

**INSTITUTO
FEDERAL**
Amazonas

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
CAMPUS MANAUS CENTRO
DEPARTAMENTO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

IGOR PINTO GARCIA

ANÁLISE DA RUPTURA DE UM PIVÔ DE SUSPENÇÃO VEICULAR.

MANAUS, 2022

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
CAMPUS MANAUS CENTRO
DEPARTAMENTO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

IGOR PINTO GARCIA

ANÁLISE DA RUPTURA DE UM PIVÔ DE SUSPENSÃO VEICULAR.

Trabalho de Conclusão de Curso, submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – Campus Manaus Centro, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof.(a) Miécio Melquiades.

MANAUS, 2022

IGOR PINTO GARCIA

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

G216a Garcia, Igor Pinto.
Análise da ruptura de um pivô de suspensão veicular / Igor Pinto
Garcia. – Manaus, 2023.
43 p. : il. color.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica). – Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Centro,
2023.

Orientador: Prof. Me. Miécio Melquiades.

1. Engenharia mecânica. 2. Análise das falhas. 3. Pivô de suspensão. 4.
Fractografia. I. Melquiades, Miécio. (Orient.) II. Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 621

ANÁLISE DA RUPTURA DE UM PIVÔ DE SUSPENSÃO VEICULAR

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM), Campus Manaus Centro como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. MSc. Miécio Melquiades.

Aprovado em __ / __ /2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. _____.
Instituto Federal do Amazonas - IFAM
Presidente Banca Examinadora

Prof. _____.
Instituto Federal do Amazonas - IFAM
Membro Examinador

Prof. _____.
Instituto Federal do Amazonas – IFAM
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pois sem ele nada seria possível, toda honra, toda glória para Ele.

Em segundo lugar à minha Mãe Lúcia Aguiar pelo Amor, carinho e todo esforço e suor para fornecer uma educação digna, e sempre me motivar e dar suporte nos momentos mais difíceis.

Aos meu irmão Hugo Garcia, por sempre estar presente e incentivando essa caminhada.

Ao Professor Miécio Melquiades pela Orientação Neste Trabalho.

A todos meus Grandes Amigos que estiveram sempre comigo me incentivando e ajudando durante toda essa jornada.

À Denso da Amazonia e os colegas de Trabalho por ceder a estrutura para Fazer as Análises e por ter me dado o Suporte necessário.

Aos professores do IFAM que contribuíram na minha formação e no meu aprendizado.

A todos estes citados acima o meu muito obrigado!

RESUMO

A análise de falha de um pivô de suspensão veicular foi apresentada por meio de um estudo de caso no qual foi avaliado a amostra da peça. O pivô de suspensão é um elemento que recebe grandes cargas provenientes de frenagem, movimento de subida e descida da roda e mudança de direção. Ele é responsável por sustentar a roda e ligar a carroceria aos outros elementos de suspensão. A peça é um modelo pertencente a um veículo de passageiros ano 2013, que após a falha foi armazenada em saco plástico proveniente da peça nova substituída, logo após guardado em ambiente fechado por cerca de seis meses. Também não foi identificado o fabricante da peça. As falhas dúcteis costumam ocorrer durante a fabricação ou início de serviço. Segundo a ASTM Handbook 11, as falhas mais comuns de fratura dúctil estão relacionadas com erros de cálculo das tensões de serviços, uso indevido ou abuso no serviço, seleção classificação ou processamento impróprio de materiais ou má fabricação. O presente estudo teve o intuito mostrar uma correta análise de falha Mecânica. Nas etapas da análise fractográfica foi realizado o exame preliminar que inclui; o registro fotográfico da peça recebida, e limpeza e exame e macroscópico, este, consiste observar a superfície fraturada em estereomicroscópio. Por fim, foi feito exame microscópico através de microscopia eletrônica de varredura e metalografia pra se observar características do material.

Palavras-chave: Análise de falhas, Pivô de suspensão, Fractografia

ABSTRACT

The failure analysis of a vehicle suspension pivot was presented through a case study in which the part sample was evaluated. The suspension pivot is an element that receives large loads from braking, up and down movement of the wheel and change of direction. He is responsible for sustaining the wheel and connecting the bodywork to the other suspension elements. The part is a model belonging to a 2013 passenger vehicle, which after the failure was stored in a plastic bag from the new replaced part, after being stored indoors for about six months. The manufacturer of the part was also not identified. Ductile failures usually occur during manufacturing or service start-up. According to ASTM Handbook 11, the most common ductile fracture failures are related to errors in controlling service stresses, misuse or abuse in service, improper selection or processing of materials, or poor manufacturing. The present study was intended to show a correct analysis of mechanical failure. In the fractographic analysis stages, a preliminary examination was carried out, which includes; the photographic record of the piece received, and cleaning and macroscopic examination, this consists of observing the fractured surface in a stereomicroscope. Finally, a microscopic examination was carried out using scanning electron microscopy and metallography to observe the characteristics of the material.

Keywords: Failure analysis, Suspension pivot, Fractography

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	JUSTIFICATIVA	11
3	OBJETIVOS	12
	3.1 OBJETIVO GERAL	12
	3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
	4.1 PIVÔ DE SUSPENSÃO	13
	4.2 MATERIAIS E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO	13
	4.3 AÇOS	14
	4.4 VISÃO GERAL DE TENSÃO DEFORMAÇÃO.	15
	4.5 MÓDULO DE ELASTICIDADE. / MÓDULO DE YOUNG	15
	4.6 TENSÃO DE ESCOAMENTO / LIMITE DE PROPORCIONALIDADE	16
	4.7 DUCTILIDADE–DEFINIÇÕES E CONCEITOS	16
	4.8 TENACIDADE E RESILIÊNCIA–DEFINIÇÕES E CONCEITOS.	16
	4.9 ANÁLISE DE FALHAS	17
	4.10 FRATURA DÚCTIL.	18
	4.11 FRATURA FRÁGIL	19
	4.12 FRATURA POR FADIGA	20
	4.13 ANÁLISE METALOGRAFIA	22
5	METODOLOGIA	25
	5.1 MÉTODOS	25
	5.2 COLETA DE INFORMAÇÕES E ARMAZENAMENTO	25
	5.3 PREPARAÇÃO DA AMOSTRA	26
	5.4 ANÁLISE EM ESTEREOMICROSCÓPIO.	27
	5.5 ANÁLISE EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	27
	5.6 ANÁLISE METALOGRÁFICA	28
6	RESULTADOS	30
	6.1 ANÁLISE VISUAL	30
	6.2 ESTEREOMICROSCÓPIO	32
	6.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	34
	6.4 ENSAIO METALOGRÁFICO	37
7	CONCLUSÃO	40
8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	41
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Componentes Pivô de Suspensão	13
Figura 2 Tipos de Carcaças de Pivô de Suspensão.....	14
Figura 3 Diagrama Tensão Deformação.....	15
Figura 4 Etapas da Fratura Dúctil.....	18
Figura 5 Fractografia Eletrônica de Varredura mostrando a Presença de Dimples na Fratura Dúctil	19
Figura 6 Marcas de Sargento Fratura Frágil.....	20
Figura 7 Linhas ou Estrias - Fratura Frágil	20
Figura 8 Fratura Frágil visualizada por MEV - a) Clivagem (Transgranular) b) Intergranular	20
Figura 9 Exemplo de uma Fratura ocorrida por Fadiga.....	21
Figura 10 Imagem de MEV com baixa ampliação mostrando Marcas de Praia de fratura por fadiga.	22
Figura 11 Amostra Embutida	23
Figura 12 Sequência de Giro da amostra na fase de lixamento.....	23
Figura 13 Feixes de luz refletindo sobre amostra.....	24
Figura 14 Peça Segregada em Saco Plástico	25
Figura 15 a-Divisão da superfície Fraturada b- 2º corte	26
Figura 16 Estereomicroscópio Olympus SZ661.....	27
Figura 17 MEV	28
Figura 18 a-Lixaderira b-Estufa a Vácuo	28
Figura 19 Microscópio Ótico.....	29
Figura 20 Análise Visual do Pivô.....	30
Figura 21 Aspectos Visuais da Peça.....	31
Figura 22 Pino e carcaça sem vestígios de impacto	31
Figura 23 Trincas próximo à superfície fraturada	33
Figura 24 Regiões distintas na fratura a-(ampliação 0,6x)-1000µm e b-(ampliação 1x)-500µm.	34
Figura 25 Imagem obtida por MEV a - (Ampliação1700X) mostrando microcavidades b- (Ampliação 700x) e c-(Ampliação 3000X)	35

1 INTRODUÇÃO

A análise de falhas em peças automotivas é um assunto pouco explorado por usuários de veículos e empresas que possuem frota. Esse tipo de incidente pode por vidas em risco, perdas econômicas e indisponibilidade de produtos e serviço (Callister 2018). Normalmente quando se tem uma quebra antes do tempo esperado de um item da suspensão veicular, os usuários pedem a garantia que é concedida pelas lojas de auto peças, estas, poderiam explorar melhor o entendimento se causa da falha foi má qualidade da peça fornecida pelo fabricante ou contra argumentar usuários em caso detectado imprudência na condução. No primeiro, caso os fabricantes de peças automotivas teriam feedback para melhoria da qualidade de suas peças e os revendedores passariam mais segurança na indicação de peças para seus clientes. A análise da fratura de um pivô de suspensão automotiva é um exemplo do que pode ser feito em casos de dúvidas relacionadas ao motivo da falha, que pode ter origem na colisão em buracos, falha por tempo de uso, ou fator relacionado a qualidade da peça. O pivô de suspensão é um item que deve ter muita atenção, pois, como é responsável pelo movimento angular das rodas, sua falha pode ocasionar soltura da roda e pôr em risco a segurança do condutor e dos passageiros, além de já ter sido item envolvendo *recall* realizado pelas grandes montadoras de veículos (Junior 2006).

No contexto de serviço envolvidos tais como aluguel ou contrato de trabalho, quando temos uma quebra de peça automotiva, na grande maioria dos casos, proprietário não tiveram a resposta do motivo a peça se romper e tampouco investigaram a causa, que pode ser uma imprudência no volante ou má qualidade da peça. Entender qual tipo de fratura com ocorreu antes a falha pode nos ajudar a excluir algumas possibilidades e apontar prováveis causas.

A prática deste tipo de análise pode se tornar um serviço de engenharia a ser explorado com bastante demanda em que o objetivo seja comprovar casos de má qualidade da peça e verificar veracidade de fatos apontados por funcionários na direção do veículo.

Para isso é necessário entender a peça a ser estudada, o pivô de suspensão veicular. Quais a função do pivô de suspensão, quais os principais esforços que a peça é submetida quais as ligas metálicas ideias para o projeto, os ciclos que suporta. Nesse trabalho, foi apresentado os principais tipos de fraturas existentes, principais características, análise metalográfica do material. O método usado para entender as características da ruptura, composição da amostra e estrutura foi descritivo e exploratório, no qual foi retirado uma parte da face rompida para ser analisada em microscópio eletrônico de varredura após

isso capturado a imagem da ruptura através de estereomicroscópio. Com a imagem ampliada é possível avaliar se predominam fratura frágil, dúctil ou fratura por fadiga. Após isso a amostra foi submetida a embutimento para verificar a microestrutura, com intuito de averiguar o material. Com isso foi possível verificar as principais características do pivô de suspensão fraturado para tentar explicar como procede uma análise de falha.

2 JUSTIFICATIVA

O presente estudo teve como motivação um fato curioso e cercado de dúvidas, envolvendo um locatário e um locador de veículos. Certa manhã, ao sair de casa para trabalhar como motorista de aplicativo, logo após ligar o carro e se movimentar com o veículo, o condutor percebeu que a roda do veículo estava solta e inesperadamente uma das peças mais importantes da Suspensão Veicular havia rompido. Segundo relatos do locatário nos dias anteriores ao fato, não havia nada que sinalizasse que tal peça estava se rompendo ou mesmo que o veículo teria tido alguma colisão com buracos, lombadas ou outro tipo de impacto. Tal situação direcionou ao seguinte questionamento - O que levou a peça romper tão inesperadamente? Realmente o condutor não colidiu em algum relevo? Quem terá o custo de manutenção? Muitas empresas, tais como; emissoras de televisão, locadoras de veículos, empresas de transporte e turismo, possuem grande frota de carros e sob esses patrimônios espera-se a total reponsabilidade do condutor e qualidade de peças automotivas, pois falhas envolvendo rompimento de peças ou imprudência na condução impactam diretamente na segurança do transporte. Visto esse contexto, discutir sobre a ruptura de uma peça automotiva justifica-se por ser um estudo que pode ser aplicado na análise de defeitos mecânicos em veículos, para discutir os casos em que não sabemos se são falhas ocorridas por falha na qualidade da peça ou imprudência na direção e serve como identificação e para propostas de melhoria para fabricantes de peças automotivas.

Assim, é possível notar que o estudo de uma Fratura pode impactar direta ou indiretamente na segurança e na vida de usuários de veículos, servir como base para analisar outras falhas de peças em máquinas, podendo ser também um importante tipo serviço autônomo do engenheiro mecânico envolvendo elaboração de laudos e no auxílio de decisões na esfera judicial. A peça chave deste trabalho é estudar as duas amostras resultantes da quebra desse elemento de suspensão automotiva, através de observação da característica que a amostra apresenta, verificar quais etapas ocorreram com material até a falha, quais elementos químicos do material, quais suas fases, e observar se possuem em sua estrutura imperfeições ou trincas. Para tanto, é fundamental entender o funcionamento de um pivô de suspensão, os esforços mecânicos que pode sofrer em campo, as ligas apropriadas para fabricação, os tipos de fraturas que podem ter ocorrido e comportamento da estrutura até sua falha.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o estado da fratura de um pivô de suspensão encontrado rompido inesperadamente.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conceituar pivô de suspensão, suas partes e sua função.

Apresentar os diferentes tipos de fratura frágil, dúctil e fadiga apontar suas principais características.

Apresentar a micrografia da amostra para tentar averiguar a matéria prima de fabricação e composição química, utilizando técnica de Metalografia.

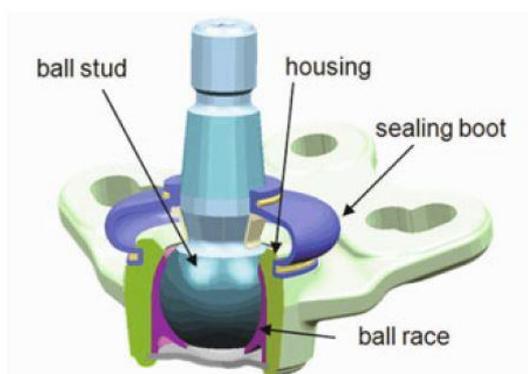
Analisar as características macroscópicas e microscópicas da falha catastrófica (rutura) do pivô de suspensão através de observação em Estereoscópio e Microscópio Eletrônico de Varredura.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 PIVÔ DE SUSPENSÃO

O Pivô de Suspensão, do inglês “ball joints”, conhecido também como articulação, é um componente da suspensão que faz a ligação das partes suspensas (chassi, carroceria) com as partes móveis do veículo através da bandeja ou braço oscilante, permitindo o movimento rotacional e pendular da roda. Formado por coifa de borracha, pino de aço e housing (carcaça), Figura 1, ele é responsável por dar equilíbrio e conforto durante o movimento do Veículo.

Figura 1- Componentes Pivô de Suspensão



Fonte: Heiβing and Ersoy (2011, pg. 301)

Durante a aceleração, desaceleração, frenagem, mudança de direção da roda e movimentos de descida e subida, o pivô recebe grandes cargas e é o primeiro componente da suspensão a receber os impactos provenientes de desníveis, tais como buracos e lombadas. Basicamente o pivô mantém a roda em “pé”, e sua quebra gera a perda de conexão entre componentes de direção e as rodas, resultando a perda na dirigibilidade do veículo e configurando situação de alto risco de acidente. Dessa forma, segundo (TORESAN; FACANHA; BELMONT, [s.d.]) é necessário observar sempre a coifa de proteção quanto sua integridade, pois materiais estranhos podem penetrar no alojamento da articulação ocasionando desgaste prematuro e a quebra.

4.2 MATERIAIS E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

Na fabricação de carcaças podem ser empregados vários métodos de fabricação podendo ser; fundição, forjamento, extrusão a frio, usinagem ou mesmo confeccionadas de chapas estampadas ou trefiladas de acordo com o que ensina Heiβing (2011). As peças fundidas, possuem a desvantagem de possuir resistência inferior e terem risco de

apresentarem “vazios” em sua estrutura, além de ser necessário maior controle de qualidade, tais como raio X, para detecção de imperfeições. As carcaças de chapas metálicas são mais baratas e, são razoavelmente mais fracas que as carcaças forjadas ou extrudadas a frio. Segundo (HEI β ING 2011) “O material comumente empregado para fabricação dessas peças é o 30MnVS6” As carcaças podem ser do tipo flangeado, prensado, aparafusado, soldado, ou embutido, conforme a Figura 2 a seguir.

Figura 2 - Tipos de Carcaças de Pivô de Suspensão



Fonte: Heißing and Ersoy (2011, pg. 313)

4.3 AÇOS

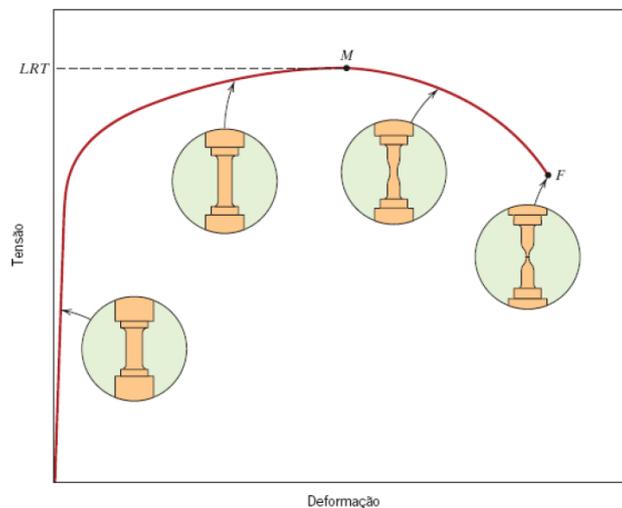
Os Aços são ligas formados pela combinação de dois elementos, ferro e carbono, no qual o teor de carbono pode variar de 0,008% até 2,11%. A mesma combinação de elementos forma o ferro fundido que possui o teor de carbono mais elevado, variando de 2,11% até 6,7% (CHIAVERINI 1998) O carbono é muito utilizado nas ligas de ferro e costuma ser aplicado também com outros elementos como o cromo, vanádio e tungstênio. Esses elementos em combinação com o carbono agem como agentes de resistência. A identificação dos aços é feita pelo Instituto de Ferro e Aço (American Iron and Steel Institute – AISI) e a Sociedade de Engenheiros Automotivos (Society of Automotive Engineers – SAE) em que a o código do aço é formado por números de 4 ou 5 números para identificar a liga do aço onde os dois últimos números referem-se ao teor de carbono e os primeiros aos principais elemento de liga presente, assim um aço AISI 1040 contém 0,40% de carbono em massa e um aço SAE 10120 é um aço com 1,20% de C. (Askeland 2014). A classificação dos aços é feita conforme sua liga e predominantemente percentual de carbono, Aços de Baixo carbono possuem entre 0,04% e 0,15% de carbono, são utilizados para fabricação de carroceria de veículos e outros componentes. Aços doces tem 0,15%-0,3% de carbono aplicados em pontes, estruturas da construção civil, tubulações entre outros. Aços de médio carbono 0,3%-0,6% de carbono aplicados à fabricação de máquinas, tratores e equipamentos para mineração. Ações de alto carbono são aqueles acima de 0,6% de carbono usados para fabricação de molas, rodas de trem e

similares. Já os Aços liga são aqueles que excedem o percentual de composição relativos aos elementos: $\geq 1,65\text{Mn}$, $0,6\text{ Si}$ ou $0,6\%\text{Cu}$ (ASKELAND 2014)

4.4 VISÃO GERAL DE TENSÃO DEFORMAÇÃO.

O gráfico de tensão deformação nos dá uma visão de força (N) por (mm) que o material sofre em ensaio, ele é obtido através de ensaio de tração com dados coletados de alongamento (Δl) relativo a uma força (N) aplicada. Na **região elástica** do gráfico temos informação de qual ponto de (tensão x deformação) e limite de carga que o material consegue suportar e mesmo assim conseguir retornar sua posição inicial, seu estado inicial e deformação não-permanente (reversível). Na **Região Plástica** o material passa a tensão de escoamento que suporta e tem uma deformação permanente, a qual não retorna à fase inicial. O limite de resistência a tração é dado no gráfico tensão x deformação, pelo ponto superior da Curva, no qual indica a maior tensão que o material irá suportar. Conforme mostra a figura 3.

Figura 3 Diagrama Tensão Deformação



FONTE: (CALLISTER 2018)

4.5 MODULO DE ELASTICIDADE. / MÓDULO DE YOUNG

É o coeficiente de angulação retirado da **região elástica** do gráfico tensão deformação, ou pode ser a tangente da curva de inclinação da parte linear do gráfico tensão deformação, ou pode ser dada pela equação abaixo.

$$E = \frac{S}{E} \text{ Digite a equação aqui.} \quad (1)$$

4.6 TENSÃO DE ESCOAMENTO / LIMITE DE PROPORCIONALIDADE

Segundo (Askeland 2014 pág. 164) “o valor crítico de tensão necessário para iniciar a deformação plástica é definido como limite elástico” se trata do ponto no gráfico em que deixamos ter per a proporcionalidade de tensão deformação; ou seja, o material não está sob o regime da lei de Hooke. A técnica usada para encontrar a Tensão de escoamento é deslocar uma linha paralela ao gráfico linear deslocando 0,002 (mm) até encontrar a parte não linear (porção plástica), o ponto encontrado é projetado sua abscissa (tensão) e assim é encontrada a tensão de escoamento do material. Dessa forma, ao se projetar peças é necessário prever a tensão de campo afim trabalhar abaixo do limite de escoamento do material para evitar deformação plástica durante utilização, outra de evitar tal problema é aumentar a seção transversal do material para que a força aplicada produza tensão inferior ao limite de escoamento.

4.7 DUCTILIDADE - DEFINIÇÕES E CONCEITOS

A Propriedade Mecânica ductibilidade, é uma medida do grau de deformação plástica que foi sustentada antes fratura. Um metal que experimenta pouca ou nenhuma deformação plástica na fratura é denominado frágil, conseqüentemente, no gráfico tensão deformação, a curva da fase plástica de um material dúctil será maior que o de material frágil. Existem duas maneiras de verificar a ductibilidade do material sendo o Alongamento Percentual (%AL) que nós da informação permanente de deformação plástica quando ocorre uma fratura e a Redução percentual na Área (%RA) que descreve o estreitamento que a amostra sofreu (Askeland 2014)

$$\% \text{ Alongamento} = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100 \quad (2)$$

$$\% \text{ Redução Percentual de área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100 \quad (3)$$

4.8 TENACIDADE E RESILIÊNCIA - DEFINIÇÕES E CONCEITOS.

É a quantidade de Energia absorvida para realizar uma deformação elástica no material O cálculo do módulo de Resiliência em termos gerais é dado pela área da fase elástica no gráfico Tensão-Deformação. A propriedade Mecânica Tenacidade, é a Energia

por quantidade de Volume Absorvida dentro da Fase Plástica até o Material se Romper.

4.9 ANÁLISE DE FALHAS

A análise de falhas é um estudo extremamente importante para a sociedade, esta que depende de produtos oriundos de fabricação mecânica tais como veículos, aeronaves, e máquinas para manufatura de bens de consumo, através da análise de falhas é possível propor melhorias de qualidade ou projeto, evitar acidentes, evitar parada de produção ou mesmo elaboração de perícias. Em termos de definição, a falha é denominada quando temos casos de peças ou componentes que ficam inoperante após a tragédia ou mesmo desempenha sua função de forma não segura e insatisfatória. (Ruchert 2012 apud CALEGARO 2018).

Basicamente a análise de falhas é uma investigação que usa método científico, consiste em separar as possíveis causas, onde é fundamental interligar a os fatos para tentar entender a primeira condição anormal que ocasionou o problema. (Wulpi 2013). Se tratando peças automotivas, segundo Ranvier (2010) o estado das peças é fundamental para determinar se a falha tem contribuição do motorista, se é falha mecânica da peça ou foi originado de algum funcionamento irregular, os motivos que levam a falhas podem ser oriundos de:

- 1- Projeto
- 2- Fabricação
- 3- Operacional
- 4- Material
- 5- Manutenção

De acordo (Ruchert 2012 e Wulpi 2013) durante a Investigação de uma falha são possíveis ao menos dez variáveis para a linha de pesquisa da ocorrência de falha. Sendo elas.

- 1- Superfície da Fratura
- 2- Superfície da Peça quanto à deformação, danos por usinagem, montagem ou manutenção.
- 3- Geometria e projeto sendo esses ligados ao funcionamento da peça, dimensional e tensões concentradas.
- 4- Manufatura e Processo relacionado à cavidades, porosidade, descontinuidade e tratamento térmico deficiente.
- 5- Propriedades do material para identificar se está de acordo com as

especificações, e se está adequado para o projeto.

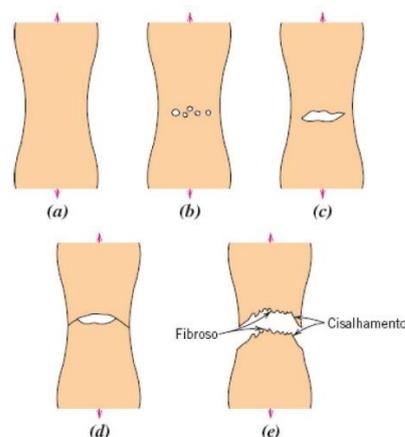
- 6- Relação entre tensão aplicada e tensão residual.
- 7- Mal funcionamento de peças adjacentes.
- 8- Montagem desalinhada, usinagem incorreta.
- 9- Condições de Serviço, essas podendo envolver manutenção, excesso de carga e velocidade
- 10- Reações do ambiente que pode resultar em corrosão ou alteração do componente.

4.10 FRATURA DÚCTIL.

Em geral as fraturas Dúcteis podem ocorrer apresentando estrangulamento ou redução em 100% da área, esta, sendo restrita a materiais extremamente dúcteis (Callister 2018) Os metais dúcteis normalmente exibem deformação plástica substancial com alta absorção de energia antes da fratura. O processo de fratura Dúctil por estrangulamento normalmente ocorre em vários estágios conforme Figura 4 no qual é formado no interior do material alguns micro vazios, estes, vão se juntar e se aglutinar formando uma trinca elíptica que se propagam em direção paralela ao eixo principal. As cinco fases são mostradas a seguir;

- a. Estreitamento inicial
- b. Formação de Pequenos Vazios
- c. Coalescência para Formar uma Trinca
- d. Propagação de trincas.
- e. Fratura por cisalhamento final.

Figura 4 Etapas da Fratura Dúctil

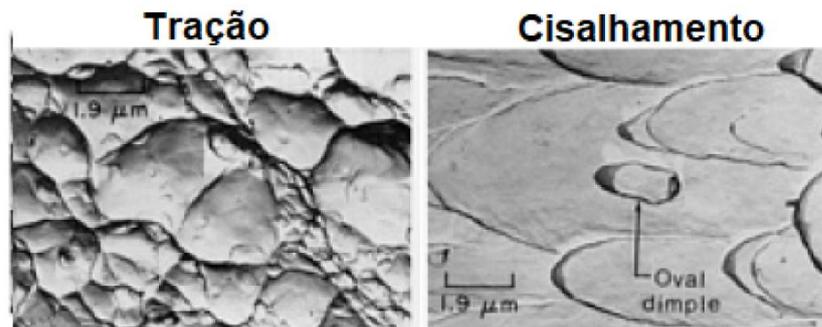


Fonte: (Callister 2018)

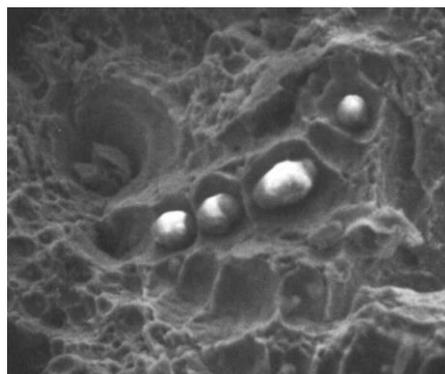
O aspecto visual da fratura dúctil é o chamado Copo-Cone no qual é perceptível

que as partes se “encaixam” ao tentar juntá-la. Quando essa região de copo-cone é visualizada em microscópio Eletrônico de Varredura é possível ver a morfologia característica dessa fratura os chamados dimples, ou micro vazios figura 5. É possível também observar microcavidades esféricas ou parabólicas que estão relacionados ao tipo de esforço que o metal sofreu antes da fratura, podendo ser esforço por tração ou cisalhamento (CALEGARO 2018)

Figura 5 Fractografia Eletrônica de Varredura mostrando a Presença de Dimples na Fratura Dúctil



Fonte (CALEGARO 2018)



(THORNTON, 1971)

4.11 FRATURA FRÁGIL

Diferente da fratura dúctil, a fratura frágil ocorre sem deformação e por rápida propagação de trincas, a superfície da Fratura é plana. Existem duas principais características dessa fratura são as “marcas de sargento em V”, figura 6, no qual são interpretadas como setas que apontam para origem da fratura e as “linhas ou nervuras”, figura 7, que saem a partir da origem da trinca e fazem um formato de “leque” (CALLISTER 2018). Apesar de ocorrer normalmente em materiais com ductibilidade e tenacidade menores, a fratura frágil pode acontecer em materiais de alta resistência, os materiais dúcteis podem fraturar frágil quando há grandes trincas superficiais, a superfície dessa fratura é normalmente plana e perpendicular a tensão atuante. (ASKELAND 2014).

Figura 6 Marcas de Sargento Fratura Frágil

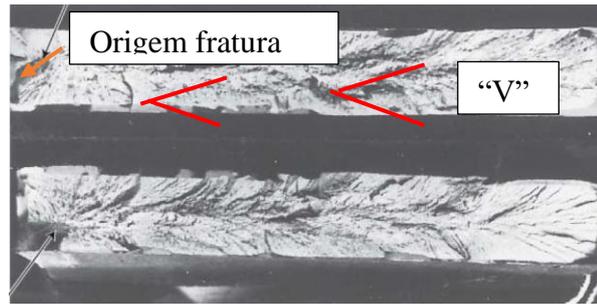
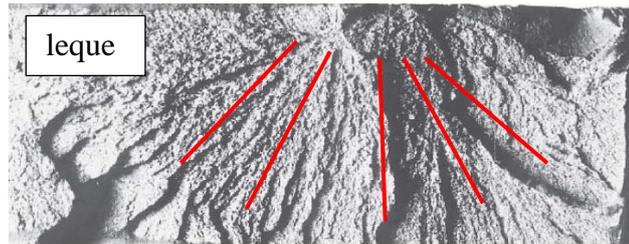


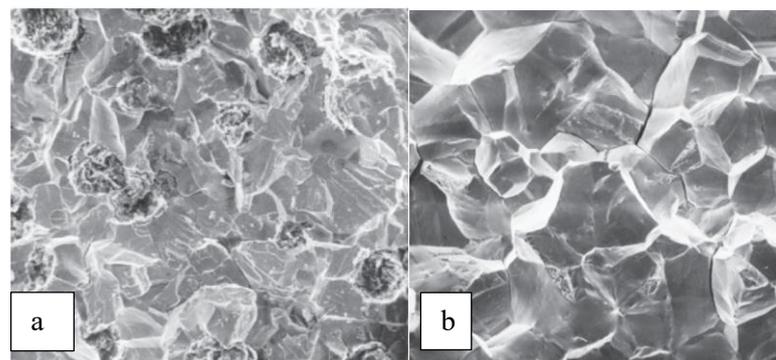
Figura 7 Linhas ou Estrias - Fratura Frágil



Fonte (Adaptado de Callister 2018)

Podemos observar por microscopia eletrônica de varredura dois padrões de imagens para fraturas frágeis, estes são classificados conforme a propagação da trinca. O fenômeno denominado Clivagem ocorre quando a propagação da trinca passa “no meio” dos grãos, esse tipo de fratura é denominado Transgranular conforme a figura 8-a. Outro tipo de fratura frágil é observado quando a propagação da trinca passa ao “redor” dos grãos, figura 8-b, esses casos geralmente ocorrem após processos que reduzem a resistência ou fragilizam as regiões dos contornos de grãos.

Figura 8 Fratura Frágil visualizada por MEV - a) Clivagem (Transgranular) b) Intergranular



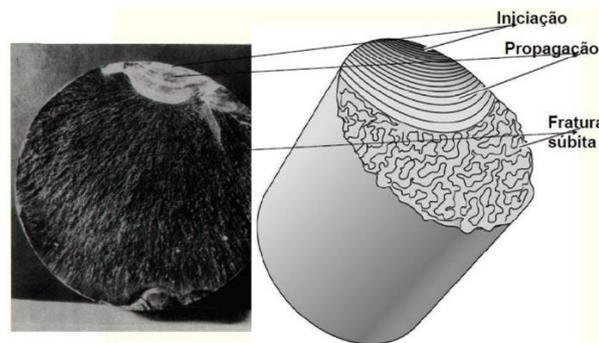
FONTE (Adaptado de Callister 2018)

4.12 FRATURA POR FADIGA

A Fratura por fadiga pode ser considerada o modo de falha mais propenso de acontecer em peças automotivas, visto estar relacionada com ciclos e cargas que estão sujeitos os veículos. Segundo (Branco, 1999) fadiga é um fenômeno de quebra

progressiva que ocorre em materiais sujeitos à cíclicos repetidos de tensão deformação, como exemplo prático de onde ocorre tais tensões dinâmicas podemos citar pontes, aeronaves e componentes de máquinas no qual estes estão sujeitos a este modo de falha (CALLISTER, 2018). Uma superfície fraturada por fadiga possui 3 áreas que caracterizam esta falha, a Figura 9 mostra três áreas de aspecto distinto onde é possível detectar visualmente esse modo de falha, primeiro é possível notar a área menor onde se inicia a trinca, segundo temos a área de propagação da falha que é denominado “marcas de praia”, essas podem ser observadas facilmente e estar ocupando maior área da superfície, como também podem ser vistas com maior dificuldade (Barbosa 2018) em terceiro e último temos a maior área que é onde ocorre a denominada falha ou “Ruptura Catastrófica”.

Figura 9 - Exemplo de uma Fratura ocorrida por Fadiga

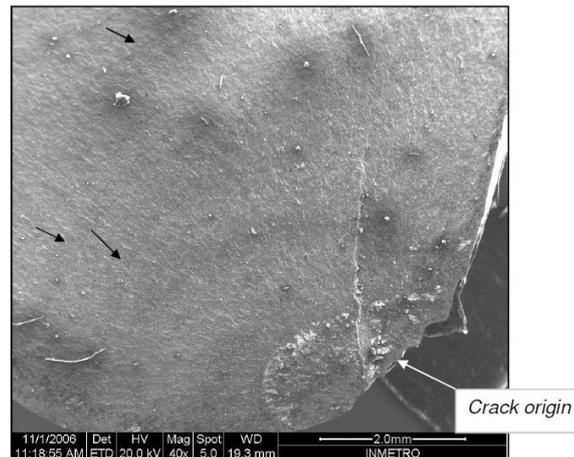


Fonte: (Carvalho 2019)

Esse tipo de fratura é ocasionado principalmente em função dos ciclos de carga que está sujeito o componente. De um modo geral, a fadiga ocorre mediante tensões repetitivas que podem ser maiores ou menores que os limite de escoamento do material, mesmo assim quando se tem cargas menores que o limite de escoamento, porém com variação suficiente, é possível haver fratura por fadiga. (Askeland 2014) e segundo a (Asm handbook 2022) a intensidade de cada carregamento por si só não é suficiente para ocasionar uma fratura completa num componente ou peça, uma vez que o esforço aplicado normalmente é inferior à tensão máxima ou de escoamento do material. Porém, o acúmulo de estresse causado por repetidos e numerosos carregamentos (da ordem de centenas, dezenas ou milhares de ciclos) resultam na iniciação e propagação gradual de uma ou mais trincas no interior do material, de modo que, quando essa trinca atinge um tamanho ou comprimento crítico, a seção transversal restante não mais é capaz de suportar o carregamento imposto, levando ao completo e repentino rompimento de um componente ou peça. A superfície da fratura junto à origem tende a ser lisa, tornasse

irregular com o aumento e tamanho da trinca e é fibrosa na parte final de propagação da trinca (ASKELAND 2014). A figura 10 é uma imagem de baixo aumento obtida por microscópio eletrônico de varredura mostrando marcas de praia de uma superfície fraturada.

Figura 10 - Imagem de MEV com baixa ampliação mostrando Marcas de Praia de fratura por fadiga.



Fonte: (Barbosa 2018)

4.13 ANÁLISE METALOGRAFIA

A metalografia consiste no estudo da estrutura de amostra em nível microscópico utilizando técnicas apropriadas onde possível analisar vários aspectos do da amostra, que incluem o material de fabricação, a composição, estrutura interna. Através de microscópio é possível observar as fases existente do material, o tipo e tamanho dos grãos e o teor de carbono (Silva 2010). As etapas básicas para se obter a preparação da amostra é o corte, etapas de lixamento com várias granulações, polimento, ataque químico e análise em microscópio. Através da Metalografia é possível identificar as fases perlita, cementita, martensita, bainita, ferrita entre outras. (LEITE et al., 2017)

A etapa de embutimento tem o objetivo de facilitar o manuseio da amostra tanto na observação através do microscópio, quanto no lixamento, consiste posicionar uma pequena porção do material a ser analisado em um porta amostra e adicionar uma resina para solidificar junto ao material, conforme a figura 11.

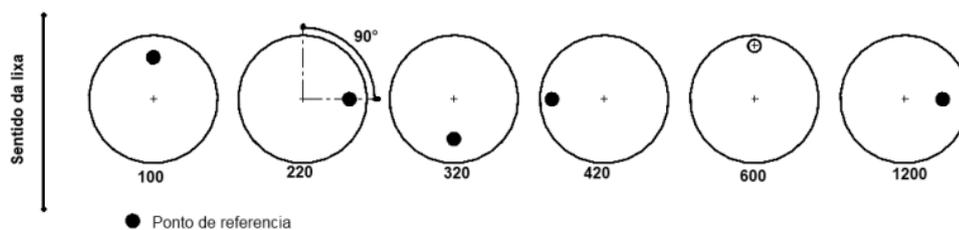
Figura 11 Amostra Embutida



Fonte; (Silva 2010)

Após o embutimento a amostra deve ser cortada de acordo com a face a ser analisada, nesta etapa é importante saber qual disco de corte utilizar em função da dureza do material a ser analisado. A exemplificar, discos de corte aplicáveis a cortes de placas de circuitos eletrônicos não suportam cortar amostras de aços, podendo assim ocasionar defeitos à máquina de corte, ou danificar a amostra em análise. A etapa de lixamento é a etapa mais demorada na preparação da amostra, essa etapa tem como objetivo eliminar eventuais riscos e marcas profundas da superfície da amostra que será lixada por várias granulações de lixa rotativa, até se obter um acabamento uniforme. Ao passar para próxima lixa é necessário girar 90° a amostra para que desapareçam os traços do lixamento anterior, conforme a figura 12.

Figura 12 Sequência de Giro da amostra na fase de lixamento



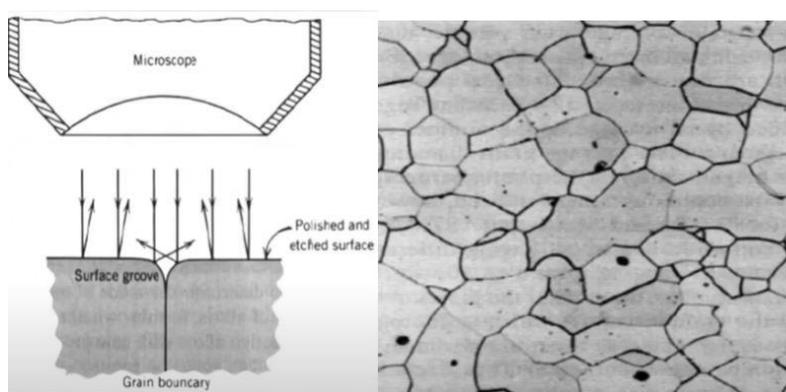
Fonte: (Silva 2010)

O polimento é etapa que tem por objetivo tornar a superfície da amostra sem riscos e com alta refletividade, normalmente utiliza-se politrizes circulares e mecânica no qual um pano de polimento realiza movimento circular e o operador permanece fixando a amostra com as mãos por aproximadamente 20min até se obter uma superfície polida. A velocidade normalmente utilizada fica em torno de 50 a 800 rpm, geralmente utiliza-se duas etapas no polimento chamado de polimento grosseiro em que se utiliza alumina a $0,3\mu\text{m}$ e depois alumina de $1\mu\text{m}$ ou polimento refinado em que começa com alumina $0,3\mu\text{m}$ podendo terminar com diamante $1\mu\text{m}$. Normalmente são utilizados dois agentes polidores a alumina e a pasta de diamante, a alumina é utilizada água como lubrificante e

deve ser usada em quantidade considerável durante o polimento, a dureza da alumina é menor que a pasta de diamante. A elevada resistência, e ação anti-oxidante são as principais características da pasta de diamante, esse agente é o mais indicado para polimento de metais duros, e cerâmicas. (BORGES, 2009.)

A última etapa da preparação é o ataque químico que é realizado com intuito de revelar os microconstituintes da amostra após o polimento, dessa forma é possível distinguir as fases e os contornos de grãos na imagem revelada. O mecanismo de formação da imagem consiste em direcionar o feixe de luz do microscópio sobre a superfície polida e atacada, entre os contornos de grãos, ocorre oxidação ou redução, que resulta em desnível em relação a superfície sem contorno, quando o feixe luz incide sobre a parte que contém o contorno de grãos ela reflete com ângulo de reflexão diferente dos demais feixes resultando assim um aspecto escuro na imagem de microscópio que mostra o contorno de grãos, conforme mostra a figura 13.

Figura 13 Feixes de luz refletindo sobre amostra



Fonte (Durval 2022)

Os reagentes são geralmente compostos de ácidos com solventes apropriados, como água etc. Na maior parte dos casos os reagentes para revelação das estruturas metálicas na metalografia são diluídos em solução alcoólica. (ROHDE 2010)

Os reagentes mais comuns são:

- Solução de Ácido Nítrico a 1 a 5% em álcool etílico – Nital
- Solução de ácido pícrico a 4% em álcool etílico – Picral.
- Solução de picrato de sódio: 100ml de água, 25g de NaOH e 25g de ácido pícrico.

5 METODOLOGIA

5.1 MÉTODOS

O presente estudo consiste em pesquisa aplicada de caráter exploratório e descritivo, que visa buscar compreender o estado de um pivô de suspensão após a fratura e apontar as possíveis causas da falha, esta peça é aplicada à suspensão do veículo de passageiros celta 2013. O estudo se trata de uma revisão bibliográfica e análise em laboratório onde serão coletadas informações da peça a ser analisada, como; imagens ampliadas, metalografia do material, e característica da superfície fraturada por MEV e estereoscópio, utilizando técnicas apropriadas para preparação de amostras. Os resultados obtidos e capturas de imagens obtidos serão comparadas com definições já conhecidas sobre o tema e estudos já realizados, isso inclui conceitos citados em livros, artigos, publicações, e outros trabalhos acadêmicos.

5.2 COLETA DE INFORMAÇÕES E ARMAZENAMENTO

A peça quebrada foi coletada logo após sua substituição, aproximadamente 24h após o incidente com o veículo e ficou segregada por aproximadamente 6 meses até que fosse realizado a análise, durante esse período ficou acondicionada em saco plástico e alocada em ambiente fechado a temperatura ambiente. Conforme a Figura 14.

Figura 14 Peça Segregada em Saco Plástico



Fonte (Autoria Própria 2022)

A parte rompida do pivô chama-se carcaça ou housing (Heißing and Ersoy 2011), figura 14, segundo relato do condutor do veículo, não houve sinais de que a peça estava prestes a se romper, também não houve forte impacto do veículo com buracos. No presente estudo não foi possível identificar o fabricante da peça tampouco o período em que foi instalada.

5.3 PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

Nesse sentido, os resultados obtidos em cada equipamento de laboratório foram apresentados de forma qualitativa a partir da coleta dessas informações de fonte primária.

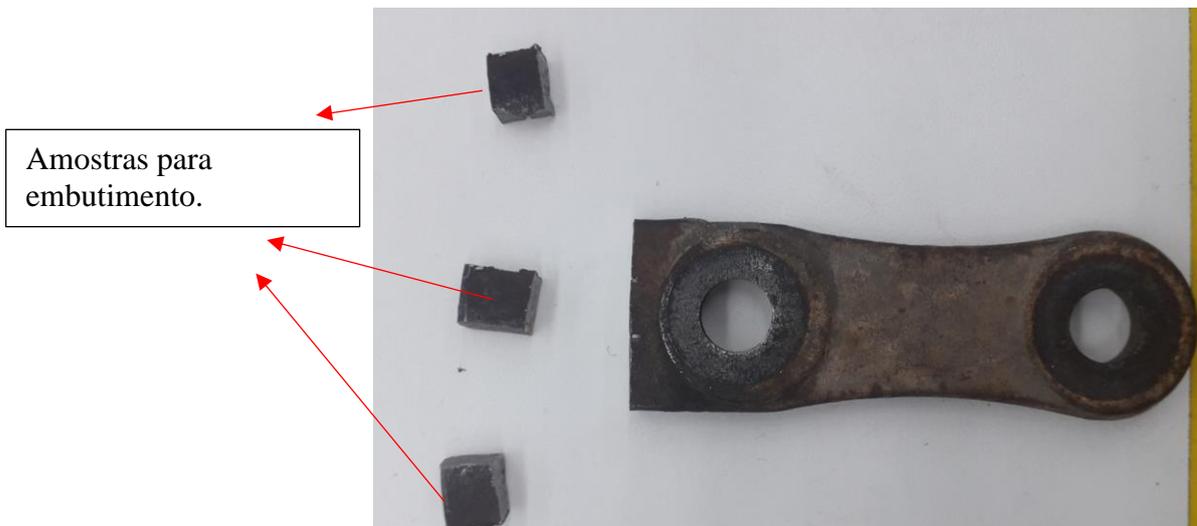
Para iniciar a análise foi realizada higienização da peça, pois devido á área de funcionamento ser em compartimento abaixo do veículo e exposto ao ambiente, a amostra continha muita sujeira. Antes da limpeza foram realizados vários registros fotográficos para se ter a condição original em que a peça foi encontrada. A limpeza inicial foi com álcool isopropílico com o auxílio de escova de dente nova somente na superfície fraturada para ter clareza do aspecto visual da ruptura e deformações perceptíveis a olho nu.

Devido ao tamanho do porta amostra do MEV, área de captura do estereomicroscópio e também do microscópio óptico, foram realizados os seguintes cortes, conforme abaixo.

- Primeiro corte na secção transversal da peça, abaixo da superfície fraturada e corte perpendicular a fratura, dividindo a fratura em 4 partes para análise em MEV e estereomicroscópio. Fig 15
- Segundo corte na secção transversal e divisão da porção em 3 partes para embutimento e observação em Microscópio Óptico.

Figura 15 a-Divisão da superfície Fraturada b- 2° corte



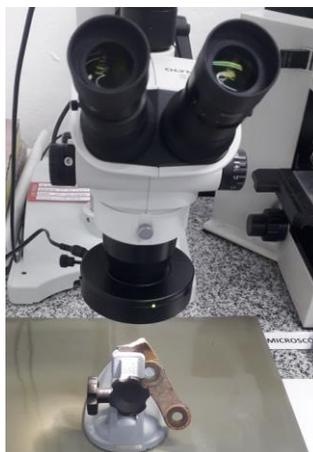


Fonte (Autoria Própria 2022)

5.4 ANÁLISE EM ESTEREOMICROSCÓPIO.

Para analisar a superfície da fratura foi utilizado estereomicroscópio ótico Olympus modelo SZ61, com opção de visualização ocular ou por software instalado em Desktop, sistema de iluminação em LED, corpo móvel, com indicação de ampliação 0,67, 1, 2, 3, e 4,5X. Figura 16.

Figura 16 Estereomicroscópio Olympus SZ661



O estereoscópio nos deu uma visão ampliada da superfície fraturada, nela será possível exibir as características típicas das fraturas, realização de medições, sentido de propagação, inicialização de trincas e regiões de fraturas bem definidas.

5.5 ANÁLISE EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Para essa análise foi utilizado Microscópio Eletrônico de Varredura/ MEV, fabricante JEOL figura 17, o método consiste em focalizar um feixe de elétrons na superfície da amostra, interagindo com a matéria gerando vários sinais que podem nos oferecer informações sobre a Morfologia do Material.

O objetivo foi obter uma imagem ampliada, cerca de 5.000x, da face fraturada. Dessa forma, poderemos verificar a parte escolhida quanto a informações da morfologia do material.

Figura 17- MEV



5.6 ANÁLISE METALOGRÁFICA

A preparação da Amostra para análise foi composta pelas seguintes etapas; o primeiro passo foi em preparar uma mistura de Resina Epóxi e um Catalizador na proporção 5:1, a mistura resultante foi despejada em recipiente plástico junto a amostra, e submetida a 200°C durante 40min em estufa a vácuo. Após o embutimento, foi necessário remover desníveis para possibilitar maior nitidez na observação. Para isso, a amostra passou por lixamento com lixas de Granulação 100, 220, 400, 600, 1000, 1200, 1500, 2000. Após obter o material lixado o foi realizado polimento com aplicação de alumina 0,3 μm e ataque químico com Nital 5% onde foi possível obter uma superfície refletora para melhor análise no microscópio. Figura 18.

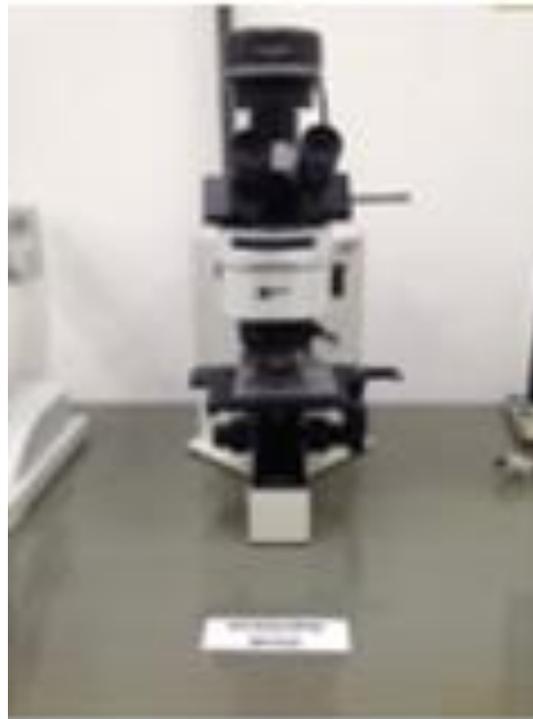
Figura 18 a- Lixaderira b-Estufa a Vácuo



Imagens foram obtidas através microscópio ótico modelo BMX60M fabricante OLYMPUS, voltagem 110/220, frequência 60Hz, ampliação máx. 3000X; opções de ampliação de lentes de 5x, 10x, 20x, 50x, 100X e 150X, visualização ocular ou Software

instalado em Desktop Figura 19.

Figura 19 Microscópio Ótico



6 RESULTADOS

6.1 ANALISE VISUAL

Como parte inicial da investigação, ao receber a peça, foi analisado os aspectos visuais, para o Prof. Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert (Ruchert ,2012, pág. 46) “qualquer indício de condições anormais ou abuso em serviço deve ser observado e avaliado” autor ainda afirma que o estudo de uma falha pode apresentar maiores dificuldades no decorrer da investigação por isso o registro fotográfico é importante antes de qualquer análise ou ensaio (Rucherd apud Wulpi, 2013). A parte rompida do pivô chama-se carcaça ou housing (Heißing and Ersoy 2011), figura 14, segundo relato do condutor do veículo, não houve sinais de que a peça estava prestes a se romper, também não houve forte impacto do veículo com buracos. No presente estudo não foi possível identificar o fabricante da peça tampouco o período em que foi instalada. A Parte em estudo possuía as seguintes características, conforme mostra a figura 20 e 21.

- Fratura com pouca deformação, aspecto semelhante ao de “taça-cone” e não paralelo à secção da peça.
- o pino esférico estava travado na carcaça.
- apresentava algumas trincas próximo à superfície fraturada

Figura 20 Análise Visual do Pivô



Fonte (Autoria Própria 2022)

Figura 21 Aspectos Visuais da Peça



Afim de evidenciar se o pino, ou a carcaça do conjunto apresentava sinais de batidas oriundas de acidentes ou sobrecargas, ou mesmo vestígios de pino rompido e coifa rasgado, foi observado que não houve vestígio de impacto sobre a peça, conforme a figura 22. Porém, foi verificado que a porção de borracha continha um furo, figura 15, e a peça possuía oxidação em sua superfície.

Figura 22 Pino e carcaça sem vestígios de impacto



Pino sem vestígios de impacto



Fonte (Autoria Própria 2022)

6.2 ESTEREOMICROSCÓPIO

É comum observar falhas catastróficas devido a degradação natural do componente durante a vida útil, ocasionado pelo acumulo de danos à estrutura ao longo do tempo (MORAIS et al., 2014). Através das imagens obtidas em estereomicroscópio é possível observar que a peça possui trincas próximo a região fraturada, conforme a figura 23, abaixo. A depender do modo de solitação podemos ter diferentes sentidos de propagação de trincas em materiais. Em esforços de tração, os materiais dúcteis apresentam trincas com inclinação de 45° em relação a superfície e os materiais frágeis apresentam ruptura paralela, em esforços de compressão a ruptura normalmente aparece paralela ao eixo de solitação da carga, em torção temos aspecto de turbilhonamento ou espiral em sentido longitudinal da peça, já em flexão; a depender do material; temos aspecto de tração na face oposta à solitação de carga (ANNICK, POKORNY, 2009).

Figura 23 Trincas próximo à superfície fraturada



Fonte (Autoria própria 2022)

Analisando imagem capturada de outro ângulo, a figura 24, observamos a região mais brilhante e lisa e outra granulada com aspecto de dúctil, porém, a peça não possui característica predominante que aponte facilmente a fratura frágil, dúctil ou por fadiga. Segundo (Callister, 2018, 299) “sob algumas circunstâncias, metais que são normalmente dúcteis fraturam de forma abrupta e com pouca deformação plástica sob taxas de carregamento elevada”. A captura mostra duas regiões com características distintas, conforme afirma (Callister 2018. 303) “Mesmo em metais normalmente dúcteis, a falha por fadiga é de natureza frágil, existindo muito pouca, se alguma, deformação plástica generalizada associada à falha. No entanto neste caso não podemos observar as marcas de praia típicas desse modo de falha. Para o autor, as marcas de praia ou estrias em uma fratura podem confirmar se houve fadiga, porém pode haver casos que esse modo de falha não apresenta tais marcações, ou seja, as estrias não são observadas em todos os metais que fraturaram por fadiga, vale salientar que em regiões com falhas repentinas não ocorre estrias ou marcas de praia. (CALLISTER 2018)

Figura 24 Regiões distintas na fratura a- (ampliação 0,6x)-1000 μ m e b- (ampliação1x)-500 μ m.



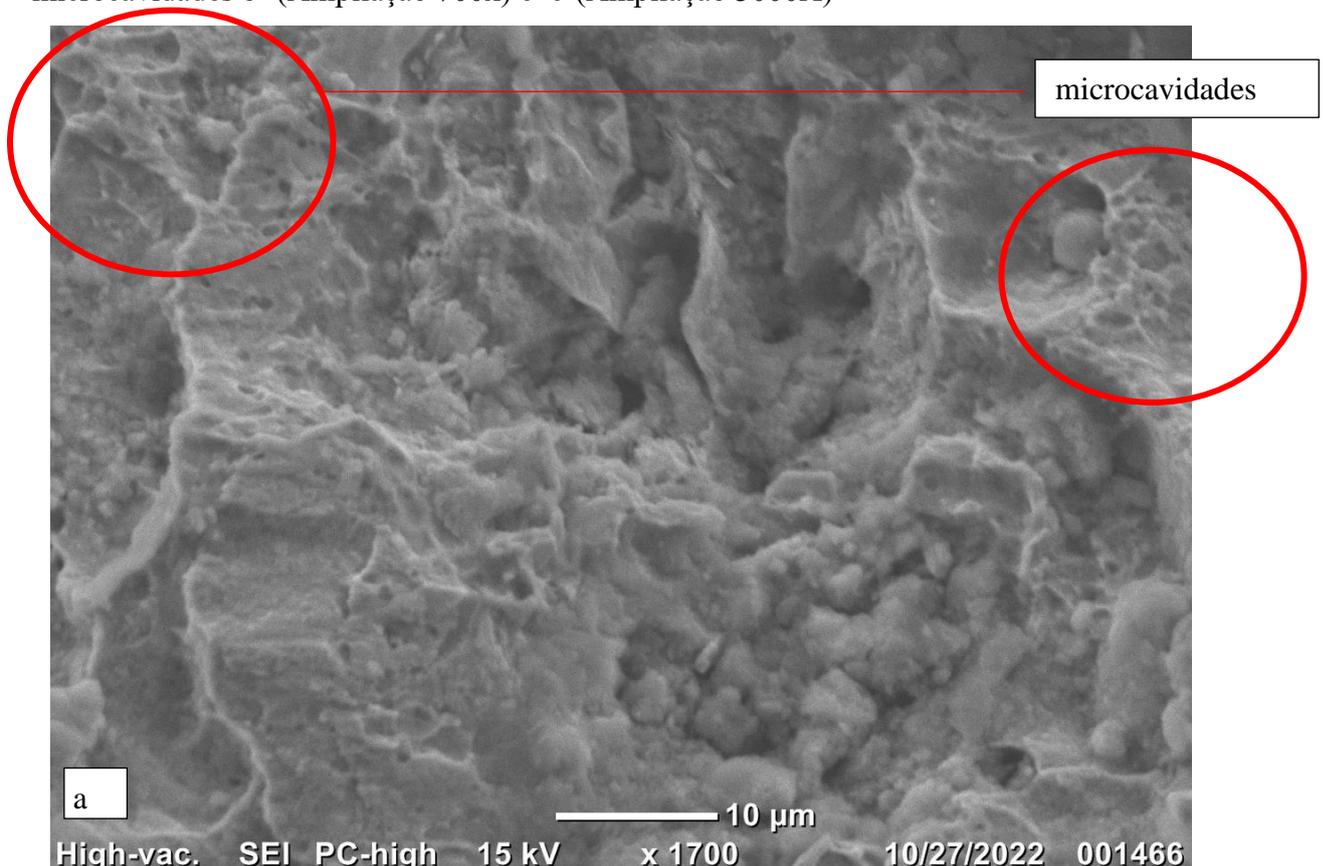
Fonte (Autoria Propria 2022)

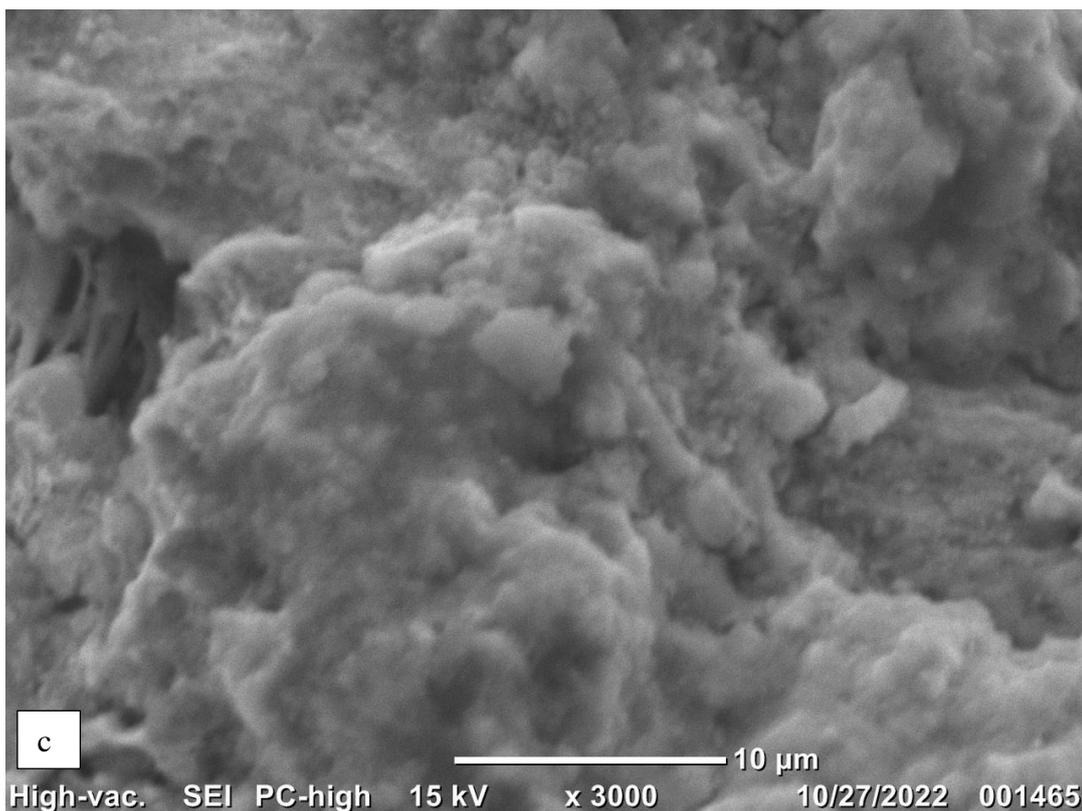
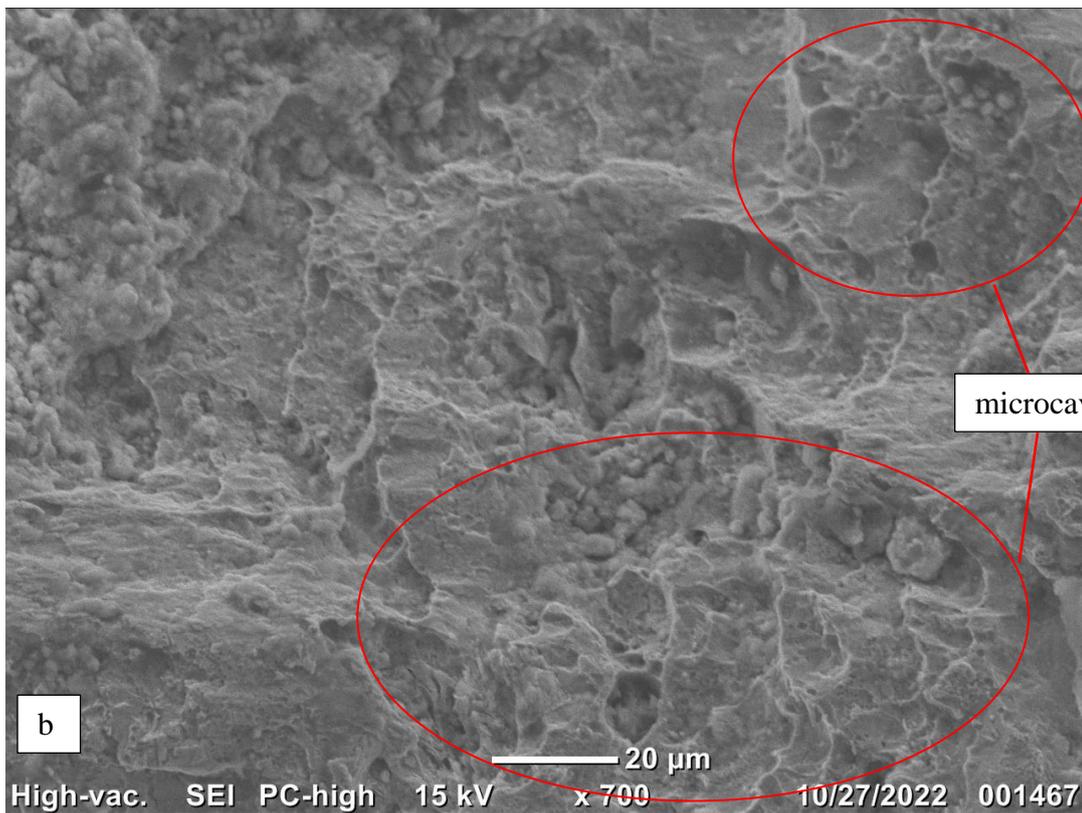
6.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Através do microscópio eletrônico é possível distinguir aspectos da topografia da fratura relativo aos grãos, estrias e marcas de praia. As principais características da

fractografia de uma fratura frágil são várias marcas de clivagem ou “facetas de clivagem” que são semelhantes a planos com geometria perceptível, esses padrões ocorrem pelo rompimento através dos grãos e separação direta dos planos cristalográficos. (GODEFROID, CÂNDIDO, 2011). Podemos observar das imagens obtidas por MEV a presença de alguns micro vazios ou “micro cavidades” característicos de fratura dúctil na figura 25, no entanto, não conseguimos verificar a predominância de planos de clivagem. (BEZERRA TEIXEIRA DA ROCHA et al., 2016). Fraturas semi frágil também são possíveis, este modo de falha apresenta características intermediárias em dúctil e frágil, e microscopicamente podem ser identificadas por rupturas de ligações e presença de clivagem em menor proporção em planos não bem definidos (GODEFROID, CÂNDIDO, 2011).

Figura 25 Imagem obtida por MEV a - (Ampliação 1700X) mostrando microcavidades b- (Ampliação 700x) e c-(Ampliação 3000X)





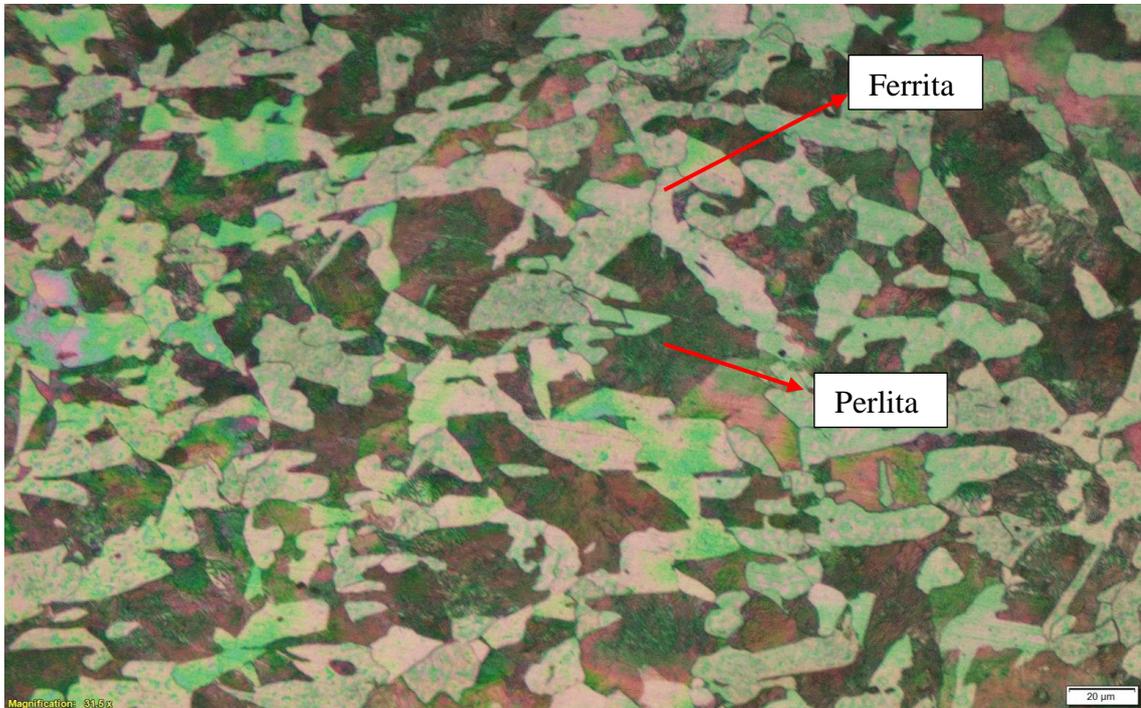
Fonte (Autoria Própria 2022)

Não foi possível observar nas imagens estrias de fadiga característicos de falha por fadiga.

6.4 ENSAIO METALOGRAFICO

Através da figura 26 a seguir, é possível identificar duas fases presentes na imagem, a parte mais clara demonstra a presença de ferrita enquanto a porção mais escura e rajada indica perlita.

Figura 26 metalografia da amostra da carcaça do pivô. (Ampliação 31,5X).

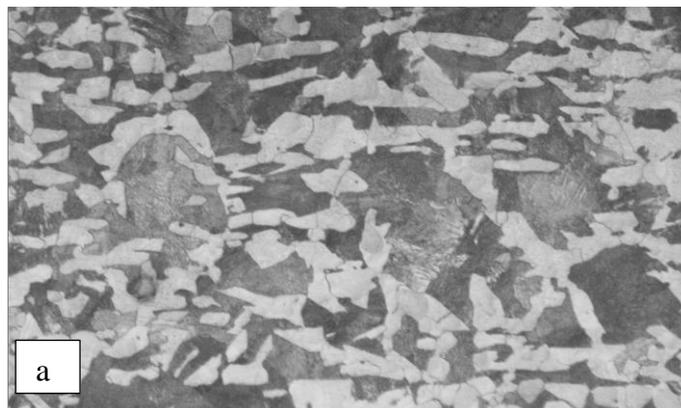


Fonte (Autoria Própria 2022)

Foi analisado as porcentagens de cada fase com auxílio do software ImageJ- Fiji onde foram escaneadas 5 vezes outra imagem da mesma amostra para se ter uma média de área relacionada a Perlita, conforme os passos a seguir que são mostrados na figura 27.

- 1 - Transformação em escala de cinza para que o software leia os tons de cinza
- 2 - Transformação em escala de vermelho para determinar a quantidade de Perlita.

Figura 27 a-Transformação em escala de Cinza b- Transformação da Perlita em escala vermelha





Fonte (autoria própria 2022)

Como resultado da média das 5 amostras da figura 28, tivemos aproximadamente 56,47% de perlita em área, neste caso consideramos os grãos com dimensões iguais em todas as direções para podermos adotar 56,76% também em volume de perlita. Com isso, o percentual de ferrita em volume foi dado como 43,53%.

Figura 28 Resultado do percentual de Perlita para 5 testes.

	Mean	%Area
1	149.297	54.868
2	150.615	57.670
3	147.770	57.790
4	162.230	59.162
5	150.908	52.854

Fonte (autoria própria 2022)

De acordo com o (Colpaert, 2008) a densidade de cementita e ferrita são próximas a $7,66\text{g/cm}^3$ e $7,87\text{g/cm}^3$ respectivamente. Desse modo, consideramos que a fração volumétrica é aproximadamente igual a fração em massa das fases. Aplicando a fração de Ferrita conforme a figura 29. Temos;

$$f_a = \frac{C_e - C_x}{C_e - C_a} \rightarrow 0,4353 = \frac{0,77 - C_x}{0,77 - 0,0218} \rightarrow C_x = 0,44$$

Portanto a concentração de carbono é 0,44%.

Figura 29 Fração de Ferrita e Fração de Perlita

$$f_a = \frac{C_e - C_x}{C_e - C_a} \quad f_p = \frac{C_x - C_a}{C_e - C_a}$$

Onde:

f_a = fração de ferrita
 f_p = fração de perlita
 C_a = concentração de carbono da ferrita
 C_e = concentração de carbono do ponto eutetóide (onde se forma perlita)
 C_x = Concentração de carbono da liga

Visto isso, ao analisar a micrografia do material, realizar levantamento de percentual das fases e fazer o cálculo do percentual de carbono, podemos observar que a amostra e semelhante à de um aço 1045, que segundo classificação SAE, possuem teor de carbono entre 0,45% , são denominados aço baixo carbono com grande aplicabilidade no setor automotivo ou mesmo em eixos de ventilador, bombas, peças e ferramentas de corte (Azevedo 2022).

7 CONCLUSÃO

Ao observar fratura estudada, infere-se que há predominantemente aspectos de fratura dúctil, tanto pelas microcavidades e aspectos de cisalhamento mostrados em MEV, quanto pelas imagens Macroscópicas em alguns pontos da superfície fraturada, e aspecto semelhante ao de taça-cone observado em análise visual. Pode-se sugerir que existe pouca probabilidade de ter ocorrido fratura por fadiga visto não ser possível observar marcas de praia ou estrias tanto em níveis microscópicos quanto em níveis macroscópicos.

Também não foi possível observar marcas de sargento típicas de fratura frágil.

Segundo a metalografia realizada, sugere-se que o material que possui características de aço 1045 com alguns elementos de liga, que é classificado como aço de boa resistência mecânica, tenacidade, não frágil e pouca tendência à deformação.

Não houve vestígios de impactos ocasionados por imprudência ao volante ou acidente, visto a superfície do pivô não apresentar arranhões ou batidos.

Observa-se que o furo na coifa, pode ter ocasionado o “travamento” do pino do pivô pela entrada de impurezas fazendo com que o pino ficasse com mais dificuldade de se deslocar na carcaça. Sendo assim, existe a possibilidade de ter tido sobrecarga de tensões na região da carcaça ocasionando as trincas e posterior fratura de pouca deformação.

Pelo fato de não se ter sido coletado os dados logo após o incidente, não se sabe qual estado de corrosão a peça possuía e qual ligação da corrosão com a fratura, pois as partes com maior corrosão diminuem a assertividade da análise.

Destaque, durante a pesquisa foi encontrado referência normativa para testes de qualidade para o pino esférico que é uma das partes do pivô, já para região da carcaça de pivô de suspensão, não foi encontrado roteiro de ensaios específicos para validação de qualidade deste sub componente, mesmo sabendo que o controle de qualidade micro e macroestruturais são essenciais para vida útil da peça.

A importância das normas para explorar aspectos de qualidade de carcaças de pivô de suspensão deve se ao fato de ser um item crítico e cuja falha em campo pode gerar acidentes de trânsito envolvendo vítimas fatais e poder prever defeitos oriundos de fabricação ou projeto.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após a pesquisa e conclusão é possível determinar algumas verificações dos requisitos de qualidade da carcaça de pivô de suspensão através de testes e ensaios sugeridos abaixo. Conforme normas aplicáveis.

- Avaliação da Metalografia
- Avaliação da Dureza
- Avaliação da Ensaio de Tração
- Avaliação da Líquido Penetrante

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HEISSING, B.; ERSOY, M. **Chassis Handbook - Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives**. Wiesbaden; Vieweg Taubner Verlag; 2011.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**. 7. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. 2005. 576 p

ASKELAND, DONALD R.; WRIGHT, WENDELIN J, **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**, 3 ed.; São Paulo, Editora: Cengage Learning, 2014.

JUNIOR, W. T. **A importância do exame pericial nos pinos esféricos (pivôs) para articulações de direção e suspensão de veículos**. 2006.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução** Edição. 9 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

RUCHERT, P. D. C. O. T. (2012) **‘Princípios de análise de falhas em componentes’**, USP, 2012.

CALEGARO, A. B. **Análise de falha de um eixo virabrequim**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2018.

WULPI, D. J, **Understanding how components fail**, ASM international, 2013.

THORNTON, P. A. **The influence of nonmetallic inclusions on the mechanical properties of steel**. Journal of Materials Science, 1971.

BRANCO, C. A.G., **“Mecânica dos Materiais”**, Fundação Calouse Gulbenkian, Lisboa, 1985

MELO, D. C. **Análise de propagação de trincas por fadiga com uso de Extensômetros: Estudo de caso quebra de chassi de motocicleta em campo**. Manaus: Universidade do Estado do Amazonas, 2019.

ASM HANDBOOK. **Failure Analysis and Prevention**. 9. ed. United States of America: ASM International. v. 11. 2002. 1164 p.

BARBOSA, C. **Análise fratográfica de falhas - int**. Intercorr. **Anais...**São Paulo: Instituto Nacional de Tecnologia, 14 maio 2018.

LEITE, M. C. et al. Ensaio de tração mecânica e análise metalográfica do aço sae 1045. **Revista engenharia em ação unitoledo**, n. 7, p. 83–93, 2017.

ROHDE, R. A. **Metalografia preparação de amostras uma abordagem pratica versão-3.0**. Santo Ângelo: Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, 2010.

MORAIS, W. A. DE et al. **A análise de falhas: parte 3 morfologia das fraturas por mecanismos degradativos**. Researchgate, 2014.

POKORNY, ANNICK; POKORNY, JEAN. “**Fractographie – Macrographies et Micrographies**”, Techniques de l’Ingénieur - Traité Matériaux Métalliques, 2003

PELLICCIONE, A. S.; MORAES, M. F.; GALVÃO, J. L. R.; MELLO, L. A. de; SILVA, E. S. “**Análise de Falhas em Equipamentos de Processo**”, 2012. 369p.

COLPAERT, H., **Metalografia dos Produtos Siderurgicos Comuns**, 4^a . ed. São Paulo, Edgard Blucher 2008.

AZEVEDO, ALESSANDRA GOIS LUCIANI DE. **Avaliação da técnica da dupla camada da recuperação de peças de aço ABNT 1045**. 2002. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência de Materiais, Engenharia Mecânica e Produção, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002