



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

DIRETORIA GERAL DO CAMPUS JOÃO PESSOA

DEPARTAMENTO DE ENSINO SUPERIOR

CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

João Otávio dos Santos Couto Dornelles

**Análise de Causas em Processos Industriais Usando o Diagrama de Ishikawa e FMEA:  
Estudo de Caso em uma Retroescavadeira Case 580N**

JOÃO PESSOA

2025

João Otávio dos Santos Couto Dornelles

**Análise de Causas em Processos Industriais Usando o Diagrama de Ishikawa e FMEA:  
Estudo de Caso em uma Retroescavadeira Case 580N**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, como requisito curricular obrigatório para obtenção do título de Engenheiro(a) Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Severino Cesarino da Nóbrega Neto

JOÃO PESSOA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP  
Biblioteca Nilo Peçanha – IFPB, *campus* João Pessoa

D713a

Dornelles, João Otávio dos Santos Couto.

Análise de causas em processos industriais usando o diagrama de Ishikawa e FMEA: estudo de caso em uma retroescavadeira Case 580N / João Otávio dos Santos Couto Dornelles. – 2025.

32 f. : il.

TCC (Graduação em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba – IFPB / Coordenação de Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Severino Cesarino N. Neto.

1. Diagrama de Ishikawa.
2. Gestão da qualidade.
3. Processos industriais.
4. FMEA. I. Título.

CDU 621

Bibliotecário responsável Thiago de Lima Silva



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**JOÃO OTÁVIO DOS SANTOS COUTO DORNELLES**

**201921140041**

**Análise de Causas em Processos Industriais Usando o Diagrama de Ishikawa e FMEA: Estudo de Caso em uma Retroescavadeira Case 580N**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Mecânica do Instituto Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Trabalho aprovado pela banca examinadora em 20 de agosto de 2025.

### **BANCA EXAMINADORA:**

*(assinaturas eletrônicas via SUAP)*

**Dr. Severino Cesarino da Nóbrega Neto**

IFPB (Orientador)

**Dr. Jesus Marlinaldo de Medeiros**

IFPB (Examinador)

**Me. Michelline Nery Azevedo Lima**

IFPB (Examinadora)

Documento assinado eletronicamente por:

- Severino Cesarino da Nobrega Neto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/08/2025 09:51:54.
- Michelline Nery Azevedo Lima, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/08/2025 16:27:29.
- Jesus Marlinaldo de Medeiros, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/08/2025 23:19:04.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 19/08/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código 751439  
Verificador: 0d34ce898c  
Código de Autenticação:



Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, JOÃO PESSOA / PB, CEP 58015-435  
<http://ifpb.edu.br> - (83) 3612-1200

À minha família e amigos, pelo apoio incondicional durante esta jornada acadêmica.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Severino Cesarino da Nóbrega Neto, pela orientação dedicada e pelos valiosos ensinamentos durante a realização deste trabalho. Agradeço também à equipe do IFPB, aos colegas de curso. Por fim, um agradecimento especial à minha família, que sempre me incentivou a buscar conhecimento e superar desafios.

*"A qualidade é a melhor estratégia de negócios."*

*Kaoru Ishikawa*

## RESUMO

A gestão da qualidade em máquinas industriais é crucial para garantir a eficiência e a confiabilidade de processos mecânicos em setores como construção e mineração. Este estudo teve como objetivo analisar as causas de falhas em uma retroescavadeira Case 580N, empregando o Diagrama de Ishikawa para uma identificação e categorização abrangente das causas e o FMEA (Análise dos Modos e Efeitos de Falha) para a priorização de ações corretivas. A metodologia envolveu uma pesquisa bibliográfica aprofundada nos conceitos de confiabilidade e nas ferramentas de gestão da qualidade, seguida pela aplicação prática em um estudo de caso simulado, porém fundamentado em dados técnicos de referência. Os resultados demonstram que a integração dessas ferramentas permite uma abordagem estruturada e proativa para a gestão de falhas. O Diagrama de Ishikawa facilita a visualização de causas potenciais, enquanto o FMEA quantifica os riscos através do Número de Prioridade de Risco (NPR), direcionando os esforços de manutenção para os problemas mais críticos. A aplicação conjunta dessas metodologias contribui para a melhoria contínua e o aumento da disponibilidade do equipamento, evidenciando sua eficácia no contexto da Engenharia Mecânica.

**Palavras-chave:** Diagrama de Ishikawa; FMEA; Manutenção; Confiabilidade; Retroescavadeira.

## ABSTRACT

Quality management in industrial machines is crucial to ensure the efficiency and reliability of mechanical processes in sectors such as construction and mining. This study aimed to analyze the causes of failures in a Case 580N backhoe loader, employing the Ishikawa Diagram for a comprehensive identification and categorization of causes, and FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) for the prioritization of corrective actions. The methodology involved an in-depth literature review on reliability concepts and quality management tools, followed by practical application in a simulated case study, based on reference technical data. The results demonstrate that the integration of these tools allows for a structured and proactive approach to failure management. The Ishikawa Diagram facilitates the visualization of potential causes, while FMEA quantifies risks through the Risk Priority Number (RPN), guiding maintenance efforts toward the most critical issues. The joint application of these methodologies contributes to continuous improvement and increased equipment availability, highlighting their effectiveness in the context of Mechanical Engineering.

**Key words:** Ishikawa Diagram; FMEA; Maintenance; Reliability; Backhoe Loader.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura do Diagrama de Ishikawa .....	19
Figura 2 - Exemplo de Diagrama de Ishikawa aplicado à retroescavadeira .....	25
Figura 3 - Exemplo de Formulário FMEA aplicado à retroescavadeira Case 580N....	29

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Especificações Técnicas da Retroescavadeira Case 580N..... 17

Tabela 2 - Critérios para Escala de Severidade (S) no FMEA .... 27

Tabela 3 - Critérios para Escala de Ocorrência (O) no FMEA.... 28

Tabela 4 - Critérios para Escala de Detecção (D) no FMEA..... 29

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis (Análise de Modos e Efeitos de Falha)
NPR	Número de Prioridade de Risco

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 Caracterização da Retroescavadeira Case 580N .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 Histórico do Diagrama de Ishikawa e FMEA .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3 Estrutura do Diagrama de Ishikawa .....</b>	<b>18</b>
<b>3.4 FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) .....</b>	<b>20</b>
3.4.1 Conceitos Básicos do FMEA .....	20
3.4.2 Aplicações do FMEA (Produto, Processo, Administrativo) .....	21
<b>3.5 Conceitos Fundamentais de Confiabilidade.....</b>	<b>21</b>
3.5.1 Definição de Confiabilidade.....	21
3.5.2 Classificação das Características da Qualidade .....	22
3.5.3 Conceitos Básicos Relacionados à Confiabilidade .....	23
3.5.4 Normas de Confiabilidade .....	24
<b>3.6 Aplicação Conjunta do Diagrama de Ishikawa e FMEA ...</b>	<b>24</b>
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	<b>25</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
<b>5.1 Aplicação do Diagrama de Ishikawa.....</b>	<b>26</b>
<b>5.2 Aplicação do FMEA.....</b>	<b>27</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>32</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Mecânica desempenha um papel crucial na manutenção e otimização de máquinas industriais, especialmente em setores que dependem de equipamentos pesados, como a construção e a mineração. A garantia de que esses equipamentos funcionem de forma contínua e eficiente está intrinsecamente ligada aos princípios da **confiabilidade**. Segundo a ABNT (NBR 5469/1994) “Confiabilidade, em sua essência, é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”. Este trabalho apresenta uma análise das causas de falhas mecânicas em uma retroescavadeira Case 580N utilizando o **Diagrama de Ishikawa**, uma ferramenta eficaz para identificação de problemas, complementada pelo **FMEA** (Análise de Modos e Efeitos de Falha), que prioriza ações corretivas com base em critérios objetivos. O objetivo principal é demonstrar como essas ferramentas se integram para promover a melhoria contínua da confiabilidade e eficiência de máquinas industriais, com foco em sistemas mecânicos e hidráulicos. O estudo foi desenvolvido com base em uma revisão bibliográfica aprofundada dos conceitos de confiabilidade e suas metodologias, e na aplicação prática em um estudo de caso, destacando a relevância dessas metodologias na formação do engenheiro mecânico. A necessidade de aprofundar os estudos de confiabilidade em contextos práticos industriais é fundamental para a tomada de decisões estratégicas em manutenção e gestão de ativos. A aplicação de metodologias robustas, como as que serão detalhadas, permite não apenas a identificação de problemas, mas também a priorização de ações que maximizem a disponibilidade e a vida útil dos equipamentos.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar as causas de falhas mecânicas em uma retroescavadeira Case 580N utilizando o Diagrama de Ishikawa e o FMEA, demonstrando sua aplicação conjunta na melhoria da qualidade e eficiência de equipamentos industriais no contexto da Engenharia Mecânica.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Compreender o histórico e a evolução do Diagrama de Ishikawa e do FMEA.
- Detalhar a estrutura do Diagrama de Ishikawa e suas categorias principais aplicadas a máquinas.
- Aplicar as ferramentas em um estudo de caso para identificar e priorizar causas de falhas mecânicas na Case 580N.
- Demonstrar a relevância da integração do Diagrama de Ishikawa e FMEA para a gestão da manutenção e otimização de equipamentos pesados.

## **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

Este capítulo estabelece a base teórica para o trabalho, explorando os conceitos de confiabilidade, suas ferramentas de análise e a aplicação dessas metodologias em processos industriais.

### **3.1 Caracterização da Retroescavadeira Case 580N**

A retroescavadeira Case 580N é um equipamento pesado amplamente utilizado em construção civil e mineração. Para o estudo de caso, foram levantadas diversas especificações técnicas para caracterizar a máquina e fornecer um contexto realista para a análise de falhas. As informações técnicas detalhadas sobre a retroescavadeira, incluindo a manutenção preventiva e corretiva, estão disponíveis em manuais de serviço, que servem como um guia para a operação e segurança do equipamento. Estes manuais fornecem os procedimentos detalhados para o reparo da máquina, incluindo diagramas, códigos e valores de torque. A manutenibilidade do equipamento é um ponto forte, evidenciado por características de design

como o capô do motor basculável, que proporciona fácil acesso para inspeções e reparos rotineiros. Essa facilidade de acesso simplifica a manutenção preventiva e corretiva, o que impacta positivamente na detecção de falhas e na redução da sua ocorrência a longo prazo.



Tabela 1 - Especificações Técnicas da Retroscavadeira Case 580N

<b>Característica</b>	<b>Detalhe</b>
Motor	CASE/FPT 445T/M3, turbinado com certificação Tier III
Potência Bruta	85 hp / 63 kW (ISO 14396)
Cilindrada	4.5 L
Torque Máximo	293 Nm (a 1.400 rpm)
Sistema Hidráulico	106 L
Reservatório de Combustível	159 L
Força de Escavação do Braço	28,4 KN (2.900 kgf)
Capacidade de Caçamba	1,00 m <sup>3</sup> (coroadada)

Fonte: MANUAL DE SERVIÇO retroscavadeira 580N

### 3.2 Histórico do Diagrama de Ishikawa e FMEA

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Espinha de Peixe, foi desenvolvido por Kaoru Ishikawa na década de 1940 no Japão. Ishikawa, um pioneiro na gestão da qualidade, criou a ferramenta para organizar as causas de problemas em processos industriais, sendo amplamente utilizada no controle de qualidade total (TQM). Por outro lado, o FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) surgiu nos anos 1940 nos Estados Unidos, inicialmente aplicado na indústria aeroespacial pela NASA e posteriormente adotado em setores como automotivo e manufatura. Ambas as ferramentas têm como objetivo comum a identificação e prevenção de falhas, mas atuam de forma complementar. O Diagrama de Ishikawa, por exemplo, é frequentemente utilizado em conjunto com o FMEA, atuando como um método que contribui para pesquisar as causas-raiz dos problemas. O Diagrama de Ishikawa permite mapear e organizar visualmente as causas potenciais de um problema. O FMEA, por sua vez, classifica e prioriza essas causas com base em critérios objetivos, sendo particularmente útil em análises mecânicas de equipamentos. O uso conjunto das duas ferramentas maximiza a eficácia da análise de falhas, pois o Ishikawa gera a lista de causas para o FMEA, que então as qualifica e prioriza, direcionando os esforços de melhoria para os pontos de maior risco.

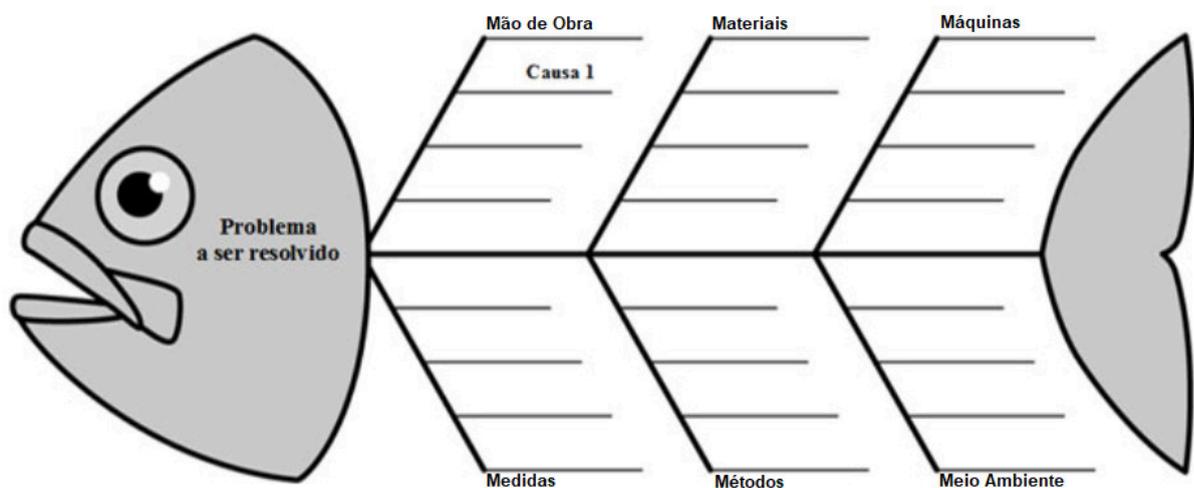
### 3.3 Estrutura do Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa organiza as causas de um problema em seis categorias principais, conhecidas como os "6Ms": Método, Máquina, Mão de Obra, Material, Meio Ambiente e Medida. Cada categoria é representada por uma "espinha" no diagrama, como ilustrado na Figura 1. No contexto da Engenharia Mecânica, "Método" pode incluir procedimentos de manutenção inadequados; "Máquina", desgaste de componentes mecânicos; "Mão de Obra", falta de treinamento técnico; "Material", uso de lubrificantes fora de especificação; "Meio Ambiente", condições adversas como poeira; e "Medida", falhas em sistemas de monitoramento. Essa estrutura facilita a análise sistemática de falhas, partindo de um problema central (o "efeito") e ramificando-se para as suas causas potenciais.

No contexto da Engenharia Mecânica e, especificamente, na análise de falhas em uma retroescavadeira, os "6Ms" podem ser contextualizados da seguinte forma :

- **Método:** Refere-se a procedimentos de trabalho inadequados, como a falta de um protocolo de manutenção preventiva ou a execução incorreta de um reparo.
- **Máquina:** Envolve o próprio equipamento, incluindo o desgaste natural de componentes mecânicos e hidráulicos, falhas de projeto ou problemas em sistemas como o elétrico ou de transmissão.
- **Mão de Obra:** Aborda o fator humano, como a falta de treinamento técnico, à operação incorreta do equipamento, negligência ou inexperiência do operador.
- **Material:** Relaciona-se com a qualidade dos insumos e componentes, como o uso de lubrificantes fora de especificação, peças de reposição de baixa qualidade ou a contaminação do combustível.
- **Meio Ambiente:** Fatores externos que afetam a máquina, como condições adversas de operação (poeira, umidade, temperaturas extremas) ou a presença de contaminantes no local de trabalho.
- **Medida:** Inclui falhas em sistemas de monitoramento e medição, como instrumentos descalibrados, leituras incorretas de pressão ou temperatura, ou a ausência de um plano de inspeção eficaz.

Figura 1 - Estrutura do Diagrama de Ishikawa



### 3.4 FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

“O FMEA é uma ferramenta qualitativa de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de pane que podem existir para cada subitem e a determinação dos efeitos de cada modo de pane sobre os outros subitens e sobre a função requerida do item”(ABNT NBR 5469/1994). Ele se antecipa às falhas, identificando o que pode falhar e desenvolvendo ações para minimizá-las.

#### 3.4.1 Conceitos Básicos do FMEA

O FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) é uma Análise do Modo de Falha e Efeitos: listam-se e analisam-se qualitativa e quantitativamente as potenciais falhas, elas são analisadas e, a partir daí, decide-se o que fazer para cada uma delas. O processo de FMEA envolve os seguintes passos, que devem ser feitos, preferencialmente, por meio de brainstorming:

1. **Listar as Potenciais Falhas:** Indicar cada componente, conjunto ou sistema que pode falhar. É preciso listar as potenciais falhas que podem ocorrer (cada componente, conjunto ou sistema pode ter diferentes tipos de falhas).
2. **Analisar Ocorrência (O):** Graduação quanto à possibilidade de a falha ocorrer, em uma escala de 1 a 10 (sendo 1 muito difícil de acontecer e 10 praticamente certo).
3. **Analisar Detecção (D):** Graduação do quão fácil ou provável a falha será detectada e, conseqüentemente, impedida de avançar e/ou causar efeitos danosos. A escala funciona inversamente (quanto mais fácil/provável a detecção, menor a numeração).
4. **Analisar Severidade (S):** Graduação do quão severo será o impacto para o componente, equipamento, sistema, instalações e/ou pessoas envolvidas, caso a falha ocorra e não seja detectada. Também em escala de 1 a 10.
5. **Calcular Criticidade (C) ou NPR (Número de Prioridade de Risco):** O produto dos três índices:  $C=O \times D \times S$ . Valores mais altos indicam maior criticidade.
6. **Estabelecer Contramedidas:** Ações a serem tomadas após a análise do FMEA. Devem ser estabelecidas para os itens com "C" acima de um valor limite (geralmente o quadrado da escala máxima, ex: 100 para escala 1-10). A prioridade é impedir a ocorrência da falha, depois reduzir "O", depois reduzir "D", e por último reduzir "S" (ABNT NBR 5469/1994).

A interpretação do NPR e a priorização de riscos exigem uma análise cuidadosa. Embora o NPR seja um indicador útil, diferentes combinações de S, O e D podem resultar no mesmo valor, mas representar riscos qualitativamente distintos. Por exemplo, uma falha com

Severidade 10 (risco perigoso) e NPR baixo pode ser mais crítica do que uma falha com NPR alto, mas Severidade moderada. A priorização de ações não deve se basear apenas no NPR, mas deve dar atenção especial a falhas com alta Severidade, independentemente do NPR, para mitigar riscos de segurança e falhas catastróficas. Esta nuance na interpretação demonstra um entendimento mais profundo da aplicação da ferramenta na gestão proativa de riscos.

### 3.4.2 Aplicações do FMEA (Produto, Processo, Administrativo)

- **FMEA de Processo:** Referente ao processo de montagem e produção, auxilia na identificação dos parâmetros do processo a serem controlados, prioriza modos potenciais de falha, avalia objetivamente alternativas de manufatura e documenta resultados para análises futuras. *Rocha, Fundação Cecierj: Confiabilidade.(2019, p.137) .*
- **FMEA de Produto (ou Projeto):** Analisa o funcionamento do produto final, seus subsistemas e componentes. É mais complexo e abrangente, ajudando na avaliação objetiva das alternativas de projeto, priorizando aspectos de qualidade/confiabilidade e promovendo alterações no projeto que facilitam a manufatura e montagem *Rocha, Fundação Cecierj: Confiabilidade.(2019, p.137).*
- **FMEA Administrativo:** Um FMEA de processo voltado exclusivamente para processos administrativos (rotinas envolvendo documentação, registro, autorizações, etc.) e falhas que podem acontecer neles. *Rocha, Fundação Cecierj: Confiabilidade.(2019, p.137).*

### 3.5 Conceitos Fundamentais de Confiabilidade

A confiabilidade é um pilar fundamental na engenharia, influenciando diretamente a performance, a segurança e a economia de sistemas e produtos. Para compreender a aplicação das ferramentas de análise de falhas, é essencial estabelecer uma base sólida nos conceitos de confiabilidade.

A aplicação de ferramentas como o FMEA e o Diagrama de Ishikawa na manutenção visa aumentar a confiabilidade e a durabilidade dos equipamentos. O FMEA, em particular, pode ser usado para gerar critérios para planos de manutenção e inspeções, garantindo que os ativos sejam mais confiáveis e seguros.

#### 3.5.1 Definição de Confiabilidade

“**Confiabilidade** é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo. O termo "item" pode se referir a qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento ou

sistema, podendo inclusive incluir pessoas” (ABNT NBR 5469/1994). A confiabilidade não é uma certeza, mas sim uma probabilidade de que um produto ou sistema funcione como esperado.

A definição de confiabilidade, segundo Lawrence M. Leemis, citada por Fogliatto e Ribeiro (2009), é "a probabilidade de um item desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas".

- **Propósito especificado:** Refere-se à função para a qual o item foi projetado (ex: uma lâmpada deve iluminar e uma geladeira deve resfriar o que estiver em seu interior ). O uso previsto é crucial; um carro de Fórmula 1 é confiável para corridas de alta velocidade, mas não para ruas esburacadas.
- **Período de tempo:** Estabelece a vida esperada do item (ex: pneus com vida útil de 60.000 km , lâmpadas LED com mais de 50.000 horas de vida esperada ). A análise de confiabilidade foca na probabilidade de o item sobreviver a um dado intervalo (de tempo, ciclo, distância, etc.).
- **Condições ambientais predeterminadas:** O ambiente e as condições de uso afetam diretamente a vida útil e a confiabilidade de um item. Por exemplo, uma lâmpada, se usada debaixo d'água, caso não seja específica para esse uso, não vai durar as milhares de horas previstas. A pressão de ar inadequada ou hábitos de condução bruscos afetam a durabilidade dos pneus.

É importante diferenciar a confiabilidade da qualidade. A qualidade é a adequação ao uso , ou o atendimento das necessidades do cliente, consistindo na ausência de deficiências. A confiabilidade, por sua vez, incorpora a noção de tempo, tratando da ausência de falhas ao longo de um período definido.

### 3.5.2 Classificação das Características da Qualidade

David A. Garvin expandiu o conceito de qualidade, estabelecendo oito dimensões que a compõem:

- **Desempenho (Performance):** Características operacionais primárias de um produto, como aceleração, velocidade final, nível de conforto para um automóvel, ou potência e fidelidade para um aparelho de som.

- **Características Acessórias (Features):** Adicionais, detalhes ou o "supérfluo" que valoriza o produto, como a capacidade extra de memória em um computador ou o volante regulável em um automóvel.
- **Confiabilidade (Reliability):** Reflete a probabilidade de o produto falhar em determinado período de tempo. Um produto com boa reputação de confiabilidade obtém vantagem competitiva, como a constante operação de um provedor de Internet.
- **Conformidade (Conformance):** Diz respeito a quão próximo da especificação (ou da expectativa do cliente) um produto ou serviço se comporta.
- **Durabilidade (Durability):** É a medida da vida do produto, sua resistência ao uso, bastante ligada à confiabilidade e muito valorizada em diversos tipos de produtos.
- **Atendimento (Serviceability):** Refere-se à velocidade e eficiência para sanar um problema, como a rapidez na manutenção e a competência nos serviços de pós-vendas. Os consumidores preocupam-se com o tempo decorrido entre o problema e a solução.
- **Aparência (Aesthetics):** Dimensão bastante subjetiva, relativa à maneira como o consumidor enxerga e percebe o produto, incluindo seu som, sabor, cheiro, ou a aparência e limpeza do ambiente.
- **Qualidade Percebida (Perceived quality):** É a mais subjetiva das dimensões, associando-se a uma série de fatores combinados, como forma de tratamento, cortesia, robustez, tradição, publicidade e marca.

### 3.5.3 Conceitos Básicos Relacionados à Confiabilidade

“Todo componente, máquina ou equipamento irá **falhar** em algum momento: peças se desgastam com o uso, materiais se deterioram com o tempo, conjuntos montados se soltam, ou são contaminados/oxidados, fazendo com que deixem de cumprir adequadamente suas funções” *Rocha*, Fundação Cecierj: Confiabilidade.(2019, p.14). As falhas podem se caracterizar pela **total incapacidade** de a peça/equipamento exercer sua função (ex: queima de uma lâmpada) ou pela **incapacidade parcial**, quando a função ocorre, mas com um desempenho abaixo do esperado (ex: geladeira que não mantém a temperatura fria por má vedação). Um item pode ser **reparável** (ex: pneu que fura, automóvel em oficina) ou **irreparável** (ex: lâmpada queimada). A confiabilidade, portanto, lida com a probabilidade de falhas e sua ausência ao longo do tempo. As decisões empresariais em manutenção e garantia buscam prever por quanto tempo as falhas não ocorrerão.

### 3.5.4 Normas de Confiabilidade

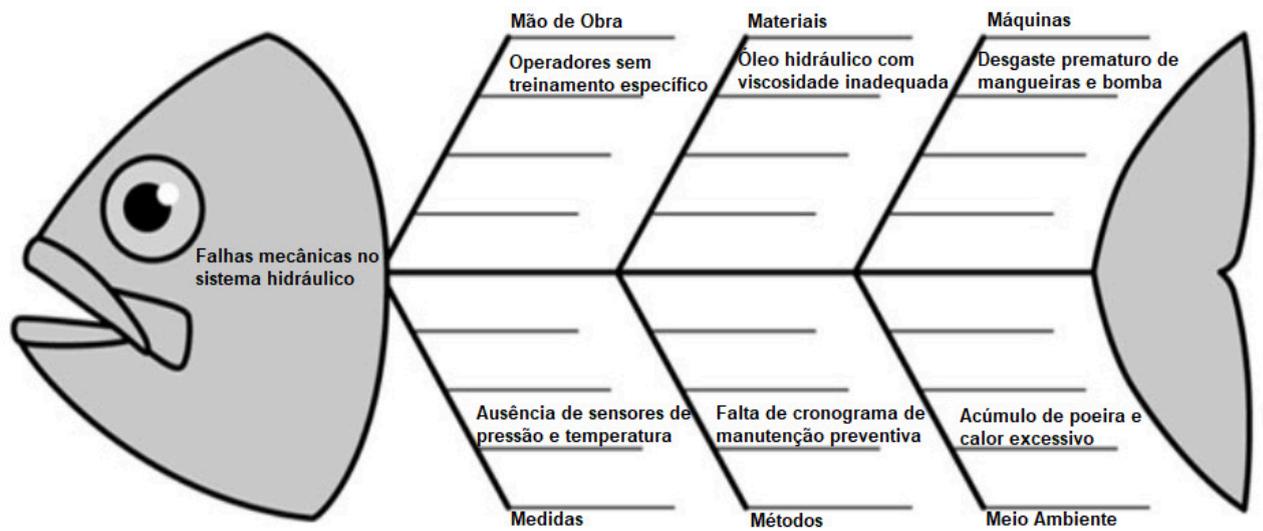
A confiabilidade é uma área de estudo normatizada, com diretrizes nacionais e internacionais. A **ABNT NBR 5462:1994** é uma norma brasileira que define os termos relacionados com a confiabilidade e a manutenibilidade. Outras normas relevantes incluem:

- **ABNT NBR ISO 20815:2017:** Indústrias de petróleo, petroquímica e gás natural - Garantia da produção e gestão da confiabilidade.
- **ABNT NBR IEC 62660-2:2015:** Células de lítio-íon secundárias para propulsão de veículos elétricos rodoviários - Parte 2: Ensaios de confiabilidade e abuso.
- **ABNT NBR ISO 14224:2011:** Indústrias de petróleo e gás natural - Coleta e intercâmbio de dados de confiabilidade e manutenção para equipamentos.
- **ISO 14224:2016:** Petroleum, petrochemical and natural gas industries -- Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.
- **ISO 20815:2008:** Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Production assurance and reliability management.

### 3.6 Aplicação Conjunta do Diagrama de Ishikawa e FMEA

A integração do Diagrama de Ishikawa com o FMEA permite uma análise robusta de falhas mecânicas em máquinas industriais. Primeiro, o Diagrama de Ishikawa identifica causas potenciais. Em seguida, o FMEA classifica essas causas com base em três índices: Severidade (impacto da falha), Ocorrência (frequência) e Detecção (probabilidade de identificação antes do impacto). Um exemplo prático é apresentado na Figura 2, onde causas como "desgaste de componentes" são priorizadas pelo FMEA para ações corretivas no contexto mecânico.

Figura 2 - Exemplo de Diagrama de Ishikawa para falhas na retroescavadeira Case 580N



[Fonte: Elaborado pelo autor, 2025]

#### 4 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho é baseada em um estudo de caso exploratório, que combina uma revisão bibliográfica aprofundada com a aplicação prática de ferramentas de gestão da qualidade. A primeira fase consistiu em uma pesquisa abrangente para construir o referencial teórico sobre confiabilidade, manutenção e as metodologias do Diagrama de Ishikawa e do FMEA. A segunda fase, a aplicação prática, simulou a análise de falhas em uma retroescavadeira Case 580N. Para isso, foram utilizados dados técnicos reais do equipamento, como especificações de motor, sistemas hidráulicos e elétricos. As causas potenciais de falha foram identificadas através de um brainstorming hipotético e categorizadas com o Diagrama de Ishikawa. Em seguida, a metodologia do FMEA foi aplicada para priorizar essas falhas, com o cálculo do NPR e a proposição de contramedidas. Essa abordagem permite demonstrar a aplicabilidade e o potencial das ferramentas na gestão proativa de falhas, mesmo na ausência de dados empíricos de campo, fornecendo uma base sólida para a tomada de decisões em projetos de manutenção.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Aplicação do Diagrama de Ishikawa

A aplicação do Diagrama de Ishikawa permitiu organizar as causas potenciais de falhas de maneira estruturada. O problema central, ou "efeito", foi definido como "**Tempo de Máquina Parada por Falha**". As causas foram categorizadas utilizando os "6Ms":

- **Método:**
  - **Procedimentos de manutenção inadequados.**
  - **Falta de um plano de inspeção e lubrificação.**
  - **Manutenção corretiva priorizada em detrimento da preventiva.**
- **Máquina:**
  - **Desgaste de componentes hidráulicos (cilindros, mangueiras).**
  - **Falhas no sistema elétrico (chicotes, sensores).**
  - **Problemas na transmissão.**
  - **Folga excessiva nos pinos e buchas.**
- **Mão de Obra:**
  - **Falta de treinamento técnico para manutenção e operação.**
  - **Operação do equipamento fora das especificações (excesso de carga).**
  - **Inexperiência do operador.**
- **Material:**
  - **Uso de óleo hidráulico ou lubrificantes fora de especificação.**
  - **Peças de reposição de baixa qualidade.**
  - **Combustível contaminado.**
- **Meio Ambiente:**
  - **Condições adversas de operação (poeira, calor excessivo).**
  - **Exposição à umidade e corrosão.**
  - **Vibrações excessivas no terreno.**

- **Medida:**
  - **Instrumentos de medição (manômetros, termômetros) descalibrados.**
  - **Falta de monitoramento de parâmetros operacionais críticos.**
  - **Intervalos de inspeção e calibração inadequados.**

Este diagrama (Figura 2) serve como a base para o passo inicial do FMEA, que é a listagem das potenciais causas de falha. A representação visual do Ishikawa facilita a discussão em grupo e garante que todas as áreas de potencial risco sejam consideradas antes de a equipe se aprofundar na análise de risco

## 5.2 Aplicação do FMEA

O FMEA foi aplicado para priorizar as causas de falha identificadas no Diagrama de Ishikawa. O NPR (Número de Prioridade de Risco) foi calculado como o produto dos índices de Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D). A seguir, são apresentados os critérios utilizados para a atribuição das pontuações:

Tabela 2 - Critérios para Escala de Severidade (S) no FMEA

<b>Severidade do Efeito</b>	<b>Índice (S)</b>	<b>Descrição do Impacto</b>
Perigoso (sem aviso)	10	Risco de vida, falha sem aviso. Não-conformidade legal.
Perigoso (com aviso)	9	Risco de vida, mas com aviso prévio. Não-conformidade legal.
Muito alto	8	Falha de função primária, sucata de 100%. Cliente muito insatisfeito.
Alto	7	Falha de desempenho, sucata parcial. Cliente insatisfeito.
Moderado	6	Impacto no conforto/conveniência. Desconforto do cliente.

Baixo	5	Impacto no conforto/conveniência com desempenho reduzido.
Muito baixo	4	Defeito notado pela maioria, mas sem impacto funcional.
Menor	3	Defeito notado por alguns clientes.
Muito menor	2	Defeito notado por clientes acurados.
Nenhum	1	Sem efeito percebido.

Tabela 3 - Critérios para Escala de Ocorrência (O) no FMEA

<b>Probabilidade de Ocorrência</b>	<b>Frequência Relativa</b>	<b>Índice (O)</b>
Altíssima chance	$\geq 1$ em 2	10
Muito alta	1 em 3	9
Alta	1 em 8	8
Moderada	1 em 20	7
Média	1 em 80	6
Provável	1 em 400	5
Pouca	1 em 2.000	4
Muito Pouca	1 em 15.000	3
Rara	1 em 150.000	2

Improvável	<1 em 1.500.000	1
------------	-----------------	---

Tabela 4 - Critérios para Escala de Detecção (D) no FMEA

Detecção	Índice (D)	Probabilidade de Detecção
Quase impossível	10	Não há controle para detectar a falha.
Muito remota	9	Probabilidade muito remota de o controle detectar a falha.
Remota	8	Probabilidade remota de o controle detectar a falha.
Moderada	5	Probabilidade moderada de o controle detectar a falha.
Alta	3	Probabilidade alta de o controle detectar a falha.
Altíssima	1	Controle quase certamente detectará a falha.

Preenchendo com base nas causas identificadas no Diagrama de Ishikawa. Para cada modo de falha, valores de S, O e D seriam atribuídos, e o NPR seria calculado para priorizar as ações.

Figura 3 - Exemplo de Formulário FMEA aplicado à retroescavadeira Case 580N

Item	Função	Modo de Falha	Efeitos da Falha	Causa da Falha	Controles Existentes	S	O	D	NPR	Ação Corretiva Recomendada
<b>Sistema Hidráulico</b>	Escavar com força	Perda de pressão	Perda de força no braço, operação lenta	Falha na bomba hidráulica	Inspeção visual	8	5	7	280	Revisar plano de manutenção da bomba
<b>Sistema de Transmissão</b>	Mover-se com precisão	Superaquecimento	Falha na caixa de câmbio	Nível de óleo incorreto	Verificação de nível de óleo antes do turno	9	4	6	216	Treinamento do operador e padronização da rotina
<b>Braço da Retroescavadeira</b>	Suportar a carga	Folga excessiva em pinos	Incerteza de controle, risco de acidente	Desgaste por falta de lubrificação	Inspeção visual	9	5	8	360	Implementar plano de lubrificação rigoroso

[Fonte: Elaborado pelo autor, 2025]

Conforme a análise do FMEA, um NPR alto indica uma falha crítica que exige atenção imediata. A falha com "Folga excessiva em pinos", por exemplo, apresenta o NPR mais elevado (360), o que a torna a principal prioridade de ação. A análise do NPR não é apenas um cálculo; é um processo de tomada de decisão. A equipe deve priorizar os modos de falha com os maiores NPRs, mas também deve considerar aqueles com alta Severidade, mesmo que o NPR total seja menor, para evitar riscos perigosos. A discussão dos resultados demonstra que a aplicação conjunta do Diagrama de Ishikawa e do FMEA oferece uma abordagem sistemática e eficaz para a gestão de falhas em equipamentos industriais. Enquanto o Diagrama de Ishikawa fornece uma visão abrangente das causas-raiz em um formato visual intuitivo, o FMEA permite uma priorização quantitativa das ações, focando nos problemas com maior impacto potencial e probabilidade de ocorrência e dificuldade de detecção. Essa sinergia entre as ferramentas é crucial para o desenvolvimento de planos de manutenção mais eficientes e para a melhoria contínua da confiabilidade e disponibilidade de máquinas pesadas. A aplicação das ações corretivas propostas pelo FMEA, poderia, em teoria, resultar em uma redução significativa nas falhas.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente trabalho demonstrou de forma robusta como a aplicação conjunta do Diagrama de Ishikawa e do FMEA pode ser uma ferramenta poderosa e eficaz para a análise e gestão proativa de falhas em equipamentos pesados, como a retroescavadeira Case 580N. A sinergia entre as duas ferramentas é o ponto central desta abordagem, pois juntas promovem a identificação e correção de diversos desvios. O Diagrama de Ishikawa, com sua estrutura de "espinha de peixe" e as categorias dos "6Ms", permite uma identificação ampla e estruturada das causas potenciais de falha, atuando como um "motor de ideias" para a equipe de análise. Isso apoia a gestão de falhas, permitindo uma análise mais completa e detalhada. Por sua vez, o FMEA atua como um "filtro de priorização", transformando a lista de causas potenciais em um plano de ação focado e otimizado. Ao atribuir pontuações de Severidade, Ocorrência e Detecção, a metodologia quantifica os riscos e, através do cálculo do NPR, direciona os recursos e esforços para as falhas mais críticas.

A aplicação dessas ferramentas não apenas permite a identificação de problemas, mas também a proposição de contramedidas preventivas, aumentando a confiabilidade e a manutenibilidade dos equipamentos antes que as falhas ocorram, o que é um objetivo

fundamental para a gestão de manutenção. A abordagem proativa é um diferencial competitivo, pois permite reduzir falhas, aumentar a confiabilidade e apoiar decisões técnicas e de manutenção, diminuindo os custos operacionais, minimizando o tempo de inatividade da máquina e aumentando a segurança.

Em conclusão, a integração do Diagrama de Ishikawa e FMEA fornece uma sistemática de gestão de falhas completa e robusta. A análise das causas, a priorização dos riscos e a definição de ações corretivas formam um ciclo virtuoso de melhoria contínua. Para estudos futuros, é recomendado que as ações corretivas propostas neste relatório sejam implementadas em um cenário real e que a redução de falhas seja medida e validada, quantificando os ganhos em termos de disponibilidade do equipamento e custos de manutenção. Tal validação empírica forneceria uma base de dados concreta para comprovar a eficácia teórica da metodologia, fechando o ciclo de pesquisa e aplicação e contribuindo ainda mais para o campo da Engenharia Mecânica.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6023: Informação e documentação - Referências - Elaboração. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14724: Informação e documentação - Trabalhos acadêmicos - Apresentação. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

CASE CONSTRUCTION EQUIPMENT. Manual do operador: Retroescavadeira Case 580N. Racine, WI: CNH Industrial, 2020. Disponível em: <https://www.casece.com>. Acesso em: 24 mar. 2025.

CASE CONSTRUCTION EQUIPMENT. Manual de serviço: Retroescavadeira Case 580N. Racine, WI: CNH Industrial, 2011.

FOGLIATTO, Flávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. Confiabilidade e Manutenção Industrial. São Paulo: Elsevier, 2009.

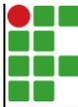
BAGNARA, B. et al. Análise da aplicação do Diagrama de Ishikawa em uma agroindústria localizada em Erechim (RS). 2019..

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2014.

MOBLEY, R. Keith. Maintenance fundamentals. 2. ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

ROCHA, Henrique Martins. Confiabilidade: volume único. Rio de Janeiro: Fundação Cecierj, 2019.

PIMENTA, R. O. R. *FMEA: Análise dos Modos de Falha e Seus Efeitos*. São José dos Pinhais: Brazilian Journals Editora, 2022.

	<b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, João Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

## Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

### TCC corrigido

<b>Assunto:</b>	TCC corrigido
<b>Assinado por:</b>	Joao Otavio
<b>Tipo do Documento:</b>	Anexo
<b>Situação:</b>	Finalizado
<b>Nível de Acesso:</b>	Ostensivo (Público)
<b>Tipo do Conferência:</b>	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- João Otávio dos Santos Couto Dornelles, ALUNO (201921140041) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA - CAMPUS JOÃO PESSOA, em 04/09/2025 21:28:10.

Este documento foi armazenado no SUAP em 04/09/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1598240

Código de Autenticação: dbd5434d62

