95	0,16	0,09	0,017
Parafuso sem uso	0,41	0,30	0,90	0,026	0,014	0,03	0,94	0,16	0,09	0,017

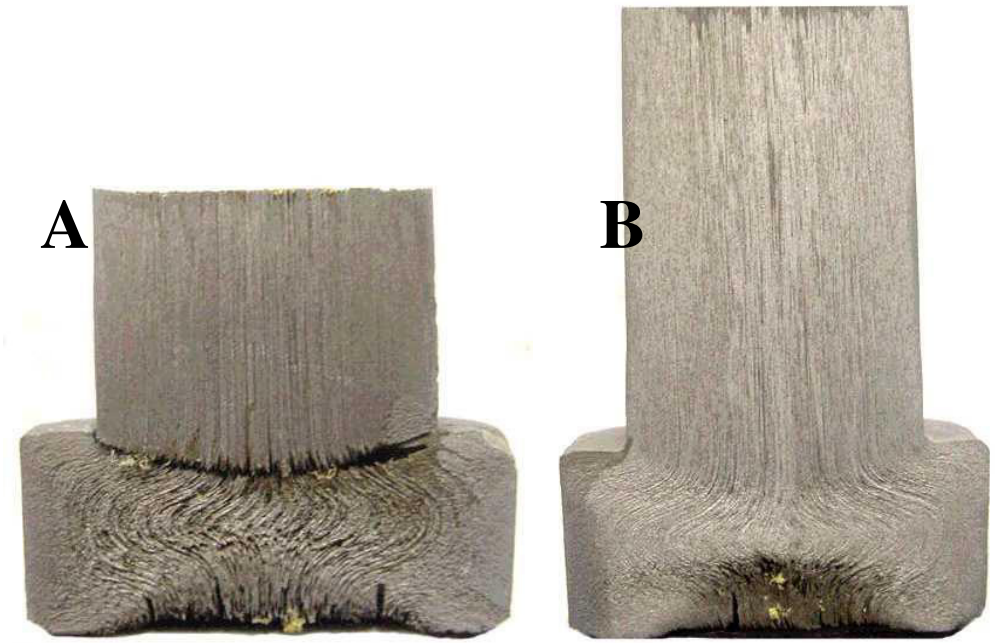
4.3 ANÁLISE DE DUREZA

Após ensaio, verificou-se que os parafusos (fraturado e sem uso), apresentaram dureza média de 46HRc.

4.4 EXAME MACROGRÁFICO

Após ataque ácido nos parafusos (fraturado e sem uso), notou-se linhas de deformação que acompanham o perfil da peça, indicando que a cabeça dos mesmos fora obtida por recalque conforme figura 13.

Figura 13: Linhas de deformação acompanhando o perfil dos parafusos, sendo “A”, fraturada, “B”, sem uso.



Fonte: O autor, 2024.

4.5 EXAME MICROGRÁFICO

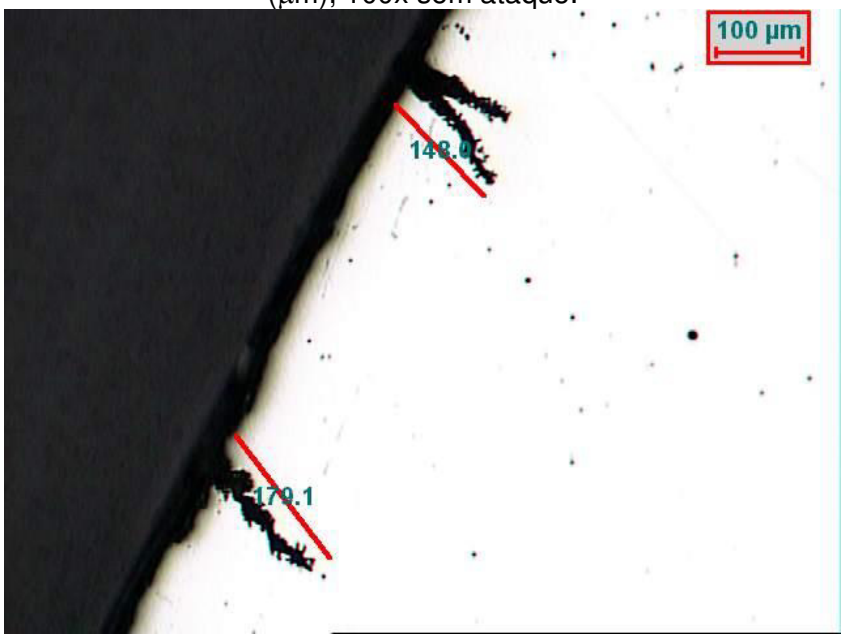
A microestrutura no parafuso fraturado, na região do corpo, apresenta-se predominantemente martensítica, típica de T^{O}T^{O} de beneficiamento, observou-se várias trincas que apresentavam-se abertas na região do raio de concordância corpo/cabeça do parafuso, sem apresentar alteração microestrutural, conforme figuras de 14 a 16.

No parafuso sem uso (corpo do parafuso), a micrestrutura apresenta-se predominantemente martensítica, notou-se também, “dobra” oriunda de conformação mecânica e trincas sem apresentar alteração microestrutural, também foi evidenciada descontinuidade no raio de concordância corpo/cabeça do parafuso, verificando-se que a mesma trata-se de trinca. A caracterização do defeito está mostrada nas figuras 17 a 23.

Figura 14: Microestrutura encontrada no corpo parafuso fraturado, 500x ataque Nital 2% v/v.

Fonte: O autor, 2024.

Figura 15: Trincas encontradas no corpo parafuso fraturado e suas profundidades (µm), 100x sem ataque.



Fonte: O autor, 2024.

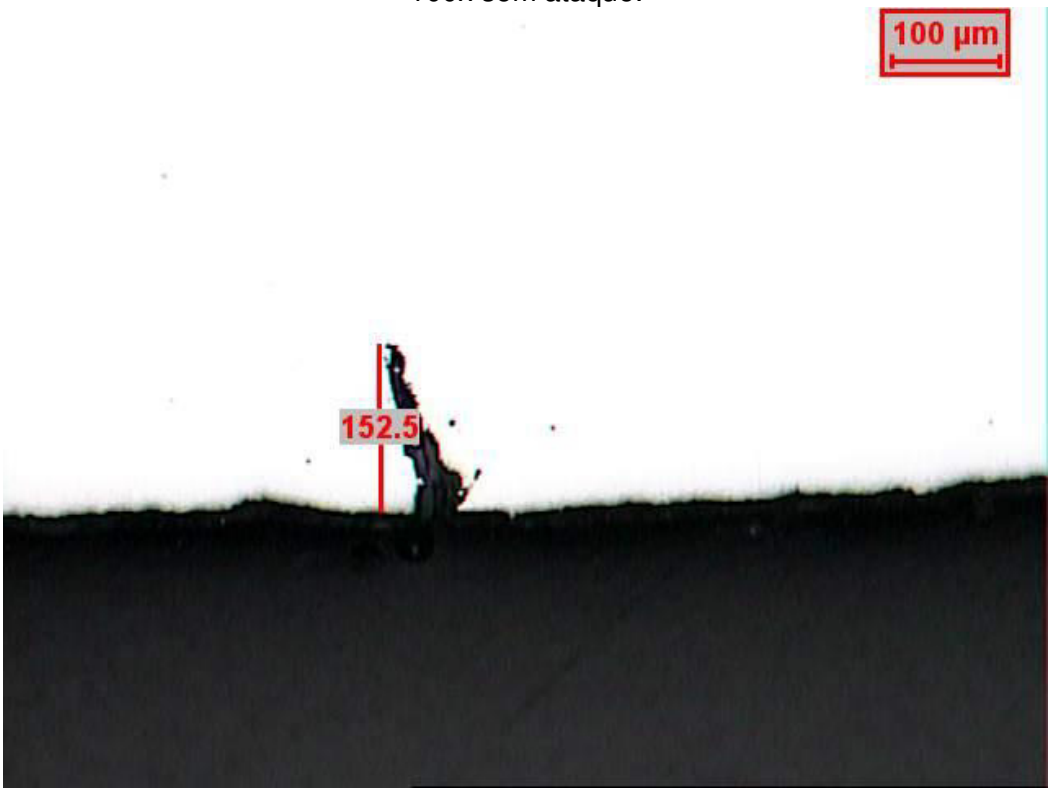
Figura 16: Trincas encontradas e microestrutura ao redor, no corpo parafuso fraturado, 100x ataque Nital 2% v/v.

Fonte: O autor, 2024.

Figura 17: Microestrutura encontrada no corpo parafuso sem uso, 500x ataque Nital 2% v/v.

Fonte: O autor, 2024.

Figura 18: Trincas encontradas no corpo parafuso sem uso e sua profundidade (μm), 100x sem ataque.

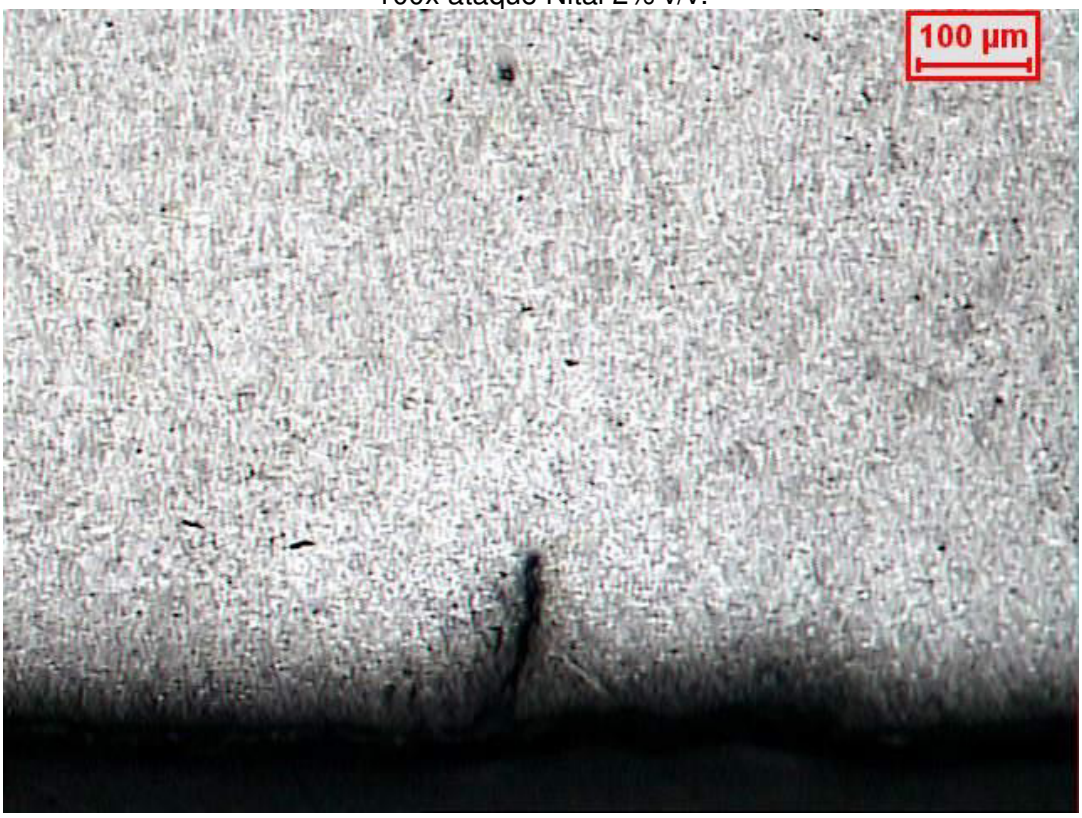


Fonte: O autor, 2024.

Figura 19: Dobra encontrada no corpo parafuso sem uso e seu comprimento (μm), 100x sem ataque.

Fonte: O autor, 2024.

Figura 20: Trincas encontradas e microestrutura ao redor, no corpo parafuso sem uso, 100x ataque Nital 2% v/v.



Fonte: O autor, 2024.

Figura 21: Dobra encontrada e microestrutura ao redor, no corpo do parafuso sem uso, 100x ataque Nital 2% v/v.

Fonte: O autor, 2024.

Figura 22: Trinca na região do raio de concordância corpo/cabeça do parafuso sem uso e sua profundidade (μm), 100x sem ataque.

Fonte: O autor, 2024.

Figura 23: Microestrutura ao redor da trinca encontrada na região do raio de concordância corpo/cabeça do parafuso sem uso (indicada pela seta), 100x ataque Nital 2% v/v.

Fonte: O autor, 2024.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se nos parafusos descontinuidades como trincas e dobras, tanto na região da cabeça como também do corpo, estas descontinuidades sugerem uma região potencial de concentrações de tensões, podendo levar a quebra e/ou rompimento dele. Junto das descontinuidades não foram verificadas heterogeneidades microestruturais, o que indica que as descontinuidades possivelmente são oriundas do processo de recalque, que nuclearam as trincas.

Acreditamos que o adoçamento do raio, deve ser fabricado por usinagem após forjamento, com o intuito de se eliminar imperfeições nessa região, que possam agir como entalhes.

A matéria prima utilizada na confecção desses parafusos, deve ser isenta de defeitos superficiais, tais como: riscos, dobras e trincas.

REFERÊNCIAS

BEZERRA, Ayrton Bruno Silva. **O que são tratamentos térmicos?.** Blog EESCJR, 2022. Disponível em: https://eescjr.com.br/blog/o-que-sao-tratamentos-termicos/. Acesso em: 10 mar. 2024.

BOLT, John R. **Automotive Fasteners**. 2nd ed. Warrendale: SAE International, 2009.

CALLISTER, William D. Jr. M**aterials Science and Engineering: An Introduction**. 9th ed. New York: John Wiley & Sons, 2014.

CHIAVERINI, Vicente. **Tecnologia Mecânica: Processos de Fabricação e Tratamento**. 2ª ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

DE GANG, Li; XIN, Jin. High-strength low-alloy steel. In: **ASM INTERNATIONAL. ASM Handbook, Volume 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys**. 10th ed. Materials Park: ASM International, 1990. p. 566-573.

GONÇALVES, Eduardo. **Ensaios de dureza: qual o mais indicado para cada material?** Disponível em: http://www.ccdm.ufscar.br/2020/05/20/ensaios-de-dureza-qual-o-mais-indicado-para-cada-material/. Acesso em: 25 jan. 2024.

GUNN, R. N. **Stainless Steel for Design Engineers**. Materials Park: ASM International, 1997.

JONES, Richard W. **Fastener Technology International.** New York: Fastener Technology International, 2013.

JUNIOR, M.J. SOTOPIETRA; **Conheça as diferenças e a melhor finalidade para utilizar os elementos de fixação.** Blog Ciser, 2020. Disponível em: https://blog.ciser.com.br/tudo-sobre-fixadores/elementos-de-fixacao-principais-elementos-e-suas-aplicacoes/. Acesso em: 17 jan. 2