



Engenharia de Confiabilidade Aplicada à Análise de Risco em Equipamentos

Uanderson de Paula Bicudo, Bráulio de Souza Rodrigues, Bruna Cristina da Silva, Fábio Ramos da Silva, Gustavo Henrique Silva Dias Siqueira, Marcos Gomes Lima e Willy Ank de Moraes¹

UNISANTA¹ – Universidade Santa Cecília – Pós-Graduação em Engenharia da Confiabilidade
Rua Oswaldo Cruz, 266 - Santos-SP, Brasil - CEP: 11045-100

E-mail: uandersonbicudo@gmail.com

Received November, 2024

Resumo: O presente artigo utiliza dos conceitos e ferramentas da Engenharia de Confiabilidade correlacionados as áreas de Corrosão, Lubrificação e Mecânica da Fratura para dar suporte às decisões técnicas baseadas em análise de risco e focadas em confiabilidade de equipamentos para a minimização de custos e perdas operacionais de equipamentos. O trabalho ilustra a relevância da aplicação de ferramentas de gestão de ativos com potenciais relevantes no direcionamento de atuação proativa, focadas na prevenção de perdas de produção, financeiras e associadas a ocorrências de segurança de processo. Para padronização de análises à diferentes classes de equipamentos, o alinhamento e levantamento do banco de dados foi devidamente adequado à norma ISO-14224, contribuindo na definição de estratégias de manutenção pautadas em análises de dados estatísticos fundamentais para a caracterização de requisitos de confiabilidade de equipamentos.

Palavras-chave: Análise de Confiabilidade, Ferramentas de Confiabilidade, Análise de Risco, Corrosão, Lubrificação, Mecânica da Fratura e Power BI

Reliability Engineering Applied to Equipment Risk Analysis

Abstract: This article applies concepts and tools from Reliability Engineering, correlating with the fields of Corrosion, Lubrication, and Fracture Mechanics, to support technical decision-making based on risk analysis and focused on equipment reliability. The aim is to minimize costs and losses associated with equipment during its operational phase. Asset management tools with significant potential for proactive measures were established, focusing on the prevention of production, financial, and process safety losses. To standardize analyses across different equipment classes, the data alignment and database setup were carefully adapted to meet the ISO 14224 standard, contributing to the formulation of maintenance strategies based on essential statistical data analyses that characterize equipment reliability requirements.

Keywords: Reliability Analysis, Reliability Tools, Risk Analysis, Corrosion, Lubrication, Fracture Mechanics and Power BI.

1. Introdução

Com o avanço acelerado da nova era tecnológica e digital, houve um excepcional aumento na quantidade, variedade e a velocidade das informações disponíveis pelas indústrias na atualidade. A coleta, armazenamento e a devida análise desta imensa quantidade de dados, que é

extremamente desafiadora, moldam o que remete a tecnologias inovadoras e rentáveis de processamento de dados visando a tomada de decisões [1, 2].

Algumas metodologias para detecção de falhas e tratativas de seus efeitos têm sido aplicadas na indústria para melhoria do desempenho de equipamentos, otimização de recursos e redução de custos [3, 4]. Dentro da Engenharia de Confiabilidade existem diversas

ferramentas que possibilitam a investigação de falhas robustas gerando banco de dados que podem ser utilizados em análise de risco e confiabilidade sendo possível identificar, quantificar e caracterizar os riscos e os seus respectivos impactos em equipamento [5].

No âmbito técnico, os modos de falhas correlacionados à mecanismos de corrosão, lubrificação e degradação de materiais, representam quantitativamente e qualitativamente importantes causadores de defeitos e falhas catastróficas em ativos industriais [6, 7]. Torna-se, então, fundamental mensurar o risco associados a tais mecanismos, assim como conhecer direcionamentos técnicos para a gestão e mitigação efetiva desses modos de falha [3, 5, 6, 7].

2. Desenvolvimento

Dentro da Confiabilidade é abordada a relação com a segurança de equipamentos, permitindo estabelecer as condições que podem causar danos ou perdas em equipamentos durante a sua operação e manutenção. O desempenho de um equipamento fora de sua função requerida pode resultar em danos não previstos ou até mesmo em redução da sua produtividade esperada [8].

Neste cenário de Confiabilidade existe o conceito de falha, que consiste na interrupção ou alteração da capacidade de um componente desempenhar a sua função requerida ou esperada, podendo gerar consequências catastróficas [4, 5]. A classificação das falhas vai ao encontro dos aspectos nos quais ela se relaciona, como por exemplo a origem, velocidade, extensão, criticidade, manifestação, entre outros. Além disso, as falhas podem ser classificadas como sendo funcional ou potencial, dependendo do efeito que acarretam sobre o sistema a que pertencem [9].

A análise de risco é aplicada para identificar, caracterizar, quantificar e avaliar o significado do risco reportado [10]. Esta análise torna-se indispensável para manter os equipamentos sem impactos nas funções requisitadas e estabelecer os índices de confiabilidade aceitáveis para a aplicação segura. Através da análise de risco é possível reduzir a quantidade de acidentes de processo, a severidade e frequência dos acidentes, o aumento da produtividade do equipamento, o atendimento aos requisitos legais e otimização dos planos de manutenção [5, 10].

2.1. Materiais e Métodos

O presente trabalho apresenta a adequação de utilização de uma ferramenta desenvolvida através da aplicação de interações de sub processos conectados ao *Power BI*, no auxílio da gestão de riscos de equipamentos buscando a maximização de disponibilidade e minimização dos custos e perdas.

Os conceitos teóricos de Corrosão, Lubrificação e Mecânica de Fratura em materiais foram abordados no presente trabalho com o intuito de direcionar ações

corretivas e preventivas por meio de metodologias centradas na Engenharia da Confiabilidade.

2.1.1. Riscos e ameaças associadas à Corrosão

A ocorrência da corrosão está relacionada ao nível de energia existente no metal, sendo caracterizada como a destruição ou deterioração de um material devido à reação química ou eletroquímica com seu meio, acarretando a sua transformação (degradação). Por consequência, entende-se que o processo de corrosão se caracteriza inversamente ao processo metalúrgico [11, 12].

A reação de corrosão é composta de duas reações parciais: a reação anódica que tem como consequência a dissolução do metal ou transformação em outro composto, e a reação catódica que conduz à redução de espécies presentes no meio, sem a participação do metal sobre o qual ela tem lugar, consumindo os elétrons liberados até que atinjam o equilíbrio [13].

Devido as diversas características que identificam a corrosão, a classificação da corrosão é definida segundo ao seu mecanismo, sua extensão, sua forma e ao seu tipo. A métrica para se mensurar o quanto um material está sofrendo corrosão é a taxa de corrosão, pois permite conhecer a perda de massa por unidade de área e unidade de tempo, bem como converter em unidade específica para a corrosão [11-13].

Desta forma, as medições referentes a taxa de corrosão normalmente estão relacionadas a vida útil e remanescente dos mais variados equipamentos e estruturas metálicas. A elaboração de um plano que permita realizar o monitoramento da corrosão no que se refere ao seu diagnóstico, controle e gerenciamento da corrosão é essencial para a confiabilidade de um equipamento ou peça.

Por consequência da importância da corrosão em ambientes industriais, um controle e gerenciamento da corrosão é essencial para a confiabilidade dos ativos. O Plano de Monitoramento da Corrosão Interna, se baseia na análise laboratorial da corrosividade de fluídos e resíduos coletados periodicamente nos sistemas de plataformas *off-shore*, como cupons de perda de massa e sondas de resistência elétrica, e finalmente na coleta periódica de dados operacionais obtidos durante a operação das plataformas [14].

Desta forma, destacam-se diversos modos de falha para a geração do processo de corrosão em equipamentos e estruturas industriais. Dentre estes, cita-se os modos de falha devido a formação de superfície corroída, fissuras no material, furos e redução da espessura do material [3, 4, 6, 7, 11, 14].

2.1.2. Riscos e ameaças associadas à Corrosão

A lubrificação em máquinas industriais consiste na aplicação de um tipo de óleo lubrificante entre componentes estáticos ou rotativos e em peças de equipamentos, como representado na Figura 1. Desse

modo, é formada uma fina película viscosa que ajuda a reduzir o atrito entre superfícies e favorece a movimentação das peças, diminuindo o desgaste dos componentes e aumentando o desempenho do ativo. Para garantir o bom funcionamento dos equipamentos, é essencial ter atenção à lubrificação industrial nas rotinas de manutenção. Esse é um dos principais cuidados responsáveis pelo bom funcionamento do maquinário, além da preservação da vida útil dos componentes mecânicos.



Figura 1. Lubrificação simbólica de uma engrenagem [15].

Entre os principais impactos da lubrificação regular estão: Prevenir e reduzir o aumento da temperatura; diminuir o atrito entre as peças; reduzir ruídos nos equipamentos; prevenção dos fenômenos de oxidação ou a corrosão precoce; evitar quebras prematuras; melhorar a troca de calor entre componentes; minimizar vibrações, principalmente das partes rotativas; transmissão de força; aumentar a vida útil do ativo e componentes e refrigeração [15].

As principais características dos óleos lubrificantes são:

- Viscosidade - que caracteriza a resistência de um fluido ao escoamento, e o seu principal influenciador é a temperatura;
- Densidade - é uma propriedade importante do fluido, sendo calculada pela razão entre sua massa específica e o volume ($d=m/v$);
- Ponto de fulgor e inflamação - é a temperatura em que o óleo ao ser aquecido desprende os primeiros vapores que se inflamam momentaneamente em contato com a chama;
- Ponto de fluidez - é a temperatura mais baixa na qual um óleo flui apenas pela influência da gravidade;

- Ponto de fulgor e inflamação - é a temperatura em que o óleo ao ser aquecido desprende os primeiros vapores que se inflamam momentaneamente em contato com a chama;
- Propriedades antidesgaste - são substâncias que são adicionadas ao lubrificante, melhorando a capacidade da película e evitando o contato direto entre as superfícies de atrito;
- Acidez e alcalinidade;
- Demulsibilidade e emulsibilidade - capacidade do óleo de se separar ou liberar a água;

De modo geral, a escolha correta do lubrificante é extremamente importante, principalmente quanto ao tipo de aplicação, tipo de máquina, temperatura de trabalho dentre outros fatores. Uma vez que a sua função é múltipla para o componente a ser lubrificado e o bom estado dos fluidos da máquina será responsável pelo bom desempenho e longevidade do equipamento.

2.1.3. Riscos e ameaças associadas à Mecânica de Fratura

De maneira geral, os materiais estão susceptíveis ao surgimento e propagação de trincas durante a sua vida útil. As trincas podem ser caracterizadas de forma distintas, de acordo com o modo de fratura que os materiais apresentam, entre as principais fraturas estão: fratura dúctil, fratura frágil e fratura por fadiga. Macroscopicamente as fraturas podem apresentar características que direcionem para o tipo de falha e para o comportamento mecânico que o material foi submetido [3, 4, 6, 7, 16].

Um dos objetivos da mecânica de fratura é determinar se a identificação de um defeito acarretará fraturas catastróficas em um componente para as tensões normais de serviço, possibilitando determinar o grau de segurança efetivo de um componente após detecção da trinca. A presença de uma trinca em um componente afeta a sua resistência e consequentemente a sua vida útil, sendo assim o controle da fratura tem como objetivo minar a propagação da fratura através dos carregamentos de serviço de determinado componente [17].

Através de certas condições de serviço, um defeito, mesmo de dimensões muito pequenas, pode levar os materiais a falhas catastróficas [4, 6, 16, 17]. Estes defeitos são, na maioria das vezes, inevitáveis nas estruturas, mas permitem que seu controle seja realizado através de fatores durante a fabricação e manutenção dos componentes, sendo que os defeitos aparecem de formas variadas adicionalmente àqueles inerentes ao próprio material [8, 9, 10, 14].

2.1.4. Estruturação do Banco de Dados: riscos e ameaças associadas à Mecânica de Fratura

Nesta etapa foi gerado um painel de consulta interativo, como desenvolvido durante o curso de Pós-graduação *lato sensu* em Engenharia da Confiabilidade da Unisanta, como alinhado aos conceitos de padronização de dados de confiabilidade associados a norma brasileira ABNT ISO 14224 [18], amplamente utilizada para a coleta e intercâmbio de dados de confiabilidade e manutenção de equipamentos para indústrias de petróleo e gás.

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada a distribuição de Weibull para os cálculos de probabilidade de falha e confiabilidade dos equipamentos estudados. Partindo de uma base de dados contendo os dados históricos de falhas dos equipamentos, os cálculos foram desenvolvidos no *Power BI* utilizando os recursos diretamente na linguagem *DAX* (*Data Analysis Expressions*). Devido a estrutura matricial das tabelas de dados características do *Power BI*, foi utilizada a distribuição de Weibull biparamétrica, propiciando a utilização da ferramenta para uma gama maior de ativos, sem a necessidade da revisão da estrutura das fórmulas aplicadas para a construção dos indicadores.

Embora o *Power BI* não possua nativamente as funções necessárias para o cálculo da distribuição de Weibull é possível criar algoritmos em *DAX* para calcular a regressão linear, inclinação e interceptação da função e, consequentemente, calcular os valores dos parâmetros definidores da distribuição da probabilidade de falha (η e β). De forma nativa o *Power BI* permite o cálculo direto da função exponencial e logaritmo natural, completando os dados e fórmulas necessárias para o cálculo, conforme Equação (1):

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (1)$$

Na qual: t é o tempo, η e β são os parâmetros de deslocamento e dispersão, respectivamente da probabilidade de falha, $F(t)$ [19].

Convertendo para *DAX* a equação resultante pode ser reescrita conforme a linha de instrução: WEIBULL = 1 - (EXP (- (((BD [TTF]) / BD [X0]) ^ BD [A_SLOPE]))))

O banco de dados foi consolidado em modelo específico utilizando-se planilha em formato Excel, permitindo assim o alinhamento dos dados ao dashboard do painel BI elaborado. Para promover a padronização dos dados e possibilitar análises mais abrangentes entre diferentes classes de equipamentos, instalações e sistemas, foi realizado a adoção das premissas da norma ABNT ISO 14224 [18].

Seguindo a premissa adotada pelo grupo para padronização, o banco de dados foi devidamente adequado as orientações presentes no ANEXO B da ABNT ISO 14224 [18], que preconiza a interpretação e notação de parâmetros de falha de manutenção. Assim o seguinte padrão de estrutura de banco de dados foi utilizado na alimentação do painel interativo utilizado ilustrado na Figura 2.

2.1.5. Adequação da ferramenta de Power BI estruturação do Banco de Dados

Para realizar cálculos e otimizar a gestão visual dos parâmetros de confiabilidade foi realizado a adequação do *painel BI*, com a visão dos dados padronizados, conforme mostrado na Figura 3.

Função requerida impactada MCC	Falhas funcionais MCC	Mecanismo de Falha ISO	Descrição Mecanismo ISO	Causa da Falha ISO	Subdivisão da causa da Falha ISO	Método de Detecção ISO	Atividade de manutenção ISO
A - Nível de óleo nos vasos do 1º e 2º estágios e no tanque do motor dentro do recomendado	A.1 - Nível real abaixo de 50% nos vasos do 1º e 2º estágios e tanque do motor	3-Falha na Instrumentação	3.2 - Sem sinal/indicação/alarme	3-Operação/Manutenção	3.4-Desgaste e deterioração esperados.	6-Interferência na Produção	1-Substituição
A - Nível de óleo nos vasos do 1º e 2º estágios e no tanque do motor dentro do recomendado	A.1 - Nível real abaixo de 50% nos vasos do 1º e 2º estágios e tanque do motor	5-Falha Externa	5.1-Obstrução/Bloqueio/Entupimento	3-Operação/Manutenção	3.1-Serviço fora das condições de projeto	4-Monitoramento Periódico da Condição	5-Conservação
V - Controle limitador atual	V.1 - Falta de controle do compressor	6-Miscelâneas	6.4-Desconhecidos	5-Miscelâneas	5.5 Desconhecida	6-Interferência na Produção	8-Teste
E - Aquecimento de óleo (operação dos aquecedores do 1º e 2º estágios e temperatura acima de 40°C)	E.1 - Não aquecimento do óleo	5-Falha Externa	5.1-Obstrução/Bloqueio/Entupimento	3-Operação/Manutenção	3.1-Serviço fora das condições de projeto	9-Sob Demanda	4-Ajuste
G - Indicação normal de instrumentos de TRIP e controle (sem alarme ou trip no painel)	G.1 - Indicação de alarme ou trip no painel	3-Falha na Instrumentação	3.4-Fora de ajuste	3-Operação/Manutenção	3.1-Serviço fora das condições de projeto	6-Interferência na Produção	4-Ajuste
E - Aquecimento de óleo (operação dos aquecedores do 1º e 2º estágios e temperatura acima de 40°C)	E.3 - Indicação não real da temperatura	3-Falha na Instrumentação	3.2 - Sem sinal/indicação/alarme	3-Operação/Manutenção	3.1-Serviço fora das condições de projeto	9-Sob Demanda	2-Reparo
J - Bombeamento de óleo lubrificante do compressor (partida das bombas de óleo do 1º e 2º estágios)	J.1 - Baixa pressão de óleo lubrificante para o compressor	1-Falha Mecânica	1.1-Vazamento	3-Operação/Manutenção	3.1-Serviço fora das condições de projeto	9-Sob Demanda	1-Substituição
U - Não desvio do 1º e 2º estágios (fechamento das válvulas SDVs do 1º e 2º estágios)	U.1 - Desvio do 1º e 2º estágios (não fechamento das válvulas SDVs do 1º e 2º estágios)	3-Falha na Instrumentação	3.1-Falha de Controle	3-Operação/Manutenção	3.1-Serviço fora das condições de projeto	6-Interferência na Produção	1-Substituição
A - Nível de óleo nos vasos do 1º e 2º estágios e no tanque do motor dentro do recomendado	A.2 - Indicação de nível não real	3-Falha na Instrumentação	3.3 - Sinal/Indicação/Alarme falso	3-Operação/Manutenção	3.3-Erro de manutenção	9-Sob Demanda	2-Reparo
J - Bombeamento de óleo lubrificante do compressor (partida das bombas de óleo do 1º e 2º estágios)	J.1 - Baixa pressão de óleo lubrificante para o compressor	1-Falha Mecânica	2.4-Desgaste	3-Operação/Manutenção	3.4-Desgaste e deterioração esperados.	9-Sob Demanda	1-Substituição

Figura 2. Base de dados alinhado a conceitos estabelecidos pela NBR ISO 14224 [18].

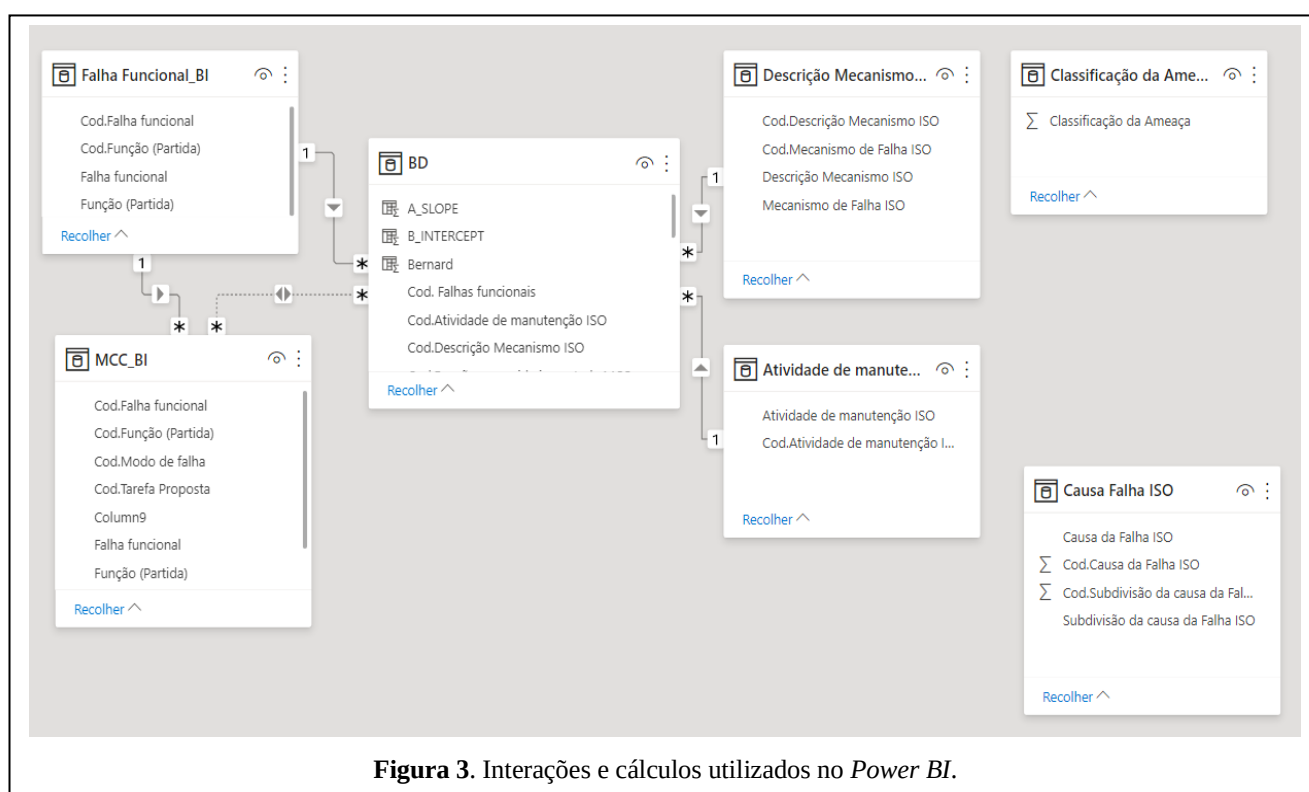


Figura 3. Interações e cálculos utilizados no *Power BI*.

Através das interações do *Power BI* foi possível criar um modelo de painel, devidamente padronizado, para gestão integrada de ativos e equipamentos. Foram incorporadas fórmulas para auxiliar nos cálculos de indicadores e também na geração de gráficos e tabelas para a visualização pelo próprio painel, contemplando a análise de risco no equipamento que está sendo avaliado.

2.1.5. Adequação da ferramenta de *Power BI*

O painel atualizado com conceitos de confiabilidade pela metodologia *Power BI* está alinhado a padrões estabelecidos de normatização de dados, permitindo que os usuários estabeleçam análises relevantes, conforme citadas a seguir:

1. Identificação visual através de gráfico radar de modos de falhas com maior relevância e predominantes ao ativo analisado;
2. Comparação baseada em dados de confiabilidade de equipamentos de classes e sistemas distintos descrevendo o intervalo para inspeções internas, externas e em processo;
3. Visualização geral de indicadores de confiabilidade principais da planta.

A adequação do painel proposta possibilitará que os Engenheiros de Confiabilidade tomem decisões

estratégicas ainda mais assertivas e focadas na maximização da confiabilidade dos ativos nos quais atuam. A abordagem técnica complementar do artigo, poderá direcionar os usuários com conceitos fundamentais para a correta e tempestiva tomada de decisão mediante identificação de modos de falhas iminentes e predominantes no banco de dados avaliado.

Através de uma base de dados estruturada e padronizada, os cálculos dos indicadores de Confiabilidade e para a gestão visual foram dispostos no algoritmo do dashboard conforme mostrado na Tabela A.

Também está associada à ferramenta, estabeleceu-se como macroprocesso, a retroalimentação dos bancos de dados, considerando os dados de análises de falhas oriundas dos processos de Engenharia de Manutenção dos ativos. Com isso, agrega-se valor à ferramenta desenvolvida, ao se viabilizar a melhoria contínua de sua precisão ao longo de sua utilização.

2.1.6. Aplicação da ferramenta

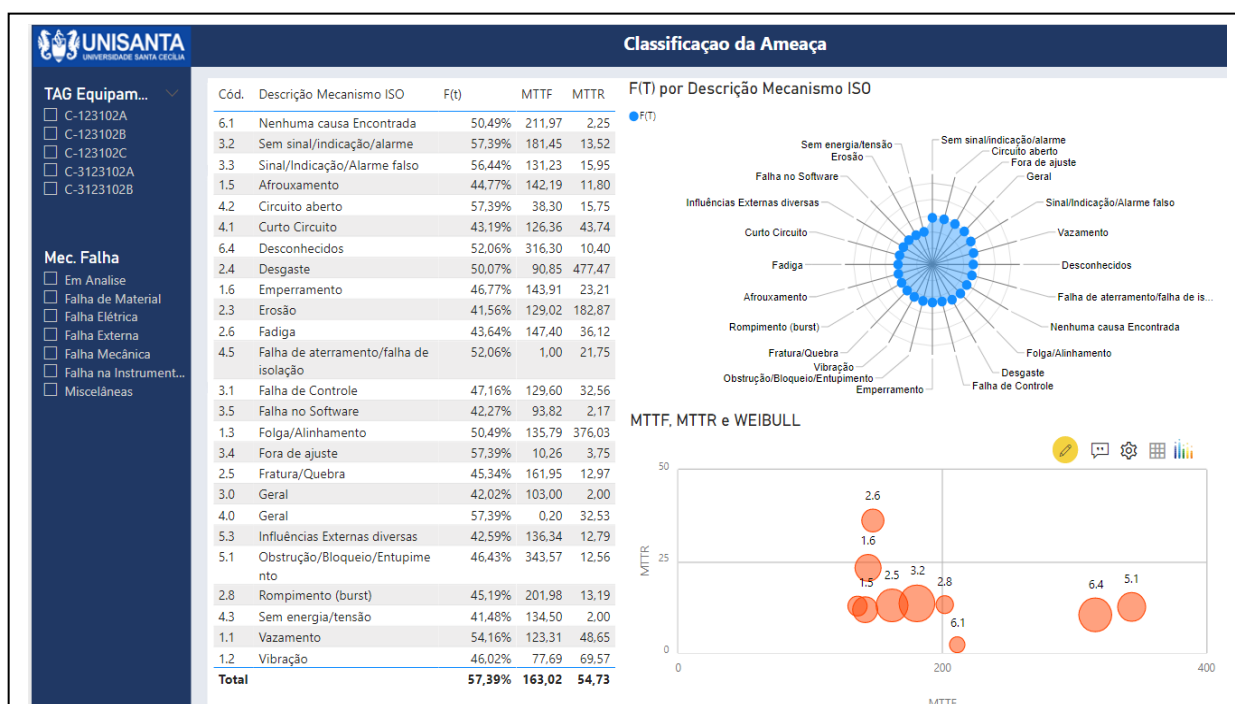
Para ilustrar o emprego da ferramenta desenvolvida e os resultados deste trabalho foram considerados dados históricos hipotéticos de um compressor de parafuso de grande porte, aplicado em processo industrial específico.

A atualização do banco é realizada com a inclusão das informações na base de dados estabelecida e conectadas ao painel BI, conforme ilustrado pela Figura 4. Através dos dados reportados pelo painel adequado, as seguintes informações poderão ser analisadas em avaliações de confiabilidade:

Tabela A. Base de dados do *Power BI* com os valores de indicadores calculados.

Cod. Falhas funcionais	Início	Fim	TTR	TTF	Bernard	X	Y	REGRESSAO_LINEAR	A_SLOPE
A.1	21/01/2018 08:30:00	21/01/2018 11:30:00	3	488,516666666663	0,00390189520624303	6,1914	-5,544	-0,707291493686068	-0,0645530560441
J.1	12/03/2018 13:50:00	12/03/2018 17:10:00	3,3333333337214	196,333333333314	0,0373467112597547	5,2798	-3,269	-0,64844752967388	-0,0645530560441
U.1	17/03/2018 19:30:00	18/03/2018 01:30:00	6	125,666666666628	0,0429208472686734	4,8336	-3,127	-0,619645182820093	-0,0645530560441
J.1	18/03/2018 12:30:00	04/09/2018 16:00:00	4083,499999999988	14,5000000001164	0,0540691192865106	2,6741	-2,890	-0,480243875045618	-0,0645530560441
G.1	10/10/2018 10:22:00	30/11/2018 23:59:59	1237,63305555558	217,3666666666581	0,120958751393534	5,3816	-2,049	-0,655017206558052	-0,0645530560441
U.1	16/10/2018 01:26:00	17/10/2018 13:05:00	35,65000000000815	89,9333333332906	0,13768115942029	4,4991	-1,910	-0,598048038447796	-0,0645530560441
V.2	18/11/2018 03:30:00	21/11/2018 11:00:00	79,5	489,733333333454	0,154403567447046	6,1939	-1,786	-0,70745206530278	-0,0645530560441
G.1	01/12/2018 00:00:00	24/12/2018 09:50:00	561,833333333256	12,8333333332557	0,17670011148272	2,5520	-1,638	-0,472361772814976	-0,0645530560441
V.2	15/12/2018 20:00:00	15/12/2018 23:30:00	3,49999999988358	356,0000000000058	0,182274247491639	5,8749	-1,603	-0,686864140132549	-0,0645530560441
V.2	15/12/2018 21:40:00	15/12/2018 22:40:00	0,999999999941792	1,66666666668607	0,187848383500557	0,5108	-1,570	-0,34059476252874	-0,0645530560441
G.1	05/01/2019 20:02:00	06/01/2019 19:00:00	22,9666666666616	116,033333333326	0,198996655518395	4,7539	-1,506	-0,614496728489799	-0,0645530560441
V.2	16/03/2019 19:51:00	17/03/2019 17:30:00	21,6500000000233	196,183333333174	0,232441471571906	5,2790	-1,330	-0,648398191851009	-0,0645530560441
I.1	21/04/2019 03:41:00	28/04/2019 17:30:00	181,816666666651	49,6499999999651	0,254738015607581	3,9050	-1,224	-0,559698987361954	-0,0645530560441
O.1	25/04/2019 17:55:00	25/04/2019 20:15:00	2,33333333325572	0,700000000011642	0,265886287625418	-0,3567	-1,174	-0,284594949763669	-0,0645530560441
G.1	05/05/2019 08:00:00	05/05/2019 10:00:00	1,99999999988358	230,083333333314	0,271460423634337	5,4384	-1,150	-0,658687430362131	-0,0645530560441
G.1	06/05/2019 11:00:00	06/05/2019 15:00:00	3,99999999994179	27	0,277034559643255	3,2958	-1,126	-0,520375749331847	-0,0645530560441
G.1	07/05/2019 08:00:00	07/05/2019 13:00:00	4,99999999988358	21	0,282608695652174	3,0445	-1,102	-0,504152634958321	-0,0645530560441
G.1	27/05/2019 13:11:00	27/05/2019 13:15:00	0,0666666667093523	164,183333333291	0,293756967670011	5,1010	-1,056	-0,636903493405527	-0,0645530560441
J.1	17/07/2019 09:00:00	19/07/2019 14:00:00	53,00000000000582	114,9999999999942	0,332775919732441	4,7449	-0,905	-0,613919277016213	-0,0645530560441
P.1	04/08/2019 08:00:00	04/08/2019 19:18:38	11,3105555555667	80,00000000000582	0,343924191750279	4,3820	-0,864	-0,590492618343425	-0,0645530560441
H.2	07/08/2019 08:00:00	08/08/2019 10:00:00	25,9999999998836	72	0,349498327759197	4,2767	-0,844	-0,583691275071276	-0,0645530560441
I.1	19/08/2019 10:30:00	20/08/2019 16:15:00	29,75000000000582	88,7833333333838	0,366220735785953	4,4862	-0,785	-0,597217259310452	-0,0645530560441
I.1	21/08/2019 10:00:00	21/08/2019 12:00:00	2,000000000005821	47,49999999999418	0,371794871794872	3,8607	-0,766	-0,556841308816345	-0,0645530560441

1. Avaliação visual de desvios e modos de falhas predominantes frente representação de gráfico RADAR;
2. Avaliação individual ou comparativa de Probabilidade de ocorrência – $F(t)$ - de modo de falha padrão correlacionada aos tempos para falhar envolvidos na análise do histórico do equipamento;
3. Avaliação individual ou comparativa de Percentual (%) de confiabilidade correlacionada ao modo de falha selecionado;
4. MTTR - *Mean Time To Repair* (Tempo médio de reparo) associado aos modos de falhas selecionados ou ao total de modos de falhas do banco de dados de forma isolada ou comparativa;

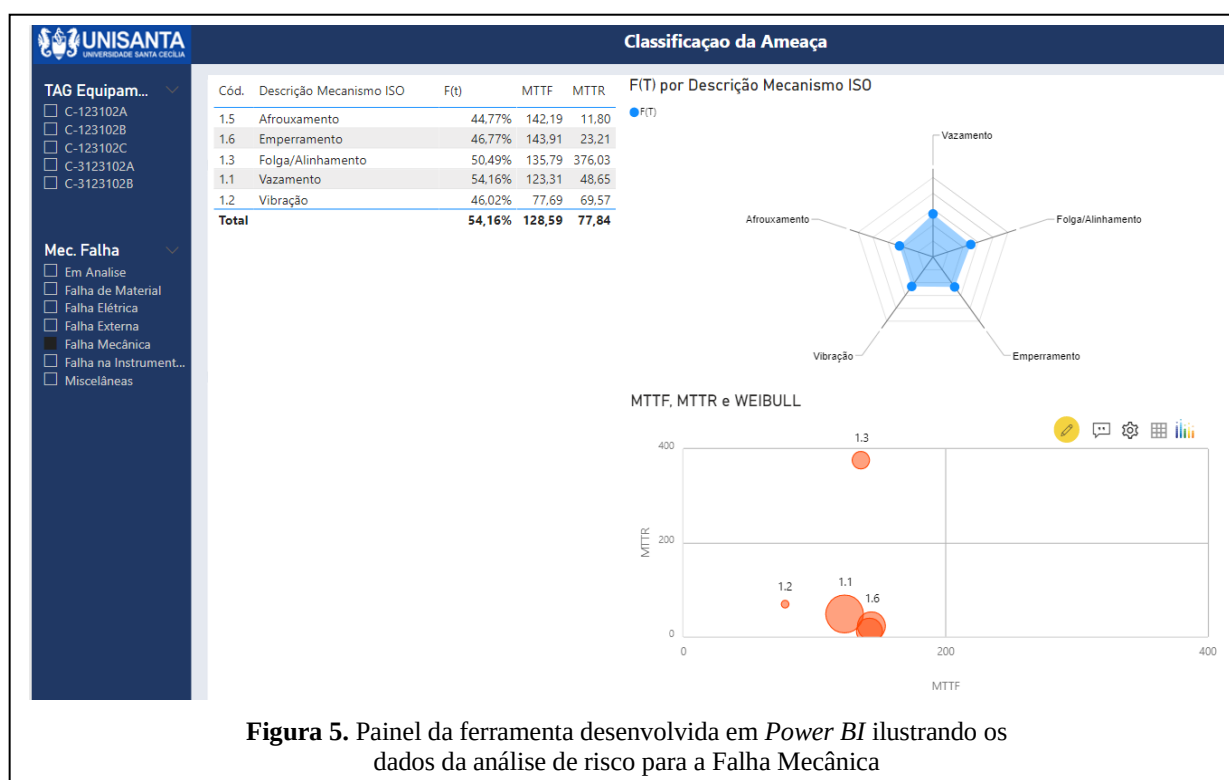
**Figura 4.** Painel da ferramenta desenvolvida em *Power BI* com os dados da Análise de Risco em Equipamentos.

5. *MTTF - Mean Time To Failure* (Tempo médio para falha) associado aos modos de falhas selecionados ou ao total de modos de falhas do banco de dados de forma isolada ou comparativa;
6. Disponibilidade - Percentual (%) de disponibilidade correlacionado aos modos de falhas selecionados ou ao total de modos de falhas do banco de dados de forma isolada ou comparativa;
7. Weibull $\times$ Falha funcional - Curva de distribuição estatística de Weibull correlacionada ao modo de falha selecionado ou total de modos de falhas ao histórico considerado na análise do equipamento. As probabilidades são apresentadas em função dos tempos para falhar permitindo determinação de situações de maior risco mediante relação entre probabilidades altas com tempos para falhar baixos;
8. Modo de falha - Conjunto de modos de falhas correlacionados com falhas funcionais selecionadas de forma isolada ou comparativa;
9. Tarefa proposta - Lista de tarefas definidas em estudo de manutenção centrada em confiabilidade capazes de bloquear as falhas funcionais e modos de falhas selecionados. Atua como roteiro pré-estabelecido e representa a expertise acumulada da equipe técnica ao equipamento avaliado.

A Figura 5 ilustra um aspecto do uso da ferramenta, ao se selecionar as falhas funcionais categorizadas como “Falha Mecânica”. Os dados do painel destacaram a representatividade comparativa em termos de riscos e ameaças correlacionadas ao *MTTF*, *MTTR* e Weibull. Desta forma, evidencia-se que o item denominado como “1.3 – Folga/Alinhamento” representa uma maior ameaça frente aos demais mecanismos destacados principalmente com relação ao alto *MTTR*, direcionando assim a necessidade de tomada de ações mais tempestivas.

Ademais, as seguintes informações poderão ser utilizadas para construção de planos de ação focados em melhoria contínua de confiabilidade:

- Os níveis de probabilidade calculados exigem qual tempo mínimo de intervenção?
- Considerando apenas o modo de falha selecionado, os níveis de disponibilidade possuem impactos relevantes?
- O tempo médio de reparo para este modo de falha está inadequado ou crítico? Quais ações implementar?
- O tempo médio de para falhar para este modo de falha está inadequado ou crítico? Quais ações implementar?
- As tarefas propostas estão implementadas? Existe necessidade de priorizá-las?



3. CONCLUSÕES

Os dados e indicadores obtidos mediante utilização da ferramenta interativa desenvolvida pelo grupo em sua versão inicial, demonstraram alto potencial de colaboração aos profissionais de atuação direta com confiabilidade de equipamentos ou sistemas.

A metodologia adequada a padronização proposta foi possível estabelecer sua utilização ao conjunto de classe ou modelo de equipamentos, portanto, alcançando objetivos adicionais aos planejados pelo grupo em sua primeira versão.

O painel atual poderá direcionar com resultados satisfatórios as atuações nas ações prioritárias frente a ganhos de confiabilidade em cada equipamento e direcionar ações técnicas relacionadas a grupos de modos de falhas, mediante as abordagens técnicas realizadas.

Por fim, destaca-se que o painel ao ser expandido possibilitou análises em maior grau de abrangência e consequentemente com maior valor estratégico agregado que a versão da ferramenta inicial.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores do presente artigo agradecem aos colegas discentes, professores e colaboradores do curso de pós-graduação *lato sensu* em Engenharia de Confiabilidade ministrados pela Universidade Santa Cecília pelo compartilhamento de conhecimentos e experiências que inspiraram o desenvolvimento e estruturação deste trabalho..

Agradecemos a equipe técnica responsável pelo suporte e administração da plataforma EAD responsável por nos proporcionar uma metodologia pedagógica capaz de promover o ensino *online* de forma eficiente e bem estruturada.

5. REFERÊNCIAS

1. SILVA, E. M. S. A aplicabilidade da tecnologia big data no processo decisório: visões em organizações de diferentes níveis de maturidade tecnológica. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal de Pernambuco. CCSA, 2015. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/29400/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Edilma%20Maria%20dos%20Santos%20Silva.pdf>. Acessado em 3 de setembro de 2024.
2. TOTVS. Big Data - O que é, importância, como aplicar e desafios. Maio, 2023. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/inovacoes/big-data/>. Acessado em 12 de setembro de 2024.
3. MORAIS, W. A. Guia para a execução de análise de falhas. São Vicente: WILLY ANK - Soluções para o Setor Metal-Mecânico, 2018, 8 p. (ISBN: 978-8594420015).
4. MORAIS, W. A.; GONCALVES, M. V. O.; NUNES, A. V.; SACCHETTA FILHO, C. A. Análise de falhas: Parte 1 - Fundamentos das falhas, fratura e o papel do aço. Siderurgia Brasil, v. 15, p. 18-23, 2014.
5. ALCÂNTARA, A. S. et al. Trabalhos em Engenharia de Confiabilidade. São Vicente: WILLY ANK - Soluções para o Setor Metal-Mecânico, 2023, 272 p. (ISBN: 978-859442006-0). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/370125481_TRABALHOS_EM_ENGENHARIA_DA_CONFIABILIDADE_-_Vol_1. Acessado em 27 de setembro de 2024.
6. SACHS, N.W.; Pratical plant failure analysis - A guide to understanding machinery deterioration and improving equipment reliability. CRC - Taylor & Francis, USA, 2007.
7. AFFONSO, L. O. A. Equipamentos mecânicos: análise de falhas e solução de problemas. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2006. 321 p. (ISBN: 978-8573036343).
8. LIMA, J. E. P.; RAPOSO, J. L. O.; FERREIRA, N. R. Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada a Sistemas Elétricos: Uma Proposta para Uso de Análise de Risco no Diagrama de Decisão. Curitiba: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (SNPTEE), 16 a 21 de outubro de 2005. Disponível em: <https://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/01/MANUTENC%CC%A7A%CC%83O-CENTRADA-EM-CONFIABILIDADE-APLICADA-A-SISTEMAS-ELE%CC%81TRICOS-UMA-PROPOSTA-PARA-USO-DE-ANA%CC%81LISE-DE-RISCO-NO-DIAGRAMA-DE-DECISA%CC%83O.pdf>. Acessado em 20 de maio de 2021.
9. SIQUEIRA, I. P. d. Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2012, 408 p. (ISBN: 978-8573035668).

10. LAFRAIA, J. R. B. Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. Rio de Janeiro, BR: Qualitymark Editora: Petrobrás, 2014.
11. DUTRA, A. C.; Nunes, L. P. Proteção Catódica, Proteção Catódica - Técnica de Combate à Corrosão. Rio de Janeiro: Editora Interciência; 5ª edição, 2011, 372 p. (ISBN: 978-8571932548).
12. CARVALHO, N. F.; CORROSÃO: Fundamentos e Informações. Santos: Edição própria, 2019.
13. HILSDORF, J. W.; BARROS, N. D.; TASSINARI, C. A.; COSTA, I. Química tecnológica. São Paulo: Cengage Learning; 1ª edição, 2004, 348 p. (ISBN: 978-8522103522).
14. MAINIER, F. B., TERZI, R. Monitoramento da Corrosão Interna em Plataformas Offshore. Revista Tecno-Lógica, 12(1), p. 14-21, 2008.
<https://doi.org/10.17058/tecnolog.v12i1.355>.
15. LUBRIFICANTE & CIA. Lubrificantes industriais. Disponível em: <https://lubrificantecia.com.br/index.php/lubrificantes-industriais>. Acesso em 28 de maio de 2021.
16. ASM HANDBOOK, Failure Analysis and Prevention. ASM International, vol. 11, Materials Park, 1992.
17. HERTZBERG, R. W.; VINCI, R. P.; HERTZBERG, J. L. Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials, John Wiley & Sons Inc; 5th edition, 2012, 755 p. (ISBN: 978-0470527801).
18. ABNT NBR ISO 14224:2011 – Indústrias de Petróleo e Gás Natural – Coleta e Intercâmbio de dados de confiabilidade e manutenção.
19. ROCHA, D. A. P.; MORAIS, W. A. Análise dos Dados de Vida para Ativos Industriais Utilizando Distribuição Weibull 3P. Tecnol. Metal. Mater. Min., vol.17, n1, p.53-60, 2020. <https://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.20202032>.