

# Maintenance Management Using Reliability Centered Maintenance Method Applied with Business Intelligence Tools

## Gerenciamento da Manutenção utilizando o método da Manutenção Centrada na Confiabilidade aplicado com ferramenta de Business Intelligence

Article Info:

Article history: Received 2024-09-09 / Accepted 2024-12-12 / Available online 2024-12-13

doi: 10.18540/jcecv110iss8pp19399

**Fernando Venturini Borges**ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0009-0402>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: [fernando.venturini@ufv.br](mailto:fernando.venturini@ufv.br)**Paulo Cezar Büchner**ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7373-3705>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: [paulo.buchner@ufv.br](mailto:paulo.buchner@ufv.br)**Geice de Paula Villibor**ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2579-2329>

Universidade Federal de Viçosa, Brasil

E-mail: [geice.villibor@ufv.br](mailto:geice.villibor@ufv.br)

### Abstract

In the contemporary industrial environment, the reliability and availability of equipment are paramount for ensuring continuous operations and minimizing costs associated with unscheduled downtimes. With the technological advancements of the 21st century, industries have begun generating vast amounts of digital data, underscoring the necessity for the implementation of tools and methodologies with a focus on reliability. This evolution has presented maintenance teams with both the challenge and the opportunity to leverage these data for managerial decision-making. In this regard, the present study proposes the application of an automated report utilizing Microsoft Power BI as a Business Intelligence tool, incorporating maintenance indicators that are extensively employed in the industry for managerial decision-making and those utilized in the implementation of Reliability-Centered Maintenance (RCM). The development of the dashboard within this study facilitated a comprehensive analysis of maintenance history, the identification of critical equipment, the monitoring of costs, and the efficiency of work orders. The evaluation of the results revealed a significant enhancement in the capability to predict failures, reduce unplanned downtimes, and optimize the allocation of maintenance resources. The integrated approach of RCM with Power BI demonstrated efficacy in promoting a more strategic and data-driven maintenance management.

**Keywords:** Power BI. Data Analysis. Reliability. Performance Indicators. Maintenance Dashboard.

### Resumo

No contexto industrial a confiabilidade e disponibilidade de equipamentos são cruciais para garantir a operação contínua e reduzir custos associados a paradas não programadas. Com os avanços tecnológicos do século XXI, as indústrias passaram a gerar uma grande massa de dados digitais, o que evidenciou a necessidade de aplicação de ferramentas e metodologias com foco na confiabilidade, acarretando para a equipe de manutenção o desafio e ao mesmo tempo a

oportunidade de utilizar esses dados para tomar decisões gerenciais. Nesse sentido, este trabalho traz uma proposta de aplicação de um relatório automatizado utilizando o Microsoft Power BI como ferramenta de inteligência de negócios ou “Business Intelligence”, contendo indicadores de manutenção amplamente utilizados na indústria para tomada de decisão gerencial e aqueles utilizados na implementação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC). A elaboração do dashboard desenvolvido neste estudo permitiu uma análise detalhada do histórico de manutenção, identificação de equipamentos críticos, monitoramento de custos e eficiência das ordens de serviço. A avaliação dos resultados obtidos demonstrou uma melhoria significativa na capacidade de prever falhas, reduzir tempos de inatividade não planejados e otimizar a alocação de recursos de manutenção. A abordagem integrada de MCC com Power BI mostrou-se eficaz na promoção de uma gestão de manutenção mais estratégica e orientada por dados.

**Palavras-chave:** Power BI. Análise de Dados. Confiabilidade. Indicadores de desempenho. Dashboard de manutenção.

## 1. Introdução

A atividade de manutenção passou por transformações significativas nas últimas três décadas devido aos avanços tecnológicos, que possibilitaram crescimento rápido do número de instalações, equipamentos e projetos complexos de engenharia. Essas mudanças foram acompanhadas pela adoção de novas técnicas e ferramentas de manutenção, fazendo emergir a importância estratégica dessa função para melhorar os resultados e aumentar a competitividade das organizações.

Devido a essas mudanças, e à utilização de novas tecnologias na indústria, como Internet das Coisas ou “*Internet of Things*” e Aprendizado de Máquina ou “*Machine Learning*”, ainda há uma pressão crescente para alcançar alta disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, ao mesmo tempo em que se busca a redução de custos relacionados às falhas operacionais (Kardec & Nascif, 2012; Li e Wang 2019).

Para atender a essas demandas, diversas metodologias têm sido utilizadas no gerenciamento da manutenção. Duas das mais populares são a Manutenção Produtiva Total (TPM) e a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) (Baran, 2011). O MCC é bem definido pelas normas SAE JA10 11 (1999) e IEC 60300-3-11 (1999) e considera dados estatísticos e o histórico de manutenção para aumentar a confiabilidade dos equipamentos. De acordo com os estudos realizados por Fogliatto e Ribeiro (2011) e Benini e Santos (2021), a Manutenção Centrada na Confiabilidade tem como objetivo estabelecer rotinas estratégicas de manutenção para garantir o contínuo desempenho das funções dos equipamentos.

Sendo assim, ao implementar essas metodologias, é necessário avaliar com precisão os dados disponíveis do histórico de manutenção, a fim de identificar o modo, efeito e causa das falhas. Além disso, é necessário garantir a confiabilidade dos dados para que seja possível acompanhar em tempo real o desempenho dos ativos. Dessa forma, é possível que a equipe de manutenção consiga identificar falhas ocultas, bem como reduzir o tempo gasto com manutenções corretivas, possibilitando elevar a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos em prol de uma redução de custos com estoque, componentes de máquinas e materiais (Benini e Santos, 2021; Fogliatto e Ribeiro, 2011).

Nesse contexto, o Power BI foi aplicado como uma ferramenta auxiliar de gestão à vista para a tomada de decisão gerencial, pois fornece uma forma ágil, dinâmica e concisa de análise dos indicadores de desempenho. Seus recursos possibilitam a utilização dos dados registrados no histórico de manutenção do equipamento, obtidos por meio de sensoriamento em tempo real da máquina, para gerar indicadores de desempenho da manutenção.

Portanto, o objetivo geral dos autores foi criar uma aplicação para gerar mapas e gráficos automatizados no Power BI, a partir de uma base de dados de um histórico de manutenção, contendo indicadores de manutenção classe mundial e indicadores utilizados na implementação da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) para compor a gestão à vista e, dessa forma, auxiliar à tomada de decisão gerencial. Para testar a funcionalidade da aplicação proposta foi criada uma base de dados genérica a partir de informações encontradas na literatura e na experiência dos autores na área de manutenção.

## 2. Fundamentação teórica

Para Moubray (2000), a utilização de ferramentas para garantir a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos de produção é fundamental para obter máximo retorno sobre o alto investimento que a indústria exige. Os estudos realizados por Benini e Santos (2021) e Rosa (2016), evidenciam a relação positiva entre os investimentos na aplicação da manutenção centrada na confiabilidade e o retorno alcançado pelas empresas, com redução de até 50% nos custos relacionados à manutenção.

Para realizar uma boa aplicação do método MCC, o banco de dados contendo o histórico de manutenção deve conter informações confiáveis sobre as falhas, como: descrição do equipamento sistema, conjunto, componente, data e hora da falha, modo de falha, causa da falha, classificação da falha, ação realizada e demais informações que podem ser necessárias no gerenciamento. Sendo assim, para garantir a confiabilidade dos indicadores e gráficos gerados nos relatórios, as falhas dos equipamentos devem registradas de forma compatível com os fatos que ocorreram na realidade (Fogliatto e Ribeiro, 2011).

Visando fazer o registro de forma completa e organizada, é possível utilizar várias ferramentas da qualidade como FMEA, 5 porquês, diagrama de Ishikawa entre outros, que irão auxiliar na descoberta da causa raiz da falha e por consequência, irão garantir a confiabilidade das informações sobre as mesmas, possibilitando a criação de um plano preventivo robusto (Almeida, 2023).

Nesse contexto o Microsoft Excel tem sido amplamente utilizado por empresas de diversos setores, por ser uma ferramenta que permite o registro, a extração, formatação e visualização de dados de histórico de manutenção. Além disso, muitos softwares de gerenciamento da manutenção utilizados nas indústrias hoje, como os Softwares ERP (*Enterprise Resource Planning*), que também possuem ferramentas de filtro e extração de dados para diversos formatos e plataformas, tem sido utilizados pois possibilitando uma comunicação em tempo real dos dados referentes ao histórico de manutenção.

Entretanto, é possível trabalhar com softwares voltados para análise de dados e aplicações de Business Intelligence (BI) integradas, como o Power Bi, Quilk Sense e Tableau, que possibilitam obter *insights* valiosos sobre os dados (Araujo, 2023). O Microsoft Power BI, da empresa *Microsoft Corporation*, se destaca entre os outros softwares voltados para aplicação de ferramentas de BI e análise de dados pois, além de permitir a integração de diferentes bancos de dados, ele possui fácil usabilidade devido ao conceito de “*Self-Service Business Intelligence*” (SSBI), e demonstra boa integração com Big Data e outras ferramentas da Microsoft (Araujo, 2023; Barbosa, 2021; Bansal, 2019).

## 3. Material e Métodos

Para construir o dashboard, foram realizadas 5 etapas definidas no fluxograma apresentado na Figura 1, onde o processo se iniciou com a aquisição de dados, feita a partir da extração dos dados do software ERP para o Excel. Em seguida, o tratamento de dados, onde lacunas em branco e informações repetidas são removidas empregando a ferramenta *Power Query*. No passo seguinte, a modelagem, que consistiu na classificação dos dados quanto ao tipo correto, bem como conversões temporais de minutos para horas. Na sequência são feitos os cálculos dos indicadores. Por fim, a última etapa, a partir dos dados formatados e dos cálculos são gerados os gráficos e cartões contendo o painel de gerenciamento dos indicadores e da confiabilidade, quando realiza-se uma análise temporal do relatório final, afim de validar as informações dispostas no dashboard utilizando o próprio Excel.



Figura 1 – Fluxo de processos realizados para construção do Dashboard.

### 3.1 Aquisição de dados

A implementação do MCC requer que as informações referentes à confiabilidade dos componentes estejam disponíveis. Para isso, é essencial estabelecer um banco de dados que registre e classifique as falhas observadas na planta fabril. Entre outros campos, o banco de dados deve conter a indicação de: sistema, subsistema, conjunto, componente, data e hora da falha, modo de falha, causa da falha, classificação da falha (elétrica/mecânica, crítica/ potencialmente crítica etc.), ação corretiva, data e hora do retorno à operação (Fogliato Ribeiro, 2011). Sendo assim, é de extrema importância, o registro fiel das ocorrências de manutenção, bem como as ações que foram adotadas, a fim de garantir a confiabilidade das informações e dos indicadores que serão apresentados no dashboard.

Como o objetivo dos autores é criar um dashboard com indicadores de classe mundial, utilizou-se um banco de dados genérico de uma fábrica de pneus, com dados do histórico de manutenção do período de janeiro de 2015 até julho de 2022, disponibilizado publicamente no formato “.csv” na plataforma Kaggle em dezembro de 2022. Na Figura 2, observa-se a estrutura de colunas presentes na base de dados utilizada neste trabalho (Kaggle, 2023). É possível observar as colunas contendo o N° na nota, consequência da parada, rank do equipamento, centro de custo, tag do equipamento, data e hora do início e do fim da parada, data e hora de início e fim da ordem de manutenção, custo de peças, tempo total de parada e tempo total em manutenção.

| n_nota      | cons | n_ordens    | rank | centro_custo | equipamento    | data_i                             | ordem    | hora_fim | data_fim   | custo_de_peças | tempo_real [min] |       |
|-------------|------|-------------|------|--------------|----------------|------------------------------------|----------|----------|------------|----------------|------------------|-------|
| 1002205586  | T    | 50001421890 | B    | 25B1130      | Equipamento 20 | sexta-feira, 12                    | 09:09:27 | 10:11:00 | 12/02/2016 | R\$ 423,00     | 10818            |       |
| 1002207521  | T    | 50001433820 | B    | 25B1130      | Equipamento 20 | segunda-feira, 15                  | 04:30:46 | 06:00:00 | 15/02/2016 | R\$ 84.206,00  | 954              |       |
| 1002210125  | T    | 50001434900 | B    | 25B1130      | Equipamento 20 | quinta-feira, 18                   | 15:39:18 | 15:45:00 | 18/02/2016 | R\$ 84.206,00  | 541              |       |
| 1002228548  | T    | 50001458850 | B    | 25B1130      | Equipamento 20 | terça-feira, 15 de março de 2016   | 08:54:58 | 08:56:38 | 18:00:00   | R\$ 1,00       | 54503            |       |
| 1002230195  | T    | 50001461780 | B    | 25B1130      | Equipamento 20 | quinta-feira, 17 de março de 2016  | 08:48:37 | 08:52:54 | 09:14:00   | R\$ 68.937,00  | 2538             |       |
| 1002239626  | T    | 50001473330 | B    | 25B1130      | Equipamento 20 | sexta-feira, 1 de abril de 2016    |          |          |            |                |                  |       |
| 1002241109  | T    | 50001475210 | B    | 25B1130      | Equipamento 20 | domingo, 3                         |          |          |            |                |                  |       |
|             |      | 50001475970 | B    | 25B1130      |                |                                    |          |          |            |                |                  |       |
|             |      |             |      |              |                |                                    | 02:05:28 | 02:08:00 | 03:27:00   | 16/06/2016     | R\$ 143.844,00   | 8153  |
|             |      |             |      |              |                |                                    | 16:43:58 | 20:39:43 | 21:09:00   | 27/07/2016     | R\$ 5.369,00     | 26503 |
| 10022325199 | T    | 50001475970 | B    | 25B1130      | Equipamento 20 | quarta-feira, 31 de agosto de 2016 | 10:51:35 | 11:19:51 | 12:08:00   | 31/08/2016     | R\$ 69.563,00    | 7642  |
| 1002236706  | T    | 50001568200 | B    | 25B1130      | Equipamento 20 | sexta-feira, 2 de setembro de 2016 | 13:52:44 | 14:24:54 | 16:51:00   | 02/09/2016     | R\$ 133.629,00   | 17827 |

**Figura 2 - Histórico de manutenção retidas de uma fábrica de pneus já importados para o ambiente do Power Bi.**

(Fonte: Adaptado de Kaggle, 2023).

### 3.2 Tratamento e Modelagem de dados

No presente trabalho, utilizou-se o ambiente do Power Query para tratar os dados em massa de forma automatizada, utilizando a linguagem M, linguagem padrão para tratamento de dados no Power BI. Sendo assim, foi possível tratar o grande volume de dados de forma simples e rápida, além de realizar conversões de minutos e segundos para horas, evitando possíveis erros envolvendo cálculos de variáveis temporais.

Além disso, foi necessário definir o tipo dos dados, classificando as colunas entre texto, algarismos numéricos, datas, horas e valores monetários. Afim de evitar o surgimento de erros ao utilizar os dados para os cálculos de indicadores, próxima etapa da metodologia proposta.

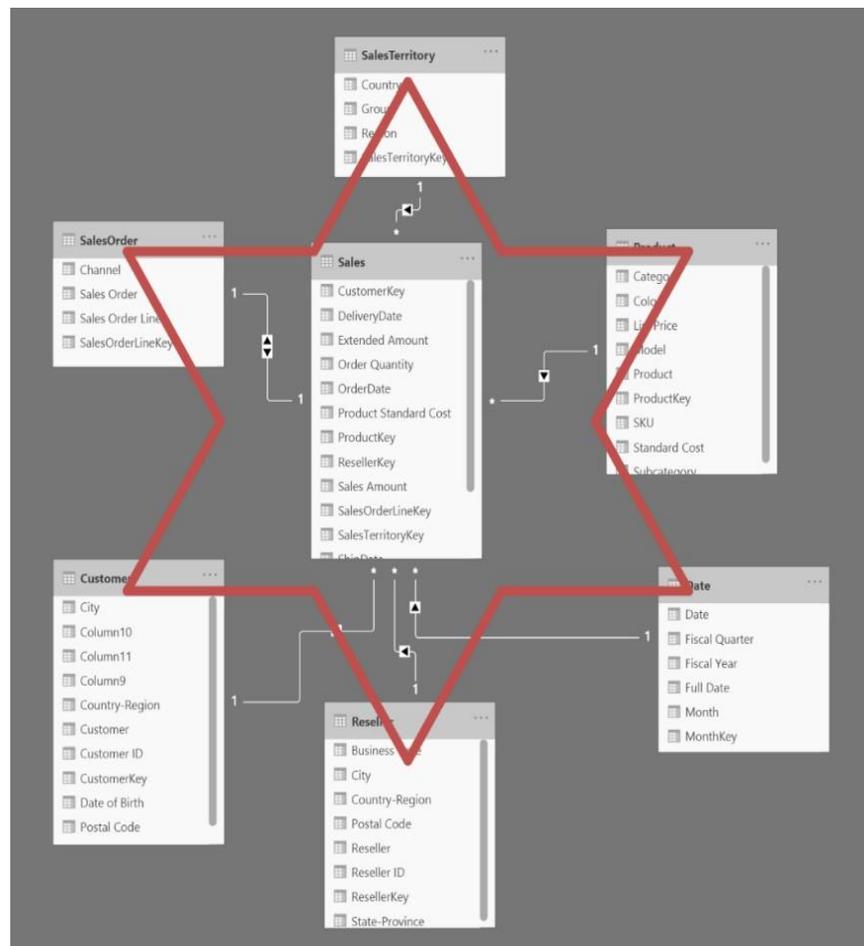
Vale ressaltar que essa última etapa foi necessária devido à disposição e formatação dos dados obtidos da base genérica utilizada, porém, alguns softwares ERP permitem a extração direta dessas e outras informações a respeito de cada registro de manutenção no histórico em diferentes formatos ou tipos de arquivos. Sendo assim, cada banco de dados necessitará de um tratamento específico, dependendo da disposição e formatação das informações, cabendo ao engenheiro de manutenção

realizar o tratamento adequado, bem como realizar uma pré análise dos dados, a fim de garantir a confiabilidade das informações que serão utilizadas para calcular os indicadores.

Após o tratamento no ambiente do Power Query, realizou-se a modelagem dos dados utilizando o esquema de estrela, ou “*Star Schema*”. Esse modelo é amplamente utilizado em projetos envolvendo inteligência de negócios devido à sua capacidade de fornecer uma estrutura simples e eficiente para a análise de dados (Ali, 2021).

No contexto deste artigo, o *Star Schema* foi aplicado para representar as relações entre as tabelas “fato”, dados do histórico de manutenção, com as tabelas “dimensão”, dados e informações sobre equipamentos, recursos humanos, materiais utilizados, custos relacionados a falha e equipamentos envolvidos, facilitando a identificação de padrões, tendências e correlações entre diferentes dimensões.

Na Figura 4 é possível observar um exemplo de esquematização desse modelo dentro do Power BI, onde foram utilizadas tabelas de um setor de vendas da empresa. Porém, no contexto da manutenção, ao utilizar essa metodologia, a tabela fato, tabela no centro da estrela, representa o histórico de manutenção. Já a tabela dimensão, tabelas nas extremidades da estrela, devem conter informações complementares ao histórico, como por exemplo: Detalhes sobre o centro de custo como localização, descrição etc. além de informações adicionais sobre os equipamentos, como ano de aquisição, código do fabricante, local de instalação etc.



**Figura 4 – Exemplo de modelagem de dados usando o modelo *star schema*.**

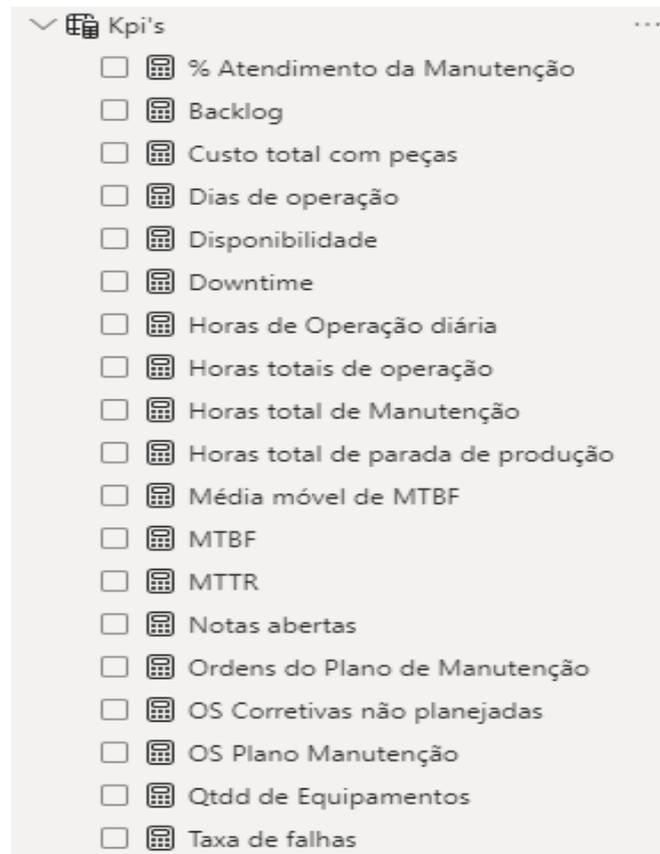
Fonte: Adaptado de Ali (2021).

### 3.3 Indicadores gerenciais de desempenho

Após realizar a modelagem dos dados, criou-se uma tabela onde foram armazenados todos os indicadores e as variáveis auxiliares utilizadas em seus cálculos, utilizando a ferramenta de criar medida do Power BI, que possibilita realizar cálculos através da linguagem “*Data Analysis Expressions*” (DAX) ou expressão de análise de dados, linguagem padrão utilizada no Power BI.

A Figura 5 apresenta todos os indicadores chave de desempenho ou “*Key Performance Indicator*” (KPI’s) que foram utilizados para monitorar o desempenho da manutenção antes, durante e após a implementação das ferramentas com foco na confiabilidade (MCC), sendo eles o MTBF, MTTR, Disponibilidade, Confiabilidade e %Manutenções Planejadas. Esses indicadores são considerados de classe mundial quando se fala em gerenciamento da manutenção (Viana, 2002).

Além disso, também é possível observar na Figura 5 as variáveis auxiliares utilizadas no cálculo desses indicadores, como horas totais de operação, horas em manutenção, horas de parada de produção, notas de abertas corretivas não planejadas, taxa de falhas, quantidade de equipamentos e custo total com peças.



**Figura 5 – Kpi’s utilizados na construção do dashboard no Power BI, MTBF, MTR, Disponibilidade, Confiabilidade e %Manutenções Planejadas.**

De acordo com Kardec e Nascif (2013) o termo confiabilidade é utilizado como uma medida de desempenho e que, apesar de dissertar sobre confiabilidade, ela é utilizada como uma ferramenta para medir a probabilidade de falhas dos equipamentos ou produtos. Segundo Lopes (2023), o cálculo da Taxa de Confiabilidade  $R(t)$  tem intuito de indicar a probabilidade do equipamento desempenhar sua função sem falhas ao longo de um determinado período discreto baseado na taxa de falhas que o mesmo vem apresentando.

Portanto, a confiabilidade deve ser expressa pela equação (1), com uma distribuição de Weibull, considerando a distribuição exponencial com taxa de falhas,  $\lambda$  constante para um período previsto de operação  $t$ .

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Onde:

- $R(t)$  é a confiabilidade a qualquer tempo.  $e$  é base dos logaritmos neperianos ( $e = 2,718$ ).  $\lambda$  é a taxa de falhas (número total de falhas por período de operação).  $t$ , o tempo previsto de operação.
- Tempo Médio de Reparo (MTTR): Esse indicador mede o tempo médio necessário para reparar uma falha em um equipamento. Pode ser calculado dividindo o tempo total de reparo pelo número total de falhas reparadas conforme indicado na equação (2).

$$MTTR = \frac{\text{Tempo total gasto com reparos}}{\text{Número total de Ações de reparos}} \quad (2)$$

Tempo Médio até a Falha (MTBF): A taxa de falhas representada pela letra  $\lambda$  indica o número de falhas por período de operação, sendo assim obtém-se o MTBF a partir de  $\lambda$ , uma vez que o MTBF, do inglês *Mean Time Between Failures*, é dado pelo cálculo no número de horas de operação sobre o número de falhas do equipamento, descrito na equação (3).

$$MTBF = \frac{\text{Tempo total de funcionamento}}{\text{Número total de Ações de reparos}} = \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

Onde Disponibilidade,  $A$ , é definida como a capacidade de um item, mediante manutenção apropriada, desempenhar sua função de forma eficiente em um determinado período. O cálculo do indicador de disponibilidade pode variar conforme a capacidade de reparo de uma unidade em unidades não-reparáveis. Em equipamentos que a equipe de manutenção consegue reparar a falha de forma a não impactar no seu desempenho, os possíveis estados da unidade em um tempo  $t$  de análise são o funcionando ou em manutenção (Fogliatto e Ribeiro, 2011).

Nesses casos, costuma-se supor que reparos devolvam a unidade à condição de nova e trabalha-se com um valor médio de disponibilidade para a unidade representado na equação (4), por meio dos indicadores MTTF e  $MTBF$  previamente calculados. sendo  $A$  (do inglês *availability*) denota a disponibilidade média do equipamento,  $MTBF$  é o tempo médio entre falhas, ou seja, o tempo médio de funcionamento do equipamento. O MTTR é o tempo médio até conclusão de reparos feitos no equipamento.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} * 100 \quad (4)$$

A porcentagem de manutenções planejadas, indica a relação entre a quantidade de ordens do plano de manutenção sobre a quantidade total de manutenções, considerando também as manutenções corretivas não planejadas. Esse indicador, calculado na equação (5), permite dimensionar o quanto o plano de manutenção está prevendo falhas não planejadas.

$$\% \text{ Manutenções planejadas} = \frac{\text{Quantidade de ordens do plano de manutenção}}{\text{Quantidade total de manutenções}} * 100 \quad (5)$$

Vale ressaltar que, para aplicar essas equações dentro do ambiente do Power BI, são necessárias variáveis auxiliares, como por exemplo o número total de ações de reparo e a taxa de falhas, utilizados no cálculo do MTTR e MTBF. Essas variáveis podem ser obtidas de diferentes formas, variando muito de acordo com o banco de dados disponível, bem como o modo que esses dados são obtidos e o que eles representam. Para este trabalho, essas variáveis foram calculadas como medidas.

### 3.4 Dashboard no Power BI com indicadores classe mundial.

O painel, também conhecido como *Dashboard*, é uma interface visual que apresenta informações e métricas relevantes de maneira clara e concisa, sendo amplamente utilizado para monitorar o desempenho em tempo real em aplicações de negócios e gerenciamento de projetos.

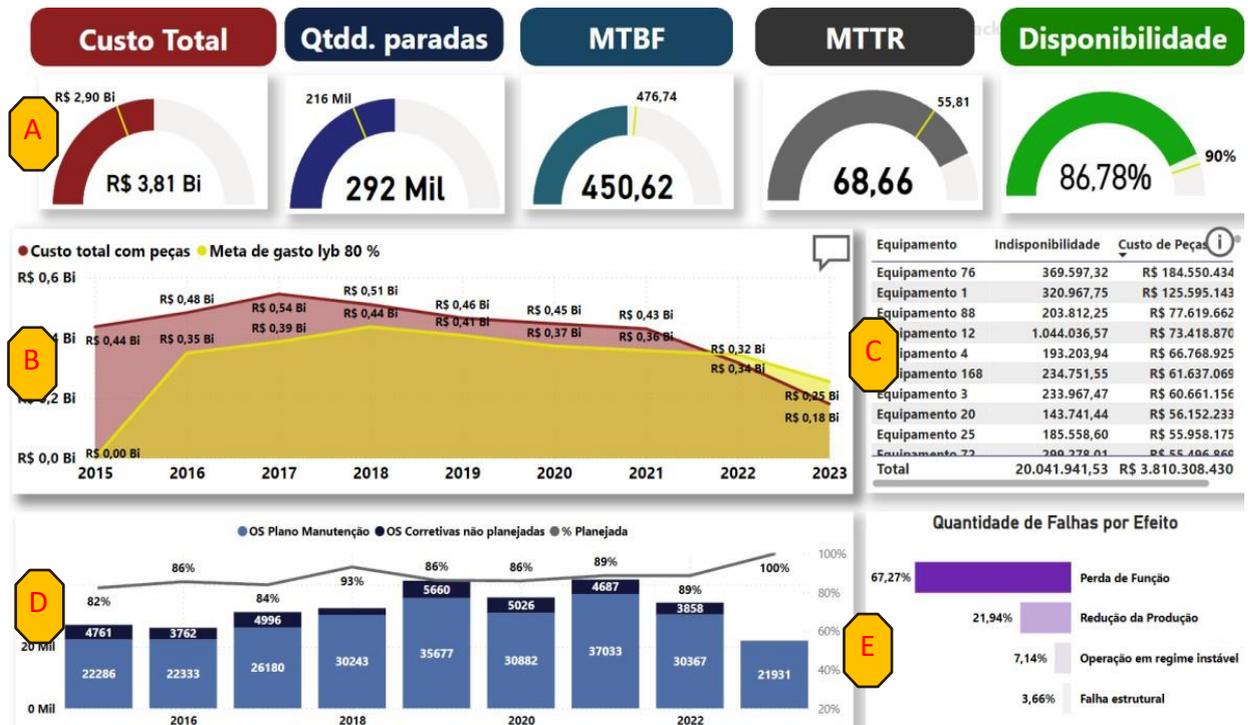
Ao criar as visualizações, é importante considerar o conceito de *Data Storytelling*, que busca envolver o público e contextualizar as informações por meio de uma abordagem narrativa baseada nos insights obtidos a partir dos dados. Dessa forma, ao invés de apresentar números e estatísticas, o objetivo é explicar o significado prático das informações de forma visualmente apelativa, com formatação e disposição adequadas nos gráficos.

Ao construir o painel no Power BI, foram adicionados filtros de segmentação de dados para que o usuário possa segmentar as informações de acordo com critérios a serem analisados, como equipamento, linha de produção, tipo de manutenção e data da ocorrência. Esses filtros permitem uma interação mais precisa e dinâmica com os dados, auxiliando os usuários na obtenção de análises relevantes para a melhoria contínua dos processos de manutenção.

## 4. Resultados e Discursões

Com a base de dados analisada, é possível criar diversas visibilidades para os indicadores de acompanhamento da manutenção. Porém, nesse trabalho, construiu-se um dashboard com 5 painéis principais, A, B, C, D e E apresentado na Figura 6, sendo:

- A, principais indicadores utilizados para monitorar o desempenho da manutenção;
- B, Gráfico temporal dos indicadores;
- C, lista com equipamento, indisponibilidade e custo de peça;
- D, relação entre ordens de serviço (OS) corretivas não planejadas e quantidade de ordens do plano de manutenção;
- E, avaliação da porcentagem de falha por efeito.



**Figura 6 – Dashboard dividido em 5 painéis principais.**

Na parte superior está o painel A que, além de possuir botões atrelados a cada indicador, onde é possível clicar no mesmo e alterar a análise para cada indicador, também dispõe visuais de indicador de cada KPI desenvolvido no trabalho.

Já o painel B apresenta o histórico dos custos da empresa desde 2015 na área vermelha, porém utilizou-se o recurso de indicadores no Power BI para alternar entre o gráfico de histórico dos 5 indicadores apresentados no painel A.

O objetivo do painel C é possibilitar ao usuário identificar quais equipamentos estão apresentando uma maior indisponibilidade e um maior custo nas análises temporais, análises estas que podem ser feitas em conjunto com o painel B.

O painel D foi criado pelo gráfico de colunas empilhadas e linha, a fim de apresentar a quantidade de ordens de serviço de manutenção corretiva não planejadas em relação a quantidade de ordens de serviço de manutenção que estão contidas no plano de manutenção. Nesse aspecto é possível analisar se o plano está sendo capaz de prever falhas e corrigi-las através de práticas preventivas e corretivas planejadas.

Por fim, o painel E traz uma visão abrangente da porcentagem de ocorrência do efeito das falhas. No caso analisado, por estratégia da empresa, o efeito foi classificado em apenas 4 tipos, porém, ao estudar a fundo sobre o tema, é possível classificar o efeito em outros grupos e detalhar mais os mesmos, classificando-os como: “Desgaste prematuro de componentes”, “Emissão de ruídos excessivos”, “Geração de calor excessivo”, entre outros.

Conforme demonstrado neste estudo, foram estabelecidas metas com base no desempenho do ano anterior, destacadas em amarelo nos gráficos de todos os indicadores. Para Li, Wang e Wang, (2021), as metas devem ser adotadas visando avaliar o desempenho atual, monitorar a eficácia das estratégias, orientar a tomada de decisão e promover a melhoria contínua. Sendo assim, a definição das metas de redução ou ganho deve ser orientada pela estratégia organizacional e pela posição desejada no mercado, sendo apresentadas de forma visual no dashboard para facilitar a identificação do direcionamento a ser seguido para cada indicador (Costa, 2023).

Para esse trabalho, utilizou-se o cálculo das metas a partir do desempenho do indicador no mesmo período no ano anterior, prática de dimensionamento de meta vivenciada pelos autores na indústria e apresentada nesse relatório de forma demonstrativa.

Partindo para a análise que pode ser extraída do relatório, na Figura 7 fica evidente uma redução de aproximadamente 50% na quantidade de paradas de máquinas na empresa no período de 2021 a 2023. De acordo com os modelos de dados simulados para esse trabalho, é possível atrelar a redução na quantidade de paradas não planejadas às metodologias que focam na confiabilidade dos equipamentos e excelência operacional, como o MCC e o TPM.



**Figura 7 – Painel B contendo a visualização do gráfico da quantidade de paradas.**

Além disso, ao utilizar a ferramenta do Power BI, é possível extrair dados dos equipamentos com uma maior quantidade de paradas não planejadas, bem como os equipamentos com maior custo com falhas, a fim de direcionar esforços da equipe de manutenção aos equipamentos com pior desempenho.

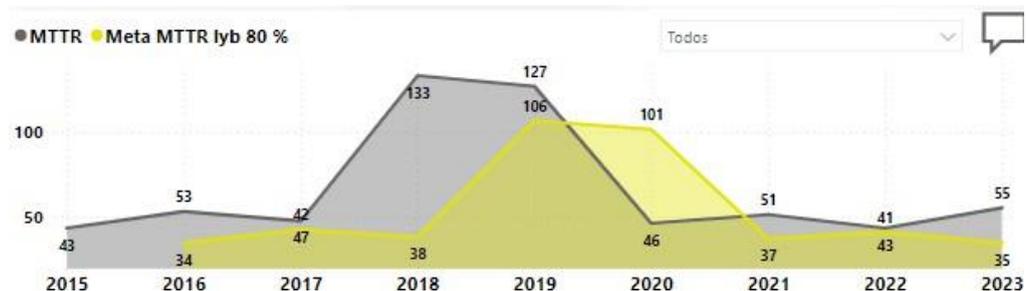
No segundo painel analisado, representado na Figura 8, é possível observar o resultado da fábrica em relação ao MTBF, evidenciando um aumento significativo nos anos de 2021 a 2023. Esse resultado era esperado devido à redução da quantidade de paradas e à implementação das metodologias de confiabilidade. Vale ressaltar que para esse indicador, quanto maior o valor relacionado a meta, significa um melhor desempenho da linha produtiva, com menos paradas para correção de falhas e conseqüentemente, uma maior disponibilidade dos equipamentos.



**Figura 8 – Painel B contendo a visualização do gráfico de MTBF.**

Além de proporcionar um comparativo com o desempenho do ano anterior, o Power BI permite importar os dados e calcular de forma automatizada esse e os outros indicadores apresentados nessa secção. Ademais, a Figura 8 indica que a metodologia proposta para definição da meta do MTBF, com base de 10% de aumento em relação ao desempenho do ano anterior, não apresenta um desafio significativo para a equipe de manutenção nos anos de 2022 e 2023. Sendo assim, através dos cálculos de medidas no Power BI, é possível replanejar a meta para esse indicador e traçar um novo objetivo mais adequado, visando a melhoria contínua no desempenho da manutenção.

Como resultado da análise do MTTR na Figura 9, é visível uma redução nesse indicador de cerca de 50% de 2019 a 2023. Tal fato indica uma maior prontidão para resolução de falhas da equipe de manutenção e de peças de estoque. Um dos ganhos que o MCC traz para o MTTR é que as falhas passam a ser previsíveis, sendo possível realizar um plano preventivo e preditivo robusto, evitando paradas longas por falta de componentes de substituição, bem como a falta de horas homem (HH) capacitado para realizar a manutenção adequada no equipamento.



**Figura 9 – Painel B contendo a visualização do gráfico de MTTR.**

Além disso, também foi possível perceber um aumento significativo na disponibilidade dos equipamentos, como na Figura 10, com um ganho de 8% de 2021 a 2023 nos dados que foram simulados. Porém, apesar desse aumento na disponibilidade, ao utilizar o Power BI como ferramenta de gestão a vista, é possível analisar o desempenho do indicador mês a mês e investigar detalhadamente o desempenho de cada ativo, como foi realizado na Figura 11, onde investigou-se a disponibilidade através do recurso de *Dril Down*.



**Figura 10 – Painel de visualização do gráfico de disponibilidade.**

Na Figura 11 fica evidente que, apesar da disponibilidade estar dentro da meta no ano, a manutenção tem oportunidades de melhorias em alguns equipamentos, devido à baixa disponibilidade nos meses de março a julho de 2023.

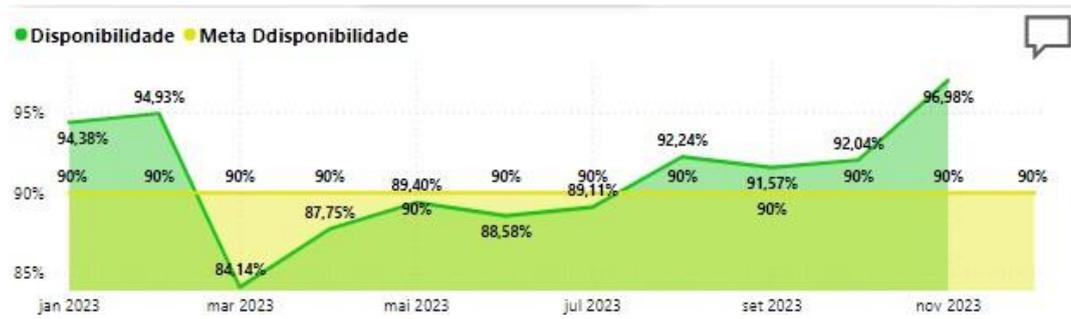


Figura 11 –Disponibilidade dos equipamentos do parque fabril no ano de 2023.

Ainda considerando a análise da baixa disponibilidade em 2023, o Power BI possibilita a fácil extração da TAG de identificação dos equipamentos com uma maior indisponibilidade e, assim, permite atuar no plano preventivo ou até mesmo na revisão do FMEA do equipamento e aplicação do MCC. Na Figura 12, por exemplo, foram selecionados os 5 equipamentos com mais horas indisponíveis de acordo com a tabela selecionada em vermelho e foi possível analisar através de cada indicador o desempenho desses equipamentos com uma maior indisponibilidade no ano de 2023.

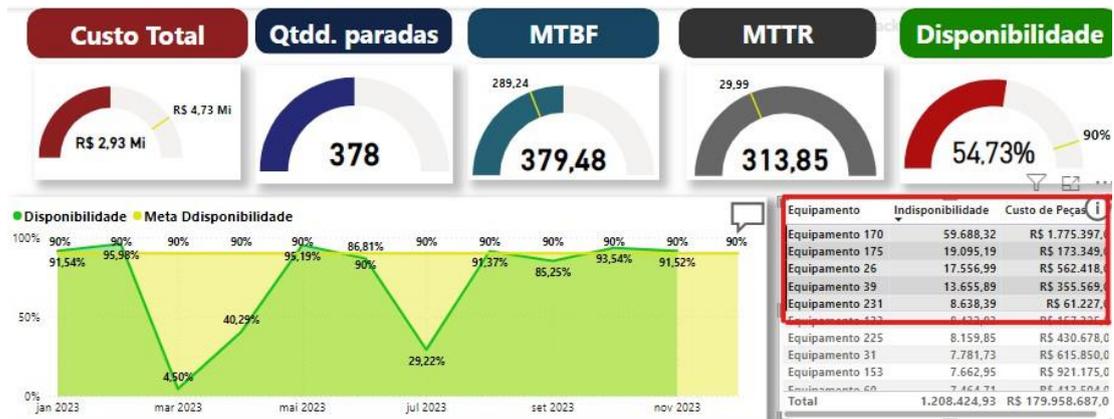


Figura 12 – Painel de visualização da disponibilidade dos 5 equipamentos com maior indisponibilidade no ano de 2023.

No painel exposto na Figura 13, é possível analisar os custos atrelados à aquisição de peças para reparo nos equipamentos. Porém, ao avaliar a indisponibilidade, pode-se detalhar esse indicador de custo, acrescentando o custo da hora homem que foi utilizado na parada, a não produtividade ou até mesmo o atraso na linha produtiva, entre outros custos que sejam interessantes na análise para o setor industrial.

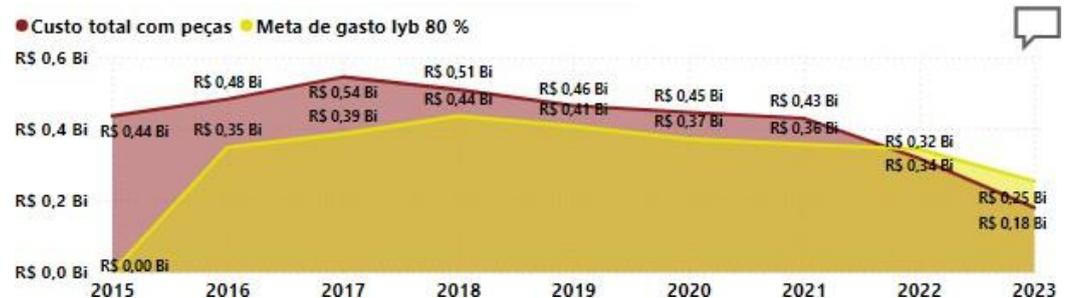
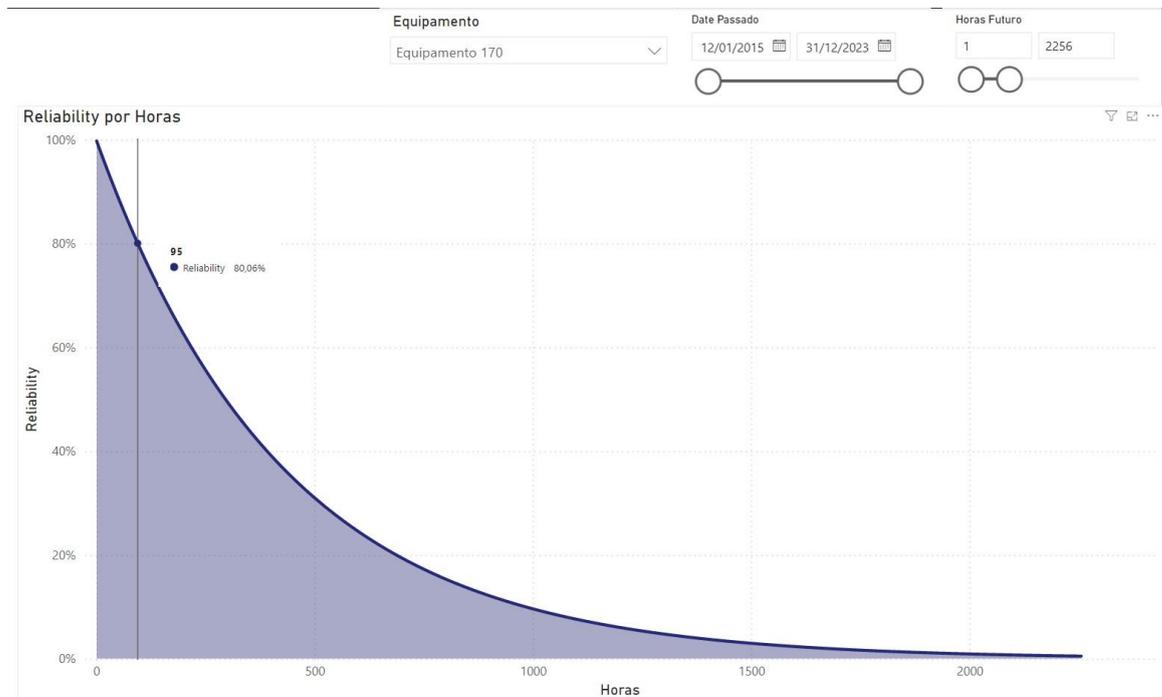


Figura 13 – Painel de visualização da disponibilidade dos 5 equipamentos com maior indisponibilidade no ano de 2023.

Ao utilizar a distribuição de Weibull dentro do ambiente do Power BI, é possível inserir qual o equipamento desejado para o cálculo, bem como o tempo previsto de operação que se deseja calcular a confiabilidade para as próximas horas de operação, conforme indicado na Figura 14, onde foi gerado o gráfico para o equipamento 170. Isso permite aos engenheiros de manutenção entenderem melhor o comportamento das falhas ao longo do tempo e tomar decisões baseadas em dados sobre a melhor estratégia de manutenção para o equipamento, evitando gastos desnecessários e melhorando a previsibilidade da ocorrência das falhas.



**Figura 14 – Distribuição de Weibull do equipamento 170 no Power BI.**

Nesse exemplo apresentado na Figura 14, é possível verificar a confiabilidade do equipamento 170 de 80% nas próximas 95 horas de operação, equipamento com maior indisponibilidade, como apresentado na Figura 12. Sendo assim, ao utilizar o Power BI como ferramenta de acompanhamento dos indicadores, é possível direcionar os esforços da equipe de manutenção para aplicar as ferramentas com foco na confiabilidade, como o MCC, nos equipamentos mais críticos, que estão performando abaixo das metas estipuladas para os indicadores.

## 5. Conclusões

Embora este estudo tenha contribuído para o entendimento sobre a gestão da manutenção utilizando o Power BI, reconhecem-se algumas limitações relacionadas à base de dados utilizada devido ao sigilo das informações. Sendo assim, recomenda-se investigações futuras que ampliem a análise dos benefícios do uso do Power BI e da Manutenção Centrada na Confiabilidade em diversas indústrias, principalmente naquelas que se pode integrar bancos com um grande volume de dados ao Power BI, como o MySQL e o Oracle. Além disso, recomenda-se a continuidade de pesquisas para explorar a aplicabilidade dessas metodologias em diversos contextos, visando a otimização dos processos de manutenção e a implementação de técnicas preditivas na indústria 4.0.

Entretanto, os resultados deste estudo evidenciam que a aplicação da metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade, juntamente com o uso do Business Intelligence para monitorar indicadores em tempo real, pode resultar em melhorias significativas no gerenciamento da manutenção industrial. A partir dos indicadores que são considerados classe mundial, e das avaliações de criticidade dos ativos gerada ao aplicar o MCC, é possível direcionar esforços da equipe de manutenção, para os ativos críticos que vem performando abaixo do estipulado pela meta. Além disso, ao relacionar os resultados com os objetivos iniciais, fica evidente que a abordagem baseada

em dados proporciona insights valiosos para a tomada de decisões fundamentadas. As implicações práticas dessas descobertas são vastas, podendo impactar positivamente a disponibilidade dos equipamentos, reduzindo custos operacionais e aumentando a eficiência dos processos de manutenção.

## Referências

- Ali, N. (2021). *Star schema & Snowflake Schema*. Microsoft Analytics Made Eazy. <https://www.powerbitraining.com.au/schemas-in-a-data-model/>. Acesso em 20/04/2023.
- Almeida, B. S. (2023). “*Apliação de ferramentas de qualidade na elaboração de um plano de manutenção preventiva para uma microcervejaria no paraná.*” Monografia, universidade Federal da integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu PA, Brasil.
- Araujo, W., R., S., (2023). *Adoção de uma ferramenta de Business Intelligence para tomada de decisão no processo de identificação de anomalias e manutenção no setor elétrico*. Trabalho de Conclusão de curso, Instituto Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil.
- Bansal, H. (2019) “*Tableau vs Qlik Sense vs Power BI - Choose best BI Tool for Big Data Visualization*”, <https://medium.com/javarevisited/tableau-vs-qlik-sense-vs-power-bi-choose-best-bi-tool-for-big-data-visualization-533976324c47>, acesso em 20/04/2023.
- Barbosa, Á., M. (2021) “*Business Intelligence aplicado ao controle de custos da Manutenção*”. Trabalho de conclusão de curso, Unifametro, Maracanaú, CE, Brasil.
- Baran, L. R. (2011). *Manutenção centrada em confiabilidade aplicada na redução de falhas: um estudo de caso*. Monografia de especialização, Universidade Federal Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil.
- Benini, L., Santos, A. (2021). Utilização da manutenção centrada em confiabilidade (MCC) em embaladora à vácuo de alimentos. *The Journal of Engineering and Exact Sciences – jCEC*, Vol. 07 N. 02 (2021). DOI: <https://doi.org/10.18540/jcecvl7iss2pp12021-01-14e>.
- Costa, G. R. da S. (2023). *Mautenção e Confiabilidade: um modeo para análise de dados de performance em caminhões de mineração utilizando o Power BI*. Monografia de trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal Rural da Amazônia, Parauapebas, PA, Brasil.
- Fogliatto, F. S., Ribeiro, J. L. D. (2011) *Confiabilidade e Manutenção Industrial*. Elsevier.
- IEC 60300-3-11, (2009). *Dependability management - Part 3-11: Application guide – Reliability centered maintenance* International Electrotechnical Commission's. Switzerland.
- Kaggle, 2023, “*Manutenções em indústrias de pneus*” <https://www.kaggle.com/datasets/lucasfca/manutenes-em-industria-de-pneus>, Acesso em 05/09/2023.
- Kardec, A., Nascif, J. (2012). *Manutenção – Função Estratégica*. Qualitymark.
- Li, Y., Wang, J. (2019). “*A review of data-driven predictive maintenance methods in industry 4.0*. *Journal of Manufacturing Systems*,” 53, 261-271.
- Li, Y., Wang, J., Wang, L. (2021). “*A data-driven predictive maintenance framework for industry 4.0*.” *Journal of Manufacturing Systems*, 59, 1-12.
- Lopes, S., S. (2023). “*A aplicabilidade de Business Intelligence para gestão da manutenção industrial no setor de mineração utilizando software Power BI*”. Monografia de trabalho de conclusão de curso. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. Guarapari, ES, Brasil.
- Moubray, J. (2000). *Manutenção centrada em confiabilidade*. edição brasileira. Lutterworth, Inglaterra: Aladon Ltd.
- Rosa, R. N. (2016) *Apliação da manutenção centrada em confiabilidade em um processo da indústria automobilística*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- SAE JA1011. (1999). *Evaluation Criteria for Reliability Centered Maintenance (RCM) Processes*. Society of Automotive Engineers.
- Viana, H. R. G. (2002). *PCM, planejamento e controle da manutenção*. Rio de Janeiro, Qualitymark.