

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
GOIÁS CAMPUS ITUMBIARA
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**



Patrick Riquelme Santos Coelho

**Desenvolvimento e Implantação de Gestão Automatizada de KPI's em Indústria
do Agronegócio**

ITUMBIARA/GO

2025



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Patrick Riquelme Santos Coelho

Matrícula: 20191040100153

Título do Trabalho: Desenvolvimento e Implantação de Gestão Automatizada de KPI's em Indústria do Agronegócio

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Itumbiara-GO, 27/08/2025.

Local Data



Documento assinado digitalmente
PATRICK RIQUELME SANTOS COELHO
Data: 27/08/2025 13:41:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Patrick Riquelme Santos Coelho

**Desenvolvimento e Implantação de Gestão Automatizada de KPI's em Indústria
do Agronegócio**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a banca avaliadora, parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação junto ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), Câmpus Itumbiara.

Orientador: Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini Vicente

ITUMBIARA/GO

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C672d Coelho, Patrick Riquelme Santos
Desenvolvimento e implantação de gestão automatizada de KP's em Indústria do Agronegócio. / Patrick Riquelme Santos Coelho -- Itumbiara, 2025.
80p. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Engenharia de Controle e Automação) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini Vicente.

1. Agroindústria 2. Tecnologia 3. Automação industrial . I. Título. II. Vicente, Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

CDD 629.895

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Biblioteca Maria Gabriela Pacheco Pardey / Câmpus Itumbiara
Bibliotecário: Rosiane Gonçalves de Lima CRB1/1684



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ITUMBIARA

PATRICK RIQUELME SANTOS COELHO

DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO DE GESTÃO AUTOMATIZADA DE KPI'S EM INDÚSTRIA DO AGRONEGÓCIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Itumbiara, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Aprovado em 21 de Agosto de 2025.

(Assinado Eletronicamente).

Prof. Dr. Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini Vicente
Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara
Orientador

(Assinado Eletronicamente).

Prof. Dr. Diogo Soares Resende
Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara
Avaliador

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Dr. Wellington do Prado
Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara
Avaliador

Documento assinado eletronicamente por:

- **Diogo Soares Resende**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/08/2025 15:33:41.
- **Wellington do Prado**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/08/2025 13:42:52.
- **Bruno Gabriel Gustavo Leonardo Zambolini Vicente**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/08/2025 10:16:19.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 21/08/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 682942

Código de Autenticação: 9146c92823



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Avenida Furnas, nº 55, 55, Bairro Village Imperial, ITUMBIARA / GO, CEP 75524-010
(64) 2103-5622 (ramal: 5622)

Dedico esta monografia à minha família, principalmente aos meus pais, meus irmãos e aos meus colegas de curso. Agradeço também ao meu orientador, Bruno, pela orientação, paciência e apoio durante todo o processo. À minha namorada, Maria Eduarda, sou grato pelo constante apoio, incentivo e companheirismo nesta jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, José Wilton e Paula, pelo apoio incondicional, incentivo constante e amor que sempre me motivaram a seguir firme nesta caminhada. Vocês foram meu alicerce em todos os momentos, me mostrando que, com dedicação e persistência, é possível alcançar qualquer objetivo.

Agradeço à meus irmãos e meus avós, que sempre estiveram ao meu lado e acreditaram no meu potencial e me ajudaram sempre que precisei, oferecendo não apenas suporte, mas também carinho e compreensão.

À minha namorada, Maria Eduarda, agradeço o incentivo e apoio inabaláveis durante toda essa etapa. Sua presença, paciência e palavras de encorajamento me ajudaram a manter o foco e a determinação, mesmo no momento mais desafiador desta fase.

Expresso minha gratidão aos professores Victor Bernadelli, Giovanni, Luiz Gustavo e ao meu orientador Bruno, por todo o conhecimento transmitido e pela disposição em ajudar a turma, especialmente nos momentos de maior dificuldade. A paciência, dedicação e incentivo de vocês fizeram toda a diferença no meu aprendizado e no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus colegas de curso, agradeço a união e companheirismo que compartilhamos ao longo dessa jornada. Foi inspirador ver como nos apoiamos mutuamente nos momentos mais desafiadores, dividindo conquistas e superando obstáculos juntos.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa trajetória, mesmo que não tenham sido mencionados nominalmente. Cada gesto, palavra de incentivo ou demonstração de apoio contribuiu para que eu chegasse até aqui. A todos vocês, meu mais sincero obrigado!

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a implementação de soluções digitais voltadas à gestão automatizada de indicadores de manutenção (KPIs) em uma indústria do setor agroindustrial. A partir do diagnóstico de um cenário com registros manuais, atualizações tardias e baixa padronização, foram propostas e aplicadas ferramentas da Power Platform da Microsoft® como Power BI, Power Apps e Power Automate para modernizar e integrar os processos de coleta, análise e visualização de dados. Também foi realizada a integração com sensores inteligentes para viabilizar uma abordagem de manutenção preditiva baseada em dados de vibração, temperatura e aceleração, transmitidos via API. As soluções implantadas permitiram reduzir drasticamente o tempo de atualização dos dados, aumentar a confiabilidade das informações e aprimorar a tomada de decisões em todos os níveis da organização. O trabalho ainda demonstrou como essas tecnologias podem ser escaladas e replicadas em outros contextos industriais, promovendo maior eficiência operacional, disponibilidade de ativos e aderência aos princípios da Indústria 4.0.

Palavras-chave: Power BI, Power Apps, Análise de Vibração, KPIs, Indústria 4.0, Python, Automação de Processos, Gestão de Manutenção

ABSTRACT

This work presents the development and implementation of digital solutions aimed at the automated management of maintenance indicators (KPIs) in an agro-industrial sector company. Based on the diagnosis of a scenario marked by manual records, delayed updates, and low standardization, tools from Microsoft's Power Platform such as Power BI, Power Apps, and Power Automate were proposed and applied to modernize and integrate the processes of data collection, analysis, and visualization. Smart sensor integration was also implemented to enable a predictive maintenance approach based on vibration, temperature, and acceleration data transmitted via API. The solutions deployed drastically reduced data update times, increased information reliability, and enhanced decision-making at all organizational levels. Furthermore, the study demonstrated how these technologies can be scaled and replicated in other industrial contexts, promoting greater operational efficiency, asset availability, and alignment with Industry 4.0 principles.

Keywords: Power BI, Power Apps, Vibration Analysis, KPIs, Industry 4.0, Python, Process Automation, Maintenance Management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Gerações da Manutenção	16
Figura 2 - 4º Geração da Manutenção	17
Figura 3 - Modelo Inicial de Análise Gerencial	21
Figura 4 - Indústria 4.0	24
Figura 5 - Ciclo de Vida de um Ativo	26
Figura 6 - Modelo 3D Elevador de Canecas.....	30
Figura 7 - Linha do Tempo Exemplo	30
Figura 8 - Conjunto de Ferramentas Microsoft Power Platform.....	33
Figura 9 - Conjunto Microsoft Fabric	34
Figura 10 - Layout de disposição dos dados	39
Figura 11 - Dashboard de Resumo Comparativo	41
Figura 12 - Dashboard Individual das Filiais	42
Figura 13 - Layout Formulário de Parada de Fábrica	43
Figura 14 - Formulário de Preenchimento Plano de Ação.....	44
Figura 15 - Formulário de Preenchimento RCA	44
Figura 16 - Fluxo de Trabalho criação de Plano de Ação	46
Figura 17 - Agendamento de Atualizações	46
Figura 18 - Fluxo de Trabalho criação de Plano de Ação	46
Figura 19 - Fluxo de Trabalho criação de Plano de Ação	47
Figura 20 - Modelo de Documento de Investigação	48
Figura 21 - Tela Inicial Seleção Setor e Equipamento	51
Figura 22 - Tela de Seleção e Edição de Dados Lançados	52
Figura 23 - Fluxograma de Processo APP Paradas	53
Figura 24 - Tela Inicial App de RCA	53
Figura 25 - Tela Seleccionável RCA	54
Figura 26 - Tela de Navegação RCA's	55
Figura 27 - Tela Inicial de Navegação Plano de Ação.....	55
Figura 28 - Tela de Navegação Plano de Ação	56
Figura 29 - Fluxograma de Manutenção Preditiva.....	57
Figura 30 - Tela Inicial Dashboard Indicadores	59
Figura 31 - Tela Inicial Relatório de Sensores.....	60

Figura 32 - Tela Inicial Relatório de Gestão	60
Figura 33 - Dashboard Visão Geral KPI's Unidades.....	61
Figura 34 - Segundo Dashboard para Detalhamento de Falhas	62
Figura 35 - Terceiro Dashboard para Detalhamento de Performance.....	63
Figura 36 - Dashboard Visão Geral Projeto	64
Figura 37 - Dashboard Dados Preditivos Equipamentos.....	65
Figura 38 - Dashboard Visão Geral Projeto Preditivo.....	66
Figura 39 - Dashboard de Status de RCA e Ações	67
Figura 40 - Dashboard de Status de Prazo RCA e Ações.....	68
Figura 41 - Layout Anterior de Lançamento de Dados.....	69
Figura 42 - Pareto de N° de Falhas x Equipamento	70
Figura 43 - Pareto de N° de Falhas x Equipamento Após Intervenção	71
Figura 444 - Espectro Análises Preditiva	73
Figura 455 - Sistema de Lubrificação Instalado	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo de Eventos Elevador de Canecas	31
Tabela 2 - Dados Iniciais	31
Tabela 3 - Layout de Coleta de Dados	39
Tabela 4 - Comparativo Cenários Manutenção Preditiva	72

LISTA DE SIGLAS

5W2H	What, Why, Where, When, Who, How, How much (O que, Por quê, Onde, Quando, Quem, Como, Quanto custa)
API	Application Programming Interface
BI	Business Intelligence
CBM	Condition-Based Maintenance
ERP	Enterprise Resource Planning
IA	Inteligência Artificial
IoT	Internet of Things (Internet das Coisas)
KPI	Key Performance Indicator
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time to Repair
NSDT	No Scheduled Downtime (Internal)
SDT	Scheduled Downtime
NIDT	No Industrial Downtime (External)
OE	Operational Efficiency
OEE	Overall Equipment Effectiveness
RCA	Root Cause Analysis
WS	Wireless Sensor

SUMÁRIO

1. CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	14
1.1. TIPOS DE MANUTENÇÃO	18
1.1.1. MANUTENÇÃO CORRETIVA	18
1.1.2. MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	18
1.1.3. MANUTENÇÃO PREDITIVA	18
1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	19
1.3. PROBLEMA	20
1.4. OBJETIVOS	22
1.4.1. OBJETIVO GERAL.....	22
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
2. REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1. INDÚSTRIA 4.0 E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL.....	24
2.2. GESTÃO DE ATIVOS NA INDÚSTRIA 4.0	25
2.3. GESTÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	27
2.3.1. SDT (Scheduled Downtime)	27
2.3.2. NIDT (No Industrial Downtime (External))	28
2.3.1. NSDT (No Scheduled Downtime (Internal)).....	28
2.3.2. OE (Operational Efficiency)	28
2.3.3. MTBF (Mean Time Between Failures)	29
2.3.4. MTTR (Mean Time to Repair).....	29
2.4. BUSINESS INTELLIGENCE (BI) NA INDÚSTRIA	32
2.5. POWER PLATFORM (POWER BI, POWER APPS, POWER AUTOMATE, FABRIC)	33
2.5.1. POWER BI.....	35
2.5.2. POWER APPS.....	35
2.5.3. POWER AUTOMATE	35
2.5.4. POWER VIRTUAL AGENTS	36
2.5.5. MICROSOFT® FABRIC	36
2.6. AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS E ANÁLISE DE DADOS	36
3. METODOLOGIA.....	38

3.1.	TIPO DE PESQUISA	38
3.2.	LEVANTAMENTO DE CENÁRIO ATUAL	38
3.3.	DESENVOLVIMENTO DAS SOLUÇÕES	40
3.4.	AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS	45
3.5.	VALIDAÇÃO	48
4.	DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS.....	50
4.1.	DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO INICIAL	50
4.2.	DESENVOLVIMENTO DOS APLICATIVOS	51
4.3.	INTEGRAÇÃO COM POWER BI	58
4.3.1.	Definição de Layout Padrão	58
4.3.2.	Relatório de Indicadores	61
4.3.3.	Relatório de Dados dos Sensores	64
4.3.4.	Relatório de Plano de Ação e Investigações	66
4.4.	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	69
5.	CONCLUSÃO.....	76

1. CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

No cenário da indústria moderna, a manutenção assume um papel estratégico, transcendendo a simples reparação de falhas para se tornar um pilar fundamental da eficiência operacional e da competitividade. A gestão eficaz da manutenção é intrinsecamente ligada à capacidade de monitorar e analisar indicadores de desempenho (KPIs¹), que fornecem insights cruciais sobre a saúde dos equipamentos, a produtividade das linhas de produção e a otimização dos recursos. Em um ambiente onde a agilidade e a resposta rápida são essenciais, a análise de dados em tempo real e a capacidade de realizar diagnósticos precisos são elementos decisivos para antecipar problemas, reduzir paradas inesperadas e garantir a continuidade das operações.

Quando buscado o significado teórico da manutenção industrial, é possível encontrar referências como: ato ou ação de manter, gerir e administrar uma indústria. Conforme definido por Slack, Chambers e Johnston (2008), a manutenção corresponde ao conjunto de práticas adotadas pelas organizações para evitar falhas, garantindo o bom funcionamento de suas instalações físicas. Trata-se de uma atividade essencial, especialmente em setores nos quais a infraestrutura exerce papel central na produção de bens e serviços, como é o caso de centrais elétricas, companhias aéreas, hotéis e refinarias petroquímicas. Nesses contextos, as ações de manutenção demandam significativa atenção da gestão. Já segundo Wyrebski (1997), embora práticas rudimentares de conservação de ferramentas e instrumentos remontem aos primórdios da civilização, a função manutenção só ganhou contornos mais definidos a partir da Revolução Industrial, com a invenção das primeiras máquinas têxteis movidas a vapor, no século XVI. Naquele período, o próprio projetista era responsável por treinar operadores e realizar intervenções mais complexas, enquanto os operadores assumiam o papel de realizar a manutenção. A profissionalização gradual da área evoluiu paralelamente à introdução de novas tecnologias, como os motores elétricos, que impulsionaram o surgimento de especializações como o mantenedor eletricista.

¹ KPI: *Key Performance Indicators*

Historicamente, como destaca Wyrebski (1997), a evolução das práticas de manutenção esteve diretamente relacionada ao desenvolvimento tecnológico e às necessidades operacionais dos diferentes períodos. Desde o uso de ferramentas rudimentares para caça, passando pelo emprego de motores a vapor em minas de carvão, até o surgimento de motores elétricos, nota-se uma progressiva complexificação dos equipamentos e, conseqüentemente, das exigências relacionadas à sua conservação. Essa trajetória evidencia que a manutenção, antes realizada de forma empírica pelos próprios operadores, passou a demandar conhecimento técnico especializado, originando profissionais dedicados exclusivamente à função de manter os ativos produtivos operacionais.

Esse processo de especialização foi intensificado após a Revolução Industrial, momento em que, segundo Monchy (1989) apud Wyrebski (1997), o termo "manutenção" começou a ser utilizado de maneira mais formal, com origem no meio militar. A ideia de "manter" as unidades — antes voltada para o contexto bélico — migrou para a indústria, onde passou a representar o esforço contínuo de garantir a disponibilidade e confiabilidade dos sistemas produtivos. Na década de 1950, nos Estados Unidos, a manutenção passou a ser reconhecida como um campo estratégico dentro das operações industriais, sendo adotada de forma sistemática para evitar falhas e maximizar o desempenho dos equipamentos.

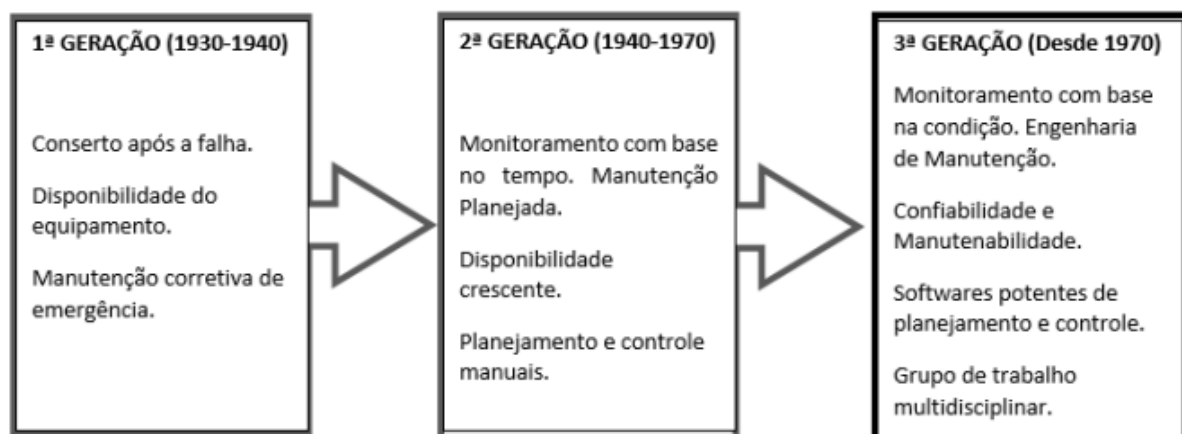
Nesse sentido, Slack, Chambers e Johnston (2008) reforçam que a manutenção moderna deixou de ser apenas uma atividade de suporte e passou a ocupar posição central na gestão da produção. A sua eficácia está diretamente atrelada à capacidade de prevenir falhas, garantir a continuidade operacional e melhorar o desempenho global das instalações físicas. Em setores como aviação, petroquímica e energia, onde a confiabilidade dos ativos é crucial, a manutenção é vista como uma função crítica para a sustentabilidade e competitividade da organização.

A partir dessa evolução, surge também a necessidade de desenvolver novas abordagens e tecnologias, como a manutenção preditiva baseada em sensores inteligentes, análise de dados em tempo real e sistemas de monitoramento contínuo. Esses recursos ampliam a capacidade de antecipação a falhas e permitem decisões mais assertivas, integrando a manutenção ao sistema de gestão estratégica da produção e da qualidade. Dessa forma, a manutenção industrial do século XXI

consolida-se como um campo dinâmico, multidisciplinar e fundamental para a excelência operacional.

As gerações da manutenção e sua evolução pode ser dividida conforme a figura 1, a seguir:

Figura 1: Gerações da Manutenção



Fonte: Adaptado Moraes (2004)

Onde, como explicado em SIEVULI (2001, p.8 apud MORAES, 2004):

– **1ª geração:** caracteriza-se pelo conserto após a falha ou pela reação à quebra, ou seja, manutenção reativa ou emergencial;

– **2ª geração:** foi marcada por uma abordagem de manutenção baseada em intervenções periódicas, com o objetivo de preservar a vida útil dos equipamentos e aumentar a disponibilidade. As ações eram realizadas conforme o tempo de uso, sem considerar o aproveitamento máximo dos componentes, o que resultava em altos custos de manutenção em relação aos benefícios obtidos. Além disso, os registros de atividades e ocorrências eram, em sua maioria, feitos manualmente, até o início da adoção de computadores robustos, porém lentos, para auxiliar na execução dessas tarefas;

– **3ª geração:** destaca-se por um expressivo aumento na disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, além da melhoria na relação custo-benefício das ações de manutenção. As intervenções passaram a ser orientadas pela análise da condição dos ativos e pelo risco de falha, contribuindo para uma maior qualidade dos produtos, melhor controle dos riscos à saúde e segurança dos trabalhadores e maior preocupação com o meio ambiente. Também se destaca o uso de computadores

portáteis e ágeis, com softwares avançados voltados à gestão da manutenção, além da formação de grupos de trabalho multidisciplinares.

Alguns autores também mencionam uma 4ª geração, surgida a partir da década de 2010, marcada pela ascensão da Indústria 4.0, que integra tecnologias avançadas como a Internet das Coisas (IoT²). Essa abordagem possibilita o monitoramento contínuo dos equipamentos por meio de sensores *online* ou automatizados, viabilizando análises preditivas em tempo real e reforçando o conceito de manutenção baseada na condição. Essa nova geração é caracterizada pela redução de custos, diminuição de paradas não planejadas e eliminação de desperdícios, promovendo intervenções de manutenção mais assertivas e eficientes. A figura 2, a seguir, ilustra a evolução das gerações da manutenção, destacando suas características e incluindo a geração mais recente.

Figura 2 - 4ª Geração da Manutenção



Fonte: Adaptado Viana (2002)

² Internet of Things

1.1. TIPOS DE MANUTENÇÃO

Como foi abordado, há diversos tipos de manutenção e diversos autores abordam sua importância e destacam métodos diferentes que são adotados para suas utilizações.

A manutenção pode ser dividida normalmente em três tipos, que são eles a manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva. A escolha do tipo de manutenção a ser adotada impacta diretamente na produtividade, nos custos operacionais e na vida útil dos ativos.

1.1.1. MANUTENÇÃO CORRETIVA

A manutenção corretiva é aquela realizada após a falha de um equipamento. Apesar de ser a forma mais simples e imediata de manutenção, ela pode gerar custos elevados devido à parada inesperada da produção, danos secundários em outros componentes e maior consumo de recursos para reparo de urgência. Esse tipo de manutenção é geralmente adotado em situações em que os custos de falha são aceitáveis ou em equipamentos não críticos.

1.1.2. MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A manutenção preventiva tem como objetivo evitar que as falhas ocorram, sendo baseada em inspeções e intervenções periódicas programadas, independentemente do estado real do equipamento. Embora possa reduzir significativamente o número de falhas inesperadas, essa abordagem nem sempre é eficiente, pois pode levar a substituições desnecessárias de peças ainda em boas condições ou falhas entre os intervalos de manutenção.

1.1.3. MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva, por sua vez, busca identificar sinais de desgaste ou falha iminente por meio de monitoramento e análise de dados coletados em tempo real ou em intervalos regulares. Técnicas como análise de vibração, termografia, ultrassom e análise de óleo são amplamente utilizadas para avaliar o estado dos componentes e planejar intervenções apenas quando realmente necessário, otimizando recursos e reduzindo paradas não planejadas.

Dentro da manutenção preditiva, destaca-se a manutenção baseada na condição (CBM – Condition Based Maintenance). Essa abordagem monitora continuamente variáveis específicas de desempenho e condição dos ativos, como temperatura, vibração, velocidade e aceleração. Com o avanço da tecnologia, sensores inteligentes e sistemas de IoT (Internet das Coisas) têm sido empregados para coletar esses dados automaticamente, alimentando sistemas de análise em tempo real.

A análise preditiva com sensores automatizados permite antecipar falhas com alta precisão. Utilizando algoritmos de machine learning e inteligência artificial, esses sistemas são capazes de identificar padrões de degradação, prever o tempo restante de vida útil dos componentes e recomendar ações corretivas com base em dados históricos e em tempo real. Essa abordagem transforma a manutenção industrial em um processo mais estratégico, confiável e orientado por dados, contribuindo para a tomada de decisões mais assertivas e redução de custos operacionais.

Em resumo, a escolha e combinação adequada dos tipos de manutenção corretiva, preventiva, preditiva e baseada na condição, devem levar em consideração a criticidade dos ativos, o custo de parada e a maturidade tecnológica da empresa. A tendência atual é a adoção de soluções preditivas automatizadas, que promovem uma gestão mais eficiente dos ativos e uma operação industrial mais inteligente e sustentável.

1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO

A transformação digital tem promovido mudanças profundas na forma como as indústrias lidam com seus dados e processos operacionais. No contexto da manutenção industrial, a gestão eficiente dos indicadores de desempenho (KPIs) tornou-se uma ferramenta estratégica essencial. Ela permite não apenas monitorar a

saúde dos ativos em tempo real, mas também antecipar falhas, otimizar intervenções e reduzir custos com paradas não planejadas.

Ao ingressar na equipe de manutenção de uma indústria do setor agroindustrial brasileiro, foram identificadas diversas limitações nos processos de controle e análise dos KPIs. A coleta de dados ainda era majoritariamente manual, realizada por meio de planilhas Excel, o que tornava o processo suscetível a erros, retrabalho e falta de padronização. A atualização dos indicadores podia levar até 15 dias após o fechamento mensal, comprometendo a capacidade de resposta rápida a desvios de performance. Além disso, a ausência de *dashboards* em tempo real impedia o monitoramento contínuo em grande parte das unidades da empresa, limitando a visibilidade gerencial e dificultando ações corretivas tempestivas.

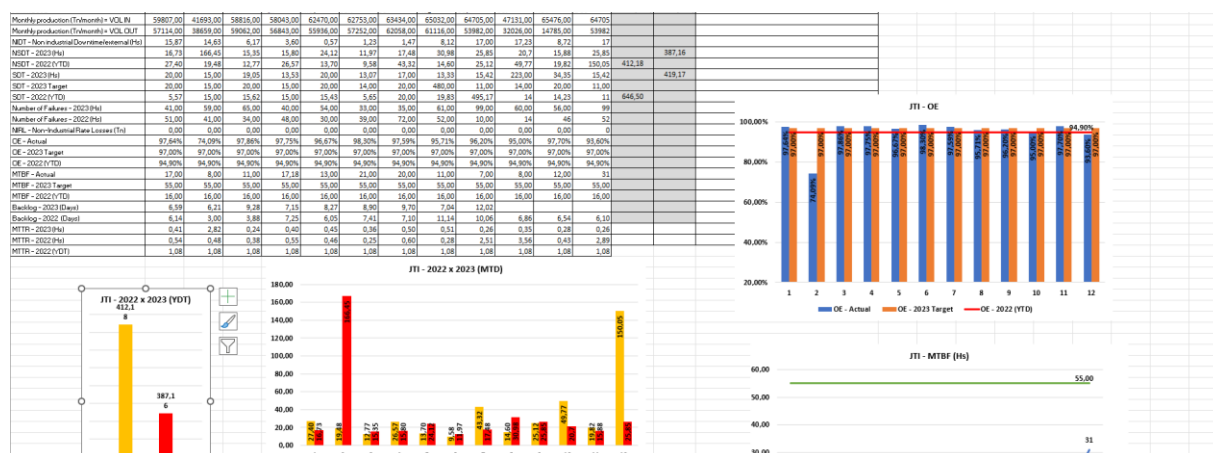
Há também um outro ponto negativo identificado, as unidades realizavam análises preditivas com periodicidade mensal, essa frequência ainda se mostrava insuficiente para mitigar completamente os riscos operacionais. A depender da criticidade do ativo e da dinâmica do processo produtivo, poderiam ocorrer falhas entre os ciclos de análise que não são identificadas a tempo, resultando em quebras inesperadas e impactando diretamente a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos.

Esse cenário evidenciou a necessidade de modernização e automação na gestão de dados da manutenção, com a implementação de soluções digitais que integrem fontes de dados, atualizem indicadores de forma automática e forneçam painéis interativos para apoio à tomada de decisão em todos os níveis da organização.

1.3. PROBLEMA

Ao ingressar no time de manutenção industrial, foi identificada uma limitação significativa no controle dos Indicadores Chave de Performance (KPIs) das filiais de uma indústria do agronegócio da região. O cenário anterior era caracterizado por uma gestão morosa, onde os dados levavam até 15 dias para serem atualizados após o fechamento do mês. Além disso, o controle era realizado predominantemente de forma individualizada, por meio de gráficos e tabelas no Excel (Figura 3), sem uma padronização ou integração que garantisse a confiabilidade das informações entre as diferentes unidades.

Figura 3 - Modelo Inicial de Análise Gerencial



Fonte: Próprio Autor

Após a consolidação dos dados, as apresentações aos times de gestão eram realizadas por meio de slides desenvolvidos no Microsoft® PowerPoint. No entanto, toda a construção dessas apresentações, incluindo gráficos, análises e comentários sobre os eventos do mês, era feita de forma manual e posterior aos acontecimentos. Como resultado, havia um grande intervalo entre o encerramento do mês e a realização das reuniões de apresentação, chegando, em alguns casos, a um atraso de até 30 dias. Esse descompasso temporal comprometia a efetividade da análise crítica e dificultava a implementação de ações corretivas em tempo hábil.

Somado a essas dificuldades, as análises preditivas dos ativos críticos eram realizadas com periodicidade mensal, por meio da visita de colaboradores de uma empresa terceirizada que se deslocavam até as fábricas para coletar manualmente os dados de cada equipamento. Esse modelo, além de gerar um intervalo considerável entre uma análise e outra, não permitia a detecção em tempo real de falhas iminentes ou alterações no comportamento dos ativos, comprometendo a capacidade de resposta da equipe de manutenção. Em um cenário industrial cada vez mais dinâmico e orientado por dados, esse tipo de abordagem mostra-se obsoleto e inviável, visto que não acompanha a velocidade exigida pelas operações modernas nem promove uma gestão preditiva eficiente.

A abordagem manual e fragmentada na gestão dos indicadores e gestão dos ativos de alta criticidade para as filiais geravam um panorama inconsistente, dificultando a comparação de desempenho entre unidades, a identificação de padrões

recorrentes e a tomada de decisões ágeis e embasadas em dados confiáveis e atualizados. A ausência de uma estrutura automatizada comprometia o acompanhamento em tempo real das ocorrências críticas de manutenção, impactando diretamente a eficiência operacional e a disponibilidade dos ativos.

O elevado tempo necessário para a atualização dos dados, a dependência de processos manuais suscetíveis a erros, além do longo intervalo na análise preditiva dos equipamentos críticos das filiais, promovia uma gestão predominantemente reativa. Nessa condição, a empresa perdia a capacidade de resposta rápida frente a anomalias e eventos que causavam perdas produtivas. Diante desse cenário, tornou-se evidente a necessidade de implementar soluções tecnológicas mais robustas, dinâmicas e integradas, capazes de aprimorar a governança dos dados industriais e transformar informações dispersas em inteligência acionável para todos os níveis da organização.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver e implementar soluções automatizadas para a coleta de dados de performance das filiais de uma indústria, possibilitando sua utilização em *dashboards* integrados e atualizados automaticamente para a gestão dos KPIs industriais. O objetivo é promover maior eficiência operacional, visibilidade dos resultados e agilidade na tomada de decisões.

Além disso, implementar um sistema de coleta automatizada ou *online* de dados de condição como temperatura, vibração e aceleração dos equipamentos críticos, viabilizando análises preditivas em tempo real ou quase em tempo real. Essa abordagem visa maximizar a vida útil dos componentes e reduzir os custos de manutenção, garantindo respostas mais rápidas e embasadas às necessidades operacionais.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mapear e compreender os processos atuais de gestão de indicadores;
- Automatizar a coleta de dados de paradas de fábrica por meio de um aplicativo desenvolvido em Power Apps;
- Integrar os dados coletados aos *dashboards* no Power BI, com atualizações periódicas;
- Calcular automaticamente indicadores como MTBF, MTTR, NSDT, entre outros
- Disponibilizar acesso contínuo aos dados para o time de gestão, com visualização em tempo real;
- Facilitar a identificação rápida dos principais agentes causadores de perdas, permitindo a priorização de ações corretivas;
- Implementar sistema de coleta automatizada de dados dos ativos da fábrica para análise preditiva.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. INDÚSTRIA 4.0 E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

A Indústria 4.0 representa a quarta revolução industrial e está baseada na integração de tecnologias digitais aos processos produtivos, este conceito, como explica SACOMANO (2018, p.23), surgiu em 2011, quando o governo alemão lançou durante a Feira de Hannover, um projeto denominado Plataforma Indústria 4.0 (Platform Industrie 4.0), com o objetivo de desenvolver alta tecnologia de modo a fazer com que sistemas automatizados que controlam os equipamentos industriais pudessem se comunicar trocando, assim, informações/dados entre máquinas e seres humanos, de forma a otimizar todo o processo de produção.

Essa integração ocorre devido a integração dos agentes produtivos e a troca automática de informação assumindo um determinado grau de consciência. Esta consciência torna o sistema produtivo inteligente o suficiente para prever o roteiro de fabricação e manter as máquinas em estado de alerta para serem acionadas. Essas fábricas, capazes de controlar seu processo de produção e gerenciar o sistema de fabricação, são chamadas de Fábricas Inteligentes (QIN, LIU, e GROSVENOR, 2016). A competição global tem obrigado as empresas a atender as demandas dos clientes ao menor preço e prazo possíveis.

Com isso, as empresas buscam novas tecnologias para melhorar seus processos industriais, tornando-os mais ágeis e reduzindo o custo operacional (FULLERTON, KENNEDY e WIDENER, 2014).

Figura 4 - Indústria 4.0



Fonte: Adaptado Sacomano (2018)

Essa transformação digital, como detalha Schwab (2016) o primeiro conceito se refere a um conjunto tecnológico direcionado à produção, e o segundo apresenta uma perspectiva composta por três tipos de tecnologias: biológica, digital e física. A categoria digital, engloba -a adoção de sistemas ciberfísicos, Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), computação em nuvem e análise avançada de dados, possibilitando operações mais inteligentes, conectadas e autônomas.

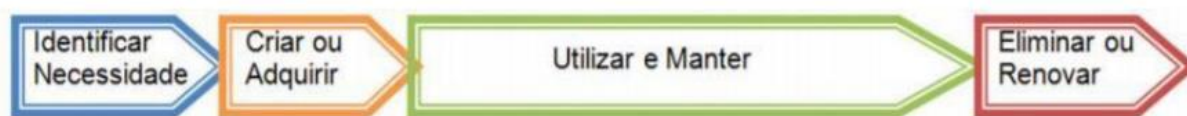
No contexto da manutenção industrial, a Indústria 4.0 promove uma mudança significativa de paradigma, ao permitir decisões baseadas em dados em tempo real, automação de processos e maior capacidade de prever falhas. A digitalização das atividades operacionais contribui para respostas mais ágeis às demandas da produção, que tem sido o foco principal das organizações, junto ao controle de custos e à garantia da qualidade. No entanto, como explicado por Castro (2013), esse foco impacta o surgimento de novas métricas como a confiabilidade, a disponibilidade e a eficiência dos ativos industriais, pois esses indicadores impõem restringiriam os tradicionais indicadores produtivos.

Nesse cenário, a transformação digital torna-se um elemento-chave para a manutenção preditiva, permitindo a coleta contínua de dados por sensores conectados e a análise desses dados por meio de algoritmos inteligentes. A adoção dessas tecnologias possibilita a antecipação de falhas e a programação de intervenções de forma estratégica, reduzindo paradas não planejadas e otimizando recursos. Com a conectividade entre máquinas, sistemas e pessoas, cria-se um ambiente industrial mais transparente e eficiente, no qual as decisões são guiadas por dados confiáveis e em tempo real.

2.2. GESTÃO DE ATIVOS NA INDÚSTRIA 4.0

A gestão do ciclo de vida dos ativos é uma área que está relacionada a gestão da manutenção. A gestão de ativos é a gestão do ciclo de vida dos ativos, acompanhando estes ativos desde a sua fase de projeto e aquisição, até a sua desativação, tendo como responsabilidade inspecionar e monitorar as condições dos ativos realizar testes funcionais, reparar, renovar e/ou estender a vida útil deles. Como ilustrado por Rui Coutinho (2017) na figura 5 adiante:

Figura 5 - Ciclo de Vida de um Ativo



Fonte: Rui Coutinho (2017)

O avanço tecnológico com a Indústria 4.0 marca uma nova era na gestão de ativos industriais, caracterizada pela integração de tecnologias digitais avançadas, como Internet das Coisas (IoT), Big Data, Inteligência Artificial (IA) e Computação em Nuvem. Esses recursos permitem o monitoramento em tempo real de máquinas, equipamentos e sistemas produtivos, proporcionando uma visão abrangente e precisa do desempenho dos ativos. Isso permite à equipe de manutenção, maximizar o valor fornecido pelos ativos ao longo do seu ciclo de vida, o que é um desafio das organizações (IBM, 2016; Maletič et al., 2020). Com sensores inteligentes e conectividade contínua, é possível coletar dados operacionais de forma automática, eliminando a dependência de registros manuais e aumentando a confiabilidade das informações.

Para Brous et al. (2018) Candón et al. (2019), a gestão de ativos constitui um processo de negócio altamente dependente de grandes quantidades de dados, dos quais podem ser extraídas informações de suporte à tomada de decisão ao longo de todo o ciclo de vida dos ativos. Com o uso de tecnologia como a de sensores inteligentes, a gestão de ativos evolui de uma abordagem reativa ou corretiva para uma estratégia preditiva e prescritiva. A análise avançada de dados permite identificar padrões de falha, prever falhas antes que ocorram e recomendar ações de manutenção com base em algoritmos e modelos preditivos. Isso reduz o tempo de inatividade não planejado, aumenta a disponibilidade dos ativos e otimiza os recursos de manutenção, resultando em maior eficiência operacional e redução de custos.

Além disso, a digitalização facilita a integração entre diferentes áreas da empresa, promovendo uma gestão mais estratégica e alinhada aos objetivos de negócio. As decisões deixam de ser baseadas apenas na experiência e passam a considerar indicadores em tempo real e simulações de cenários. A rastreabilidade, a segurança das informações e a capacidade de adaptação a mudanças são ampliadas com plataformas integradas de gestão de ativos. Com isso, as organizações ganham

competitividade, sustentabilidade e capacidade de resposta em um ambiente industrial cada vez mais dinâmico e exigente (Petchrompo e Parlikad, 2019).

2.3. GESTÃO DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

A gestão da manutenção industrial desempenha um papel estratégico na garantia da disponibilidade, confiabilidade e desempenho dos ativos produtivos. Seu objetivo é minimizar falhas, otimizar recursos e contribuir para a produtividade e segurança dos processos industriais. Para isso, são utilizados indicadores de desempenho (KPI's), que com base na obra "*Key Performance Indicators: developing, implementing and using winning KPIs*" de David Parmenter (Parmenter, 2020), podem ser definidos como:

“Um conjunto selecionado de métricas que se concentram nas variáveis críticas para o sucesso da organização e que são acordadas entre a gerência e a equipe, quantificando as realizações e as lacunas entre os objetivos estabelecidos e os resultados alcançados, em um período definido de tempo”.

A importância de se medir o desempenho corretamente se relaciona diretamente com a necessidade de se obter informações precisas e confiáveis para embasar a gestão e a tomada de decisões, contribuindo para a melhoria contínua da organização.

Dentre os principais indicadores de manutenção, destacam-se:

2.3.1. SDT (*Scheduled Downtime*)

Este indicador mede o tempo de indisponibilidade de um determinado equipamento ou sistema, mas o contrário do NSDT, é medido o tempo em que ele está em manutenção planejada, seja inspeções ou eventuais preventivas;

$$SDT = \sum \text{Duração de Eventos de Inspeção, Manutenção Preventiva (minutos ou horas)}$$

2.3.2. NIDT (No Industrial Downtime (External))

O NIDT, também é medido em tempo, este, porém, quantifica apenas interrupções por fatores não industriais, como interrupções por demanda comercial, falta de matéria prima e insumos, e quedas de energia por conta da fornecedora local;

$$NIDT = \sum \text{Duração de Eventos de Quedas de Energia Externa, Eventos Climáticos, Greves, Paradas por falta de Insumos ou Estoque Cheio}$$

2.3.1. NSDT (No Scheduled Downtime (Internal))

Trata-se do tempo que o sistema ou equipamento esteve indisponível, ou seja, o tempo em que esse sistema esteve em falha ou em quebra e impactou a produtividade;

$$NSDT = \sum \text{Duração de Eventos de Quebras (minutos ou horas)}$$

2.3.2. OE (Operational Efficiency)

É uma métrica fundamental para avaliar o desempenho de um processo produtivo. Ele é frequentemente utilizado em conjunto com outros indicadores de produtividade e eficiência na indústria, como o OEE (Overall Equipment Effectiveness, ou Eficiência Global dos Equipamentos), mas possui suas particularidades.

OE (Operational Efficiency), ou Eficiência Operacional, mede o quanto eficientemente um processo, linha ou equipamento está operando em relação ao seu potencial ideal, considerando apenas as perdas de velocidade e paradas operacionais, mas desconsiderando perdas por qualidade (como refugo ou retrabalho). A equação do OE, pode ser definida como:

$$OE = \left(\frac{(T_{\text{período}} - SDT - NIDT) - NSDT}{T_{\text{período}} - SDT - NIDT} \right) * 100$$

2.3.3. MTBF (*Mean Time Between Failures*)

O MTBF (*Mean Time Between Failures*) mede o tempo médio entre falhas de um ativo. É um indicador chave da confiabilidade de equipamentos e fundamental para o planejamento de manutenção preventiva e preditiva.

Esse indicador se resume no tempo médio esperado entre falhas de um equipamento, sistema ou componente. Trata-se de uma medida estatística que indica a confiabilidade de um sistema, sendo um importante indicador para o time de gestão. O MTBF pode ser calculado a partir da equação a seguir:

$$MTBF = \left(\frac{(\text{Tempo Período} - SDT - NIDT - NSDT)}{\text{Número de Quebras}} \right)$$

2.3.4. MTTR (*Mean Time to Repair*)

MTTR, ou Tempo Médio para Reparo, é uma métrica que mede o tempo médio necessário para restaurar um equipamento ou sistema após uma falha. Ele inclui o tempo desde a detecção da falha até a retomada completa das operações, abrangendo atividades como diagnóstico, reparo, testes e, em alguns casos, notificação e deslocamento. Um MTTR baixo indica uma boa eficiência na manutenção corretiva e menor impacto nas operações. O MTTR pode ser calculado a partir da equação a seguir:

$$MTTR = \left(\frac{NSDT}{\text{Número de Quebras}} \right)$$

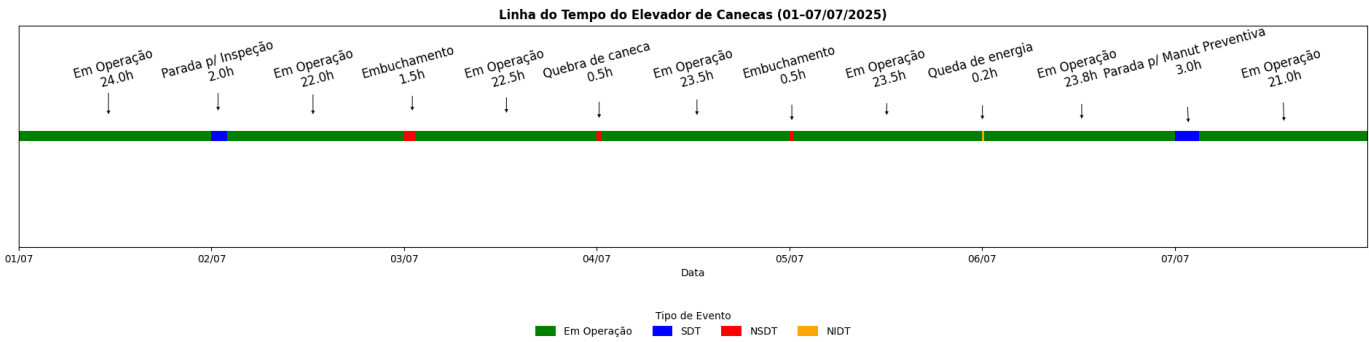
Para exemplificar como são contabilizados esses KPI's, imagine um elevador de canecas simples para transporte de grãos em uma indústria de processamento de soja, como o da figura 6, esse elevador é projetado para operar por todo o dia sem interrupções. A figura 7, ilustra a performance do equipamento no período de uma semana:

Figura 6 - Modelo 3D Elevador de Canecas



Fonte: Próprio Autor

Figura 7 - Linha do Tempo Exemplo



Fonte: Próprio Autor

A partir dos dados, pode-se resumir as interrupções do equipamento como na seguinte tabela e classificar em interrupções de SDT, NSDT ou NIDT como já ilustrado na tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Resumo de Eventos Elevador de Canecas

Data	Descrição	Duração parada (h)	Classificação
02/07/2025	Parada p/ Inspeção	2,0	SDT
04/07/2025	Embuchamento	1,5	NSDT
04/07/2025	Quebra de caneca	0,5	NSDT
05/07/2025	Embuchamento	0,5	NSDT
06/07/2025	Queda de energia	0,25	NIDT
07/07/2025	Parada p/ Manut Preventiva	3,0	SDT

Com base na tabela, é possível resumir os indicadores base para os cálculos como na tabela 2:

Tabela 2 - Dados Iniciais

Tempo Período (Hrs)	168
Tempo Em Operação (Hrs)	160,25
SDT (Hrs)	5
NSDT (Hrs)	2,5
NIDT (Hrs)	0,25
Número de Quebras (Qtd)	3
Interrupções SDT (Qtd)	2
Interrupções NIDT (Qtd)	1

Seguindo com os cálculos de OE (%), MTBF e MTTR:

- O cálculo do OE consiste em:

$$OE = \left(\frac{(T_{\text{período}} - SDT - NIDT) - NSDT}{T_{\text{período}} - SDT - NIDT} \right) * 100$$

$$OE = \left(\frac{(168 - 5 - 0,25) - 2,5}{168 - 5 - 0,25} \right) * 100$$

$$OE \approx 98,46 \%$$

- O cálculo do MTBF consiste em:

$$MTBF = \left(\frac{(Tempo Período - SDT - NIDT - NSDT)}{Número de Quebras} \right)$$

$$MTBF = \left(\frac{(168 - 5 - 0,25 - 2,5)}{3} \right)$$

$$MTBF \approx 53,42 h$$

- O cálculo do MTTR consiste em:

$$MTTR = \left(\frac{NSDT}{\text{Número de Quebras}} \right)$$

$$MTTR = \left(\frac{2,5}{3} \right)$$

$$MTTR = 0,83 \text{ h} \approx 49,8 \text{ min}$$

A utilização consistente desses indicadores permite diagnósticos precisos das condições operacionais, contribuindo para a definição de estratégias corretivas e preventivas baseadas em dados confiáveis, alinhadas aos princípios da manutenção preditiva e da Indústria 4.0.

2.4. BUSINESS INTELLIGENCE (BI) NA INDÚSTRIA

Business Intelligence (BI) é um conjunto de metodologias, processos e tecnologias voltado à transformação de dados brutos em informações relevantes para a tomada de decisões estratégicas. No ambiente industrial, o BI integra diversas fontes de dados como sistemas de manutenção, ERPs (*Enterprise Resource Planning*), sensores e planilhas e fornece *dashboards* visuais e interativos que apoiam a gestão em tempo real.

A principal vantagem do BI está em sua capacidade de gerar insights rápidos, visualmente compreensíveis e acessíveis a todos os níveis da organização. Na área de manutenção, ele permite análises detalhadas do desempenho dos equipamentos, identificação de gargalos e antecipação de falhas.

Além de fornecer uma visão consolidada e em tempo real dos dados operacionais, o BI na indústria impulsiona a eficiência ao facilitar a detecção de padrões e comportamentos anormais que podem indicar falhas iminentes. A integração com tecnologias como Internet das Coisas (IoT) e Machine Learning potencializa ainda mais essa capacidade, permitindo a implementação de manutenção preditiva e redução de paradas não planejadas. Dessa forma, o BI não apenas apoia decisões estratégicas, mas também contribui diretamente para o aumento da disponibilidade dos ativos, otimização de recursos e redução de custos operacionais.

2.5. POWER PLATFORM (POWER BI, POWER APPS, POWER AUTOMATE, FABRIC)

Figura 8 - Conjunto de Ferramentas Microsoft Power Platform



Fonte: Microsoft Learn

A Power Platform, desenvolvida pela Microsoft®, é um ecossistema integrado de ferramentas que permite o desenvolvimento de soluções completas para automação, análise e coleta de dados. Composta por várias ferramentas, a Power Platform oferece uma abordagem holística para a transformação digital nas empresas, especialmente no setor industrial. De acordo com a Microsoft® (2023), a Power Platform pode ser definida como “um conjunto de serviços personalizados, fluxos de trabalho automatizados e painéis de análise de dados”

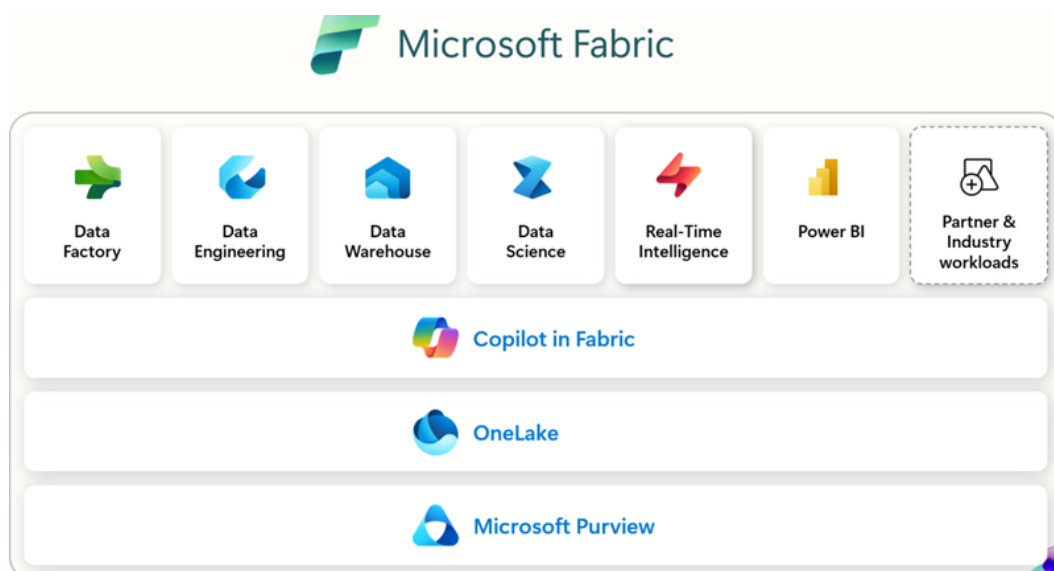
Trata-se de um conjunto de ferramentas low-code que permite a criação de soluções de negócios de forma rápida, integrada e acessível. Composta por quatro principais componentes Power BI, Power Apps, Power Automate e Power Virtual Agents, a plataforma possibilita a análise de dados, automação de processos, desenvolvimento de aplicativos personalizados e criação de *chatbots* inteligentes. Por estar integrada ao ecossistema Microsoft® (como Dynamics 365, Microsoft® 365 e Azure), a Power Platform oferece uma experiência unificada e segura para usuários corporativos. Na indústria, ela tem sido amplamente adotada para otimizar fluxos de trabalho, monitorar indicadores em tempo real e reduzir a dependência de desenvolvedores, promovendo maior agilidade e inovação nos processos operacionais.

O conjunto trabalha também com o Microsoft® Fabric (Figura 9), que oferece uma arquitetura moderna para análise de dados, reunindo serviços de integração, engenharia de dados e inteligência artificial em uma única plataforma.

Essas ferramentas, quando utilizadas de forma integrada, oferecem alto grau de personalização, escalabilidade e eficiência, sendo ideais para ambientes industriais que demandam monitoramento contínuo e reações rápidas.

A integração da Power Platform com tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT) e o *Machine Learning*, potencializa ainda mais suas capacidades, facilitando a implementação de soluções de manutenção preditiva e reduzindo paradas não planejadas. Dessa forma, a Power Platform não apenas apoia decisões estratégicas, mas também contribui diretamente para o aumento da disponibilidade dos ativos, otimização de recursos e redução de custos operacionais. Por meio de uma abordagem integrada e holística, a Power Platform ajuda as empresas a explorar o potencial completo de seus dados e a transformar a maneira como operam e tomam decisões.

Figura 9 - Conjunto Microsoft Fabric



Fonte: Microsoft Learn

2.5.1. POWER BI

O Power BI é a ferramenta de Business Intelligence da Microsoft® que permite transformar dados brutos em *dashboards* interativos e visualmente intuitivos. Na indústria, ele é amplamente utilizado para monitorar indicadores de desempenho (KPIs), analisar falhas em equipamentos, acompanhar ordens de manutenção e cruzar informações de diferentes sistemas (como ERPs, sensores IoT e planilhas de controle). Com a atualização em tempo real e recursos de compartilhamento em nuvem, o Power BI proporciona uma visão clara e acessível dos processos industriais, contribuindo para decisões ágeis e baseadas em dados.

2.5.2. POWER APPS

O Power Apps permite a criação de aplicativos personalizados com pouco ou nenhum código, otimizando fluxos de trabalho específicos da indústria. Por exemplo, é possível desenvolver aplicativos para abertura e acompanhamento de ordens de serviço, checklists de manutenção preventiva, inspeções em campo ou registro de falhas operacionais. Sua compatibilidade com dispositivos móveis garante que os operadores possam interagir com os dados diretamente no chão de fábrica, mesmo sem acesso a computadores. Isso reduz o uso de papel, padroniza registros e melhora a rastreabilidade das informações.

2.5.3. POWER AUTOMATE

O Power Automate (anteriormente Microsoft® Flow) é a ferramenta de automação de processos da plataforma. Ele permite criar fluxos automáticos entre diferentes sistemas e serviços, como envio de alertas por e-mail quando há falhas em sensores, atualização automática de planilhas com novos dados de produção ou integração entre um formulário de inspeção e um banco de dados central. Essa automação reduz tarefas repetitivas, elimina erros manuais e melhora a eficiência das operações industriais.

2.5.4. POWER VIRTUAL AGENTS

O Power Virtual Agents é uma ferramenta poderosa da Microsoft® que permite a criação de chatbots inteligentes sem a necessidade de habilidades avançadas em programação. Com ele, as empresas podem automatizar interações com clientes, fornecer suporte 24/7 e melhorar a eficiência operacional. A plataforma é intuitiva e oferece uma interface gráfica amigável, facilitando a criação e personalização dos bots. Além disso, o Power Virtual Agents se integra perfeitamente com outras ferramentas do Microsoft® Power Platform, como Power Automate e Power BI, permitindo uma automação completa e uma análise de dados aprofundada.

2.5.5. MICROSOFT® FABRIC

Trata-se uma plataforma inovadora que integra diversas ferramentas e serviços da Microsoft® para oferecer uma solução completa de análise de dados e inteligência artificial. Ele combina recursos do Power BI, Azure Synapse Analytics, e Azure Data Factory, permitindo que as empresas colem, transformem, analisem e visualizem dados de maneira eficiente e integrada. Com o Microsoft® Fabric, é possível criar pipelines de dados, desenvolver modelos de machine learning e gerar relatórios interativos, tudo em um único ambiente. Essa integração facilita a colaboração entre equipes e acelera a tomada de decisões baseada em dados.

Essas ferramentas, quando utilizadas de forma integrada, oferecem alto grau de personalização, escalabilidade e eficiência, sendo ideais para ambientes industriais que demandam monitoramento contínuo e reações rápidas.

2.6. AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS E ANÁLISE DE DADOS

A automação de processos tem como objetivo reduzir ou eliminar tarefas repetitivas e manuais, otimizando o tempo, minimizando erros humanos e aumentando a confiabilidade das informações. No contexto industrial, isso se traduz na substituição de planilhas e controles manuais por sistemas integrados capazes de coletar, processar e apresentar dados de forma automatizada e em tempo real. Essa transformação está alinhada aos pilares da Indústria 4.0, que busca maior

conectividade, flexibilidade e autonomia nos processos produtivos por meio do uso de tecnologias digitais.

A análise de dados, por sua vez, complementa esse processo ao empregar técnicas estatísticas, algoritmos computacionais e ferramentas de visualização para interpretar grandes volumes de informações. A sinergia entre automação e análise de dados permite identificar padrões de falhas, antecipar anomalias operacionais e embasar a tomada de decisões em evidências concretas. Além disso, viabiliza a implementação de estratégias como a manutenção preditiva, reduzindo paradas não programadas e aumentando a disponibilidade dos ativos. Com isso, a gestão da manutenção torna-se mais estratégica e proativa, direcionando recursos de forma mais eficiente e eficaz, e contribuindo para a melhoria contínua da performance industrial.

3. METODOLOGIA

3.1. TIPO DE PESQUISA

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza exploratória e abordagem qualitativa com suporte quantitativo. A pesquisa aplicada visa solucionar um problema prático identificado no ambiente de trabalho, neste caso, a dificuldade de atualização e análise dos indicadores de manutenção industrial. A natureza exploratória justifica-se pela necessidade de compreender melhor as ferramentas tecnológicas envolvidas e suas aplicações específicas no contexto da manutenção. A abordagem qualitativa é predominante na análise dos processos e impactos da automação, enquanto os dados quantitativos são utilizados na mensuração dos resultados obtidos com a implementação do projeto.

De acordo com Gerhardt e Silveira (2009), a pesquisa aplicada tem como finalidade gerar conhecimentos voltados à aplicação prática, visando à resolução de problemas específicos e contemplando realidades e interesses locais. Nesse sentido, a presente investigação enquadra-se, quanto à sua natureza, como uma pesquisa aplicada, uma vez que se fundamenta em conhecimentos advindos de estudos teóricos e revisões bibliográficas para o desenvolvimento e a implementação de um sistema de automação de relatórios voltado ao setor de manutenção da empresa analisada.

3.2. LEVANTAMENTO DE CENÁRIO ATUAL

O projeto foi iniciado com o levantamento da situação atual da gestão dos KPI's nas filiais industriais. Nessa etapa, foram mapeados os fluxos de dados existentes, os métodos de coleta e as ferramentas utilizadas para a consolidação dos indicadores. Constatou-se que o processo era majoritariamente manual e descentralizado, com registros mantidos em planilhas Excel e atualizações realizadas com atraso. A coleta de dados dependia do preenchimento manual de um arquivo com layout padronizado, conforme demonstrado na Tabela 3, sendo responsabilidade das equipes operacionais após o encerramento de cada mês. Essa dinâmica comprometia a

visibilidade em tempo real e dificultava a identificação ágil de falhas. O diagnóstico inicial foi fundamental para evidenciar os principais gargalos do processo e direcionar o desenvolvimento de uma solução mais eficiente e automatizada.

Tabela 3 - Layout de Coleta de Dados

FIMMO000	202201
Monthly production (Tn/month) = VOL IN	
Monthly production (Tn/month) = VOL OUT	
NIDT - Non industrial Downtime/external (Hs)	
NSDT - Non scheduled Downtime/internal (Hs)	
SDT - Scheduled Downtime/Shutdowns (Hs)	
NIRL - Non-Industrial Rate Losses (Tn)	
Number of failures	

Os dados preenchidos pelas equipes operacionais eram utilizados pela gestão global para o cálculo dos principais indicadores de manutenção das filiais. Essas informações eram então dispostas em um portal web, no qual o time de gestão acessava os resultados para a elaboração de relatórios e análises, conforme já apresentado na Figura 3. O layout dos dados nesse portal era estruturado conforme ilustrado na Figura 10 a seguir:

Figura 10 - Layout de disposição dos dados

KPI	January	February	March	April	May	June	July	August	September
Monthly production (Tn/month) = VOL IN	80399	76041	84335	79823	84448				
Monthly production (Tn/month) = VOL OUT	64169	33995	60940	63002	67526				
NIDT - Non industrial Downtime/external (Hs)	7.43	7.25	3.83	5.37	3.25				
NIRL - Non-Industrial Rate Losses (Tn)		0							
NSDT - Non scheduled Downtime/internal (Hs)	51.43	24.52	24.35	19.98	16.13				
Number of Failures	76	58	58	42	61				
SDT - Scheduled Downtime/Shutdowns (Hs)	4.75	20	16.57	16.07	0				

Fonte: Próprio Autor

Paralelamente, constatou-se a necessidade de padronização metodológica para a análise de falhas em eventos críticos que impactavam diretamente os resultados das unidades. O processo vigente carecia de uniformidade, e as informações obtidas não apresentavam a objetividade necessária para subsidiar

planos de ação eficazes baseados nas “lições aprendidas” a partir de quebras com grande impacto operacional e financeiro.

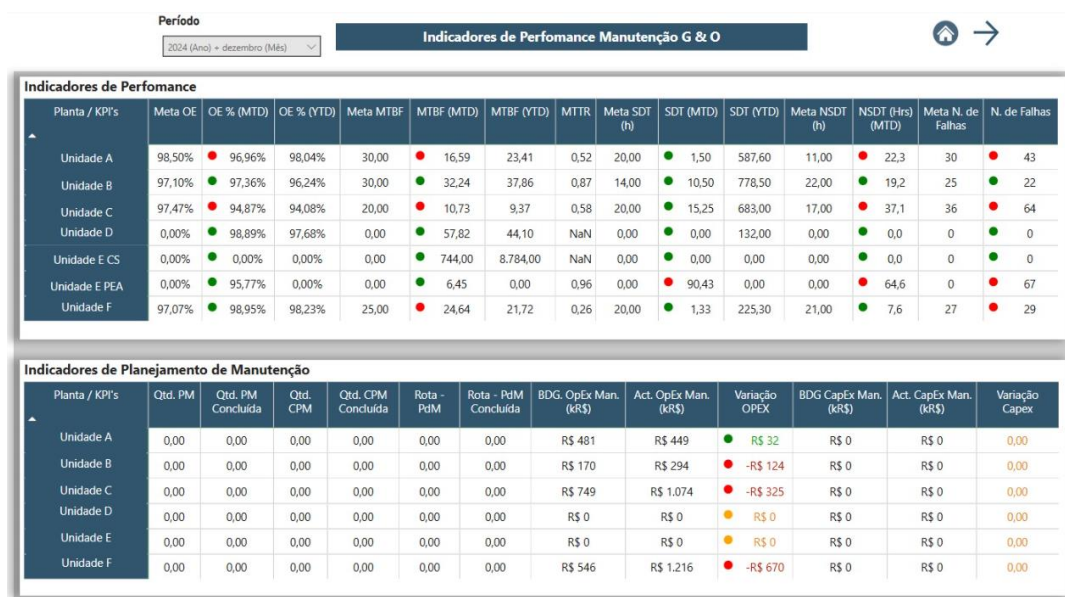
Durante o levantamento, também foram identificadas ineficiências no processo de manutenção preditiva, sobretudo em razão do extenso intervalo entre as coletas de dados de condição dos equipamentos críticos. Essa defasagem temporal permitia o agravamento de falhas e danos aos ativos antes que fossem detectados, comprometendo a confiabilidade e a disponibilidade operacional das unidades.

Diante desse cenário, observou-se uma expressiva demora na resposta da equipe de manutenção frente às demandas de monitoramento e cuidado com os ativos. A ausência de informações em tempo real e a limitação no acompanhamento contínuo das condições dos equipamentos dificultavam a execução tempestiva de ações corretivas e preventivas. Como consequência, houve impactos diretos nos indicadores de desempenho das filiais, refletindo-se no aumento do tempo de inatividade, na elevação dos custos com manutenções corretivas, na maior ocorrência de falhas e, por fim, na redução da eficiência operacional e dos resultados globais das unidades industriais.

3.3. DESENVOLVIMENTO DAS SOLUÇÕES

Com base no diagnóstico realizado, foram desenvolvidas soluções utilizando a Power Platform da Microsoft®. Inicialmente, foram criados *dashboards* no Power BI (ilustrados nas Figuras 9 e 10), com base nos dados previamente disponíveis em planilhas Excel, preservando a estrutura familiar aos usuários, conforme apresentada anteriormente na Tabela 3. A Figura 11 exemplifica um dashboard voltado à gestão corporativa, no qual os principais indicadores são consolidados e sinalizados graficamente, destacando se os resultados estão dentro ou fora das metas previamente estabelecidas. Esse tipo de visualização proporciona à gestão uma visão estratégica, permitindo identificar rapidamente quais unidades apresentaram baixo desempenho em um determinado período, o tempo de inatividade registrado e até mesmo o custo investido em cada filial.

Figura 11 - Dashboard de Resumo Comparativo



Fonte: Próprio Autor

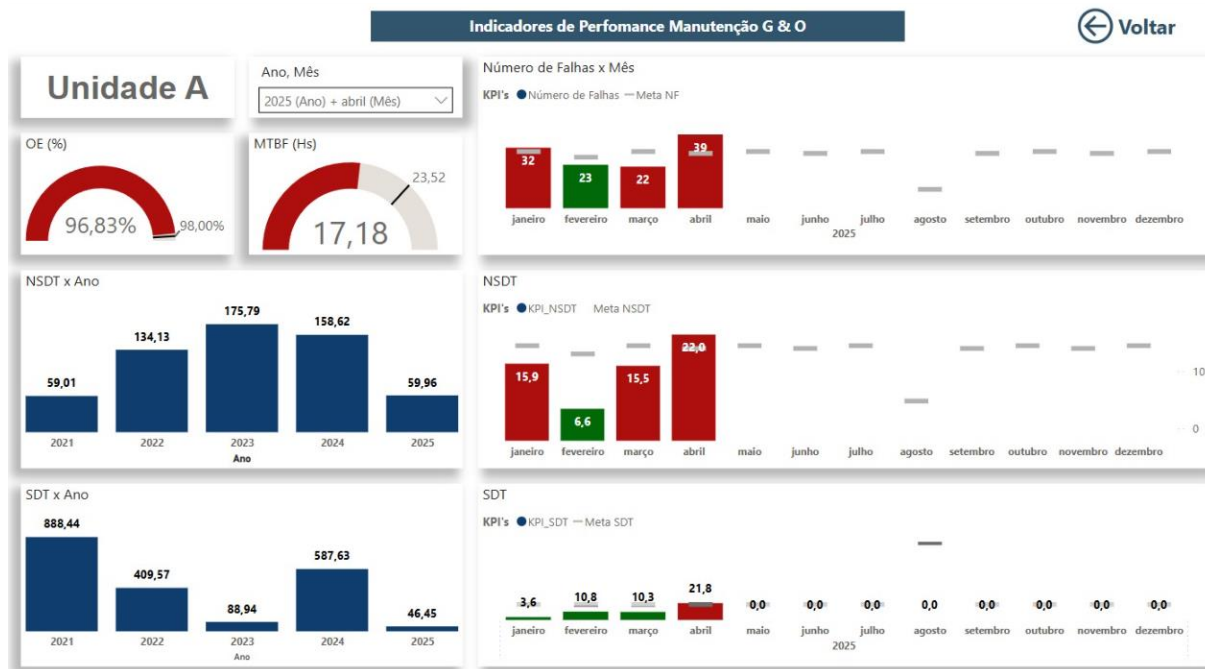
Apesar dos avanços, os *dashboards* apresentavam uma limitação importante: não disponibilizavam uma consolidação por plataforma ou região. Os dados exibidos refletiam apenas os resultados agregados de todas as filiais, sem fornecer métricas como tempo médio ou desempenho médio da plataforma em uma região específica neste caso, o conjunto das cinco unidades industriais analisadas.

Outro dashboard desenvolvido consistia em uma análise individual dos KPI's de cada unidade, permitindo a visualização do histórico e da evolução dos indicadores ao longo de um período filtrado. Essa abordagem possibilitava à gestão concentrar esforços em uma filial específica, monitorando tendências de desempenho e adotando medidas corretivas sempre que os resultados indicassem desvios em relação às metas previamente estabelecidas. A Figura 12, apresentada a seguir, ilustra essa funcionalidade de forma visual e prática.

Conforme apresentado, o dashboard trabalhava com dados já consolidados, o que limitava a capacidade de reação das filiais frente a desvios de desempenho. Embora a visualização gerencial tenha sido aprimorada, os dados continuavam sendo lançados e atualizados com um intervalo de até 15 dias após o fechamento do mês. Essa defasagem comprometia a agilidade na tomada de decisões corretivas,

dificultando intervenções rápidas para corrigir ou ajustar a performance da unidade e seus indicadores.

Figura 12 - Dashboard Individual das Filiais



Fonte: Próprio Autor

Diante dessa limitação, iniciou-se a automatização do processo de coleta por meio do desenvolvimento de um aplicativo no Power Apps, em parceria com o time de melhoria contínua. O aplicativo foi projetado para registrar as paradas de fábrica diretamente na linha de produção, reduzindo significativamente o tempo entre a ocorrência do evento e sua inserção no banco de dados. Com essa solução, passou a ser possível obter dados mais confiáveis, completos e atualizados em tempo quase real. O sistema consistia em um formulário simples, no qual o usuário registrava informações essenciais sobre os eventos de quebra, como hora de início e término da parada, tipo de interrupção (total ou parcial), identificação do equipamento e demais detalhes, conforme ilustrado na Figura 13 apresentada adiante.

Os dados inseridos por meio do formulário eram enviados, por meio de um fluxo automatizado, para o banco de dados de um novo relatório desenvolvido no Power BI. Esse processo previa a atualização da base de dados em intervalos de uma hora, permitindo a visualização quase em tempo real dos indicadores. Os *dashboards* foram estruturados com visuais específicos para cada filial, contemplando análises comparativas, histogramas de desempenho mensal, gráficos com os equipamentos

que apresentaram maior número de falhas, entre outras visualizações solicitadas pelo time de gestão corporativa.

Figura 13 - Layout Formulário de Parada de Fábrica

The image shows a screenshot of a web application form for reporting a factory stoppage. The form is titled 'Home' and 'Voltar'. It contains several sections: 'Status' with radio buttons for 'Em Aberto' and 'Finalizado'; 'Início' with a date/time picker; 'Impacto na Produção' with radio buttons for 'Produção Reduzida', 'Produção Interrompida', and 'Sem Interrupções de Produção'; 'Classificação da parada' with a dropdown menu showing 'Mecânica'; 'MOTIVO / CAUSA' with a dropdown menu showing 'Procure o motivo...' and a checkbox for 'NÃO ENCONTRADO NA LISTA'; and 'Descrição' with a large text area. At the bottom, there are buttons for 'SALVAR' and 'Reiniciar'.

Fonte: Próprio Autor

Ainda no ambiente do Power Apps, foi desenvolvido um segundo aplicativo voltado à análise de falhas. Esse recurso consistia em um novo formulário no qual o usuário registrava informações detalhadas sobre o evento, como o tempo de interrupção e as perdas financeiras associadas. Além disso, era solicitado o preenchimento das possíveis causas da falha. Essas causas, por meio da integração com o Power Automate, eram vinculadas automaticamente a um segundo formulário destinado à elaboração de um plano de ação. Nesse formulário complementar, o usuário deveria descrever as ações corretivas propostas para tratar as causas identificadas. Os modelos dos formulários utilizados estão ilustrados nas Figuras 14 e 15 a seguir:

Figura 15 - Formulário de Preenchimento RCA

✕ Análise de Causa Raíz ✓

* Unidade de produção

Localizar itens

Negócio

Localizar itens

Departamento

Localizar itens

Sistema

Localizar itens

Local de Instalação / Ativo

Localizar itens

Fonte: Próprio Autor

Figura 14 - Formulário de Preenchimento Plano de Ação

✕ Plano de Ação (5W2H) ✓

Prioridade

Localizar itens

Fonte / Causa / KPI (What)

Como (How)

Quem (Who)

Localizar itens

Quanto (How much)

Fonte: Próprio Autor

Com o objetivo de elevar a eficiência da manutenção preditiva, foram implementados sensores de monitoramento em tempo real nos ativos críticos das unidades fabris. Esses dispositivos estão conectados a um sistema especializado de

análise preditiva, fornecido por uma empresa de engenharia, responsável pela interpretação técnica dos dados coletados automaticamente.

Toda a infraestrutura de coleta e análise foi adquirida da SKF (Svenska Kullagerfabriken), uma empresa de renome internacional nas áreas de rolamentos, vedações e soluções em engenharia. O contrato contempla o fornecimento de sensores, gateways e o serviço completo de análise preditiva, viabilizando a instalação e integração dos equipamentos com a plataforma de monitoramento.

As medições obtidas dos equipamentos são organizadas em *dashboards* que facilitam o acompanhamento da evolução dos parâmetros monitorados em cada ponto sensorizado. Para automatizar a alimentação desses relatórios no Power BI, foi desenvolvido um script em Python que realiza a extração dos dados por meio de uma API, transferindo-os para uma base de dados local estruturada para esse fim.

3.4. AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS

Para assegurar a integração fluida entre os sistemas, foi utilizado o recurso de agendamento de atualizações disponibilizado pelo Microsoft® Fabric. Esse mecanismo permitiu a atualização em intervalos de tempo de uma hora e trinta da base de dados tanto do aplicativo quanto do relatório no Power BI, garantindo que os painéis estivessem sempre atualizados e disponíveis para o time de gestão. Esse agendamento de atualizações foi realizado para todos os relatórios do Power BI onde o modelo semântico precisava de mais recorrência de atualizações, dados como os de investigações de falha e plano de ação, atualizavam apenas uma vez ao dia.

Para os dados do sistema de monitoramento preditivo dos ativos, foi definida a rotina de atualização dos dados de duas vezes ao dia, tendo em vista que existe um grande volume de dados a ser processado e que mesmo além da visualização do Power BI, há também o software fornecido pela prestadora de serviço além da emissão dos “laudos técnicos” mais urgentes serem disponibilizados via e-mail.

A Figura 16 a seguir ilustra a funcionalidade de agendamento de atualizações:

Figura 17 - Agendamento de Atualizações

Atualizar frequência

Diariamente

Hora

7

00

AM

×

8

30

AM

×

10

00

AM

×

11

30

AM

×

1

00

PM

×

2

30

PM

×

4

00

PM

×

5

30

PM

×

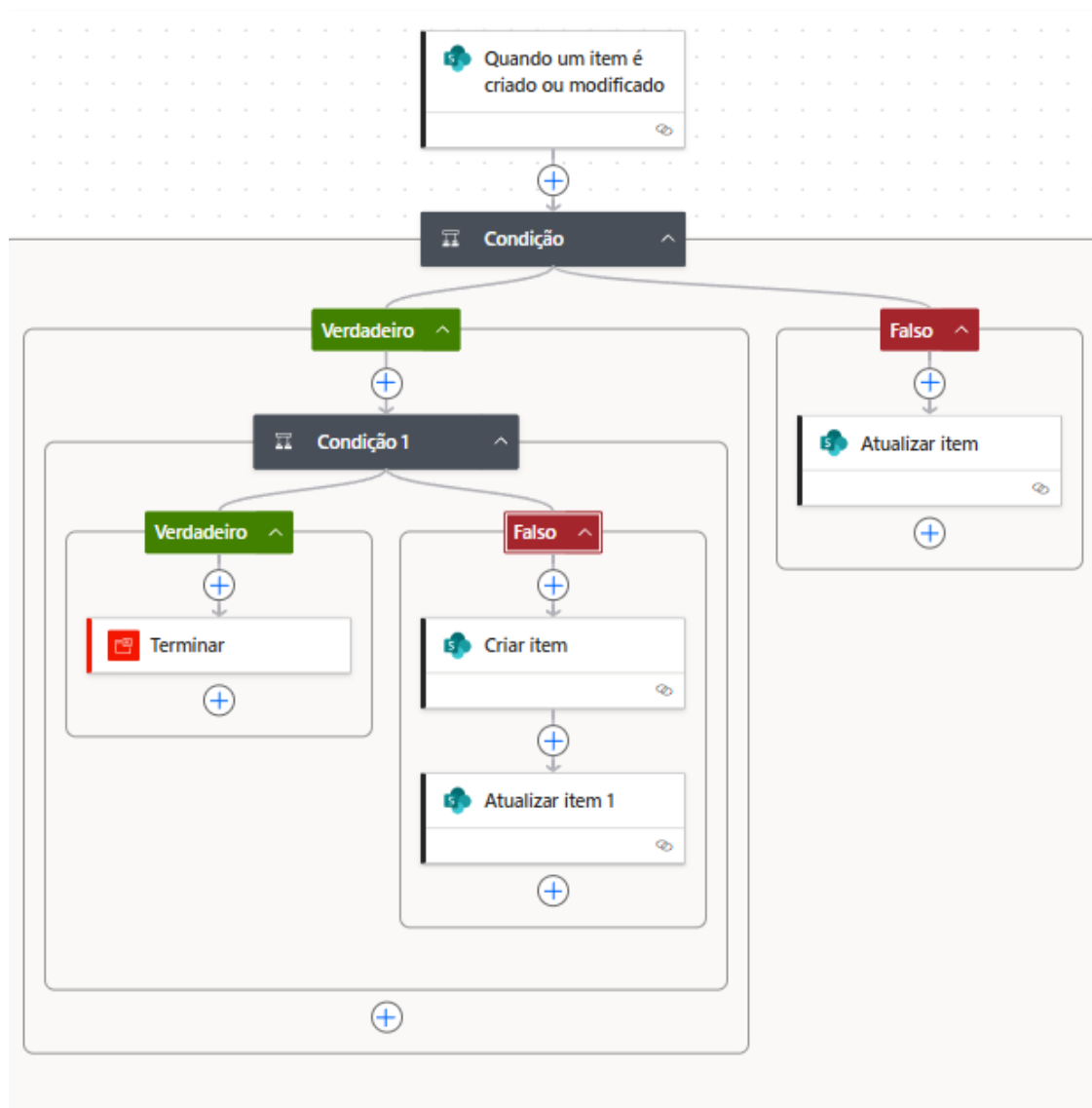
Fonte: Próprio Autor

Além disso, foram desenvolvidos fluxos automatizados a partir dos recursos do Power Automate. A plataforma oferece o recurso da programação do fluxo em blocos, o que simplifica para o usuário a rastreabilidade de cada etapa do processo.

Um exemplo dos fluxos criados, são os fluxos de notificação destinados às filiais, acionados sempre que ocorresse um evento que exigisse a realização de uma Análise de Causa Raiz (RCA³) e o consequente preenchimento dos planos de ação. Esses fluxos garantem que o formulário de análise de falha seja preenchido de maneira simples, objetiva e organizada, promovendo padronização e eficiência no tratamento dos eventos críticos. O fluxo de trabalho referente ao preenchimento dos dados da análise de falha está ilustrado na Figura 17 a seguir:

³ RCA: *Root Cause Analysis*.

Figura 19 - Fluxo de Trabalho criação de Plano de Ação



Fonte: Próprio Autor

O fluxo automatizado avalia a existência de novos registros — sejam eventos ou quebras de equipamento que demandem investigação. Com base nos campos preenchidos pelas equipes das filiais, referentes às possíveis causas, o sistema gera automaticamente entradas no banco de dados de planos de ação. A partir dessas informações, o time responsável pode mapear e definir as ações e medidas necessárias para solucionar o problema identificado e evitar a recorrência do mesmo tipo de evento. Esse fluxo contribui para o preenchimento ágil e estruturado do documento de análise de falha, conforme ilustrado na Figura 18 a seguir:

Figura 20 - Modelo de Documento de Investigação

←

Relatório de RCA

ID	Negócio	Data Início da Ação	Data Fim da Ação	Planta	Responsável
42	Indústrias oleaginosas	18/09/2023 13:38:00	18/09/2023 17:58:00		

Descrição	Origem da Ação/Gatilho
Quebra do eixo de saída do acionamento do ECAN 0103 (acoplamento usinado excêntrico).	Falha de equipamento - Tempo de inatividade > 4 horas ativos (A e X)

Fonte / Causa / KPI (What)	Como (How)	Prioridade	Status
1 - Falha no processo de usinagem	1 - Será substituído o modelo do acionamento e eliminado acoplamento de BR e eventual usinagem. 2 - Eliminado modo de falha erro de usinagem.		Em andamento
2 - Falha na supervisão da atividade	1 - Foi substituído a função de supervisor de manutenção.	Alta	Concluído
3 - Falha na montagem do equipamento	1 - Será substituído o modelo do acionamento e eliminado acoplamento de BR. 2 - Treinar equipe no local de instalação sobre a forma correta de montagem.		Em andamento

Fonte: Próprio Autor

3.5. VALIDAÇÃO

A etapa de validação teve como principal objetivo comprovar a eficácia das soluções desenvolvidas frente aos desafios inicialmente diagnosticados. Para isso, foram definidos critérios objetivos de avaliação com base nos indicadores de desempenho das unidades industriais, nas melhorias de tempo de resposta da equipe de manutenção e na qualidade das informações disponibilizadas para a gestão. A validação foi conduzida de forma gradual, com a implantação piloto dos aplicativos desenvolvidos no Power Apps em uma das unidades, permitindo ajustes e melhorias antes da expansão para todas as filiais.

A coleta automatizada por meio do aplicativo demonstrou ganhos expressivos em agilidade e confiabilidade dos dados. Comparando-se os registros manuais anteriores com os dados oriundos do novo sistema, observou-se uma redução significativa no tempo entre o evento de quebra e sua inserção no banco de dados que passou de até 15 dias para no máximo, o dia seguinte ao ocorrido. Esse ganho impactou diretamente na capacidade de resposta da equipe de manutenção, que passou a atuar de maneira mais proativa e tempestiva, reduzindo o tempo médio de inatividade dos equipamentos.

Além disso, os *dashboards* atualizados em tempo quase real permitiram à gestão uma visão mais estratégica e dinâmica dos indicadores, possibilitando intervenções corretivas com maior agilidade. A validação desse ponto foi realizada por meio da análise comparativa dos KPIs antes e depois da implementação, demonstrando, por exemplo, a redução na reincidência de falhas em determinados equipamentos e a melhoria na aderência das unidades às metas estabelecidas.

No que se refere à análise de falhas, a integração entre os formulários de registro de eventos e os planos de ação possibilitou a consolidação de um processo mais estruturado e padronizado. A avaliação da eficácia foi feita com base no número de ações corretivas implementadas com sucesso e na recorrência dos eventos classificados como críticos. A gestão passou a contar com relatórios mais objetivos, que facilitaram o acompanhamento das “lições aprendidas” e promoveram a melhoria contínua do processo.

Por fim, a integração com os sensores de monitoramento preditivo e a automação da coleta de dados via API também passaram por validação técnica. Os dados obtidos foram comparados com medições manuais e históricos anteriores, confirmando sua confiabilidade e representatividade. A consistência das medições e a eficácia do algoritmo em Python para a atualização da base de dados foram testadas em diferentes condições operacionais, assegurando a robustez do sistema como um todo.

4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

4.1. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO INICIAL

O ponto de partida do projeto consistiu na realização de um diagnóstico detalhado sobre a situação vigente da gestão dos KPI's nas unidades industriais. Nessa fase, foi realizado um mapeamento completo dos fluxos de dados, desde a coleta até a consolidação dos indicadores de desempenho. Verificou-se que o processo era predominantemente manual e descentralizado, com informações registradas em planilhas Excel padronizadas, preenchidas mensalmente pelas equipes operacionais. Este modelo apresentava falhas significativas, como o atraso nas atualizações, a suscetibilidade a erros humanos e a dificuldade de rastreabilidade das informações.

A ausência de sistemas integrados e de automação impedia uma visão em tempo real dos indicadores, comprometendo a capacidade de resposta da gestão frente aos desvios de performance. Os dados, frequentemente desatualizados, dificultavam a elaboração de relatórios consistentes e reduziam a efetividade das decisões baseadas em evidências. Além disso, identificou-se que não havia uniformidade na metodologia utilizada para a análise de falhas, o que impactava negativamente na elaboração de planos de ação estruturados e na extração de lições aprendidas a partir de eventos críticos.

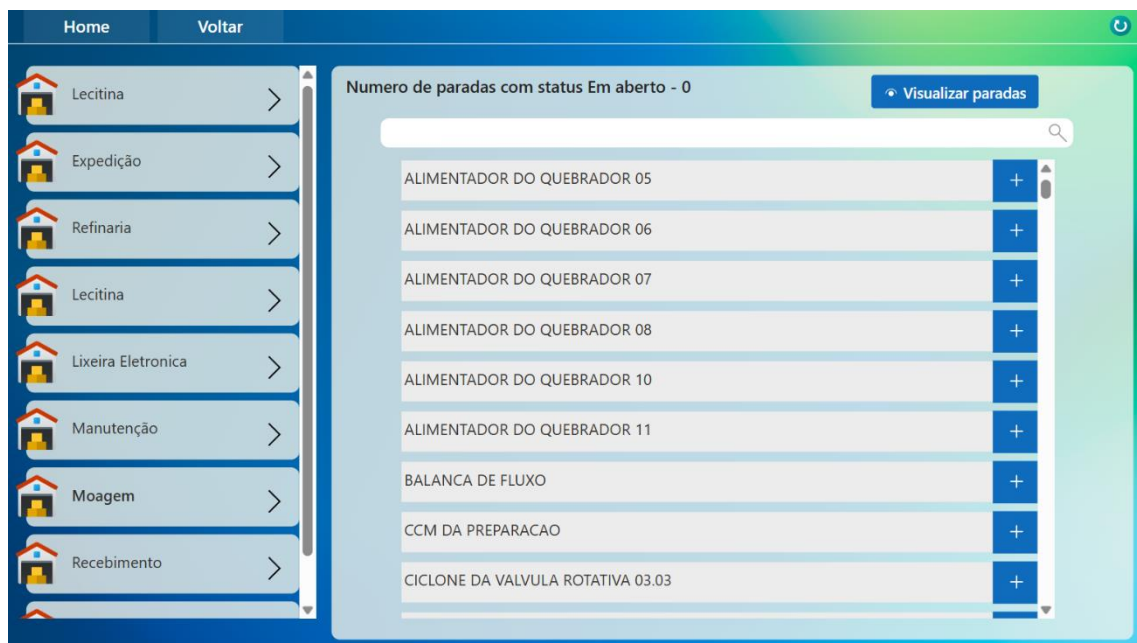
Outro ponto crítico identificado no diagnóstico foi a baixa eficiência do processo de manutenção preditiva. Os ativos críticos não contavam com uma rotina eficaz de coleta de dados de condição, resultando em intervalos longos entre medições. Essa defasagem permitia o agravamento de falhas antes que pudessem ser detectadas, comprometendo a confiabilidade dos equipamentos e gerando impactos operacionais significativos. A situação era agravada pela dificuldade da equipe de manutenção em reagir prontamente às demandas, em razão da falta de dados atualizados e da inexistência de mecanismos de monitoramento contínuo.

Essas fragilidades refletiam diretamente nos indicadores de desempenho das unidades. Observou-se um aumento no tempo de inatividade dos equipamentos, elevação dos custos com manutenções corretivas e maior frequência de falhas, resultando em perda de eficiência operacional. O diagnóstico inicial, portanto, foi fundamental para evidenciar os principais gargalos e nortear o desenvolvimento de soluções direcionadas à digitalização, padronização e automação dos processos de monitoramento e gestão de falhas.

4.2. DESENVOLVIMENTO DOS APLICATIVOS

Em colaboração com o time de Melhoria Contínua, foi desenvolvido um aplicativo no Power Apps com o objetivo de permitir que a própria equipe de operação registre, de forma prática e padronizada, as paradas de fábrica. A aplicação conta com uma interface amigável, contendo campos específicos para o tipo de falha, setor, tempo de parada e ação corretiva, conforme ilustrado na Figura 11. Além disso, o sistema permite que o usuário selecione o setor e o equipamento envolvidos na ocorrência, funcionalidade destacada na Figura 19.

Figura 21 - Tela Inicial Seleção Setor e Equipamento



Fonte: Próprio Autor

O aplicativo também dispõe de uma janela dedicada à visualização dos registros já inseridos, permitindo que as equipes realizem correções nos dados, revisem possíveis erros ortográficos ou ajustem informações equivocadas lançadas pela operação. Essa funcionalidade está exemplificada na Figura 20:

Figura 22 - Tela de Seleção e Edição de Dados Lançados

The screenshot displays the application's data management interface. At the top, there are navigation buttons 'Home' and 'Voltar'. Below them, a date range filter is set from '05/06/2025' to '10/07/2025'. On the right, there are 'Cancelar' and 'Salvar' buttons. The main area is divided into two panels. The left panel shows a list of records with columns for ID, DATA / HORA, SETOR, CLASSIFICAÇÃO, MOTIVO, and IMPACTO. The right panel provides a detailed view of the selected record, including fields for Status, DATA, start/end times, TEMPO (MINUTOS), SETOR, EQUIPAMENTO, and DESCRIÇÃO.

ID	DATA / HORA	SETOR	CLASSIFICAÇÃO	MOTIVO	IMPACTO
14872	10/07/2025 10:10 ATÉ 10/07/2025 10:19	Moagem	Plan. Industrial	Manutenção corretiva/preventiva	Produção Interrompida
14858	09/07/2025 11:56 ATÉ 09/07/2025 12:05	Moagem	Operacional	Sobrecarga de equipamento	Produção Interrompida
14831	05/07/2025 17:56 ATÉ 05/07/2025 18:12	Moagem			

Details of Record 14872:

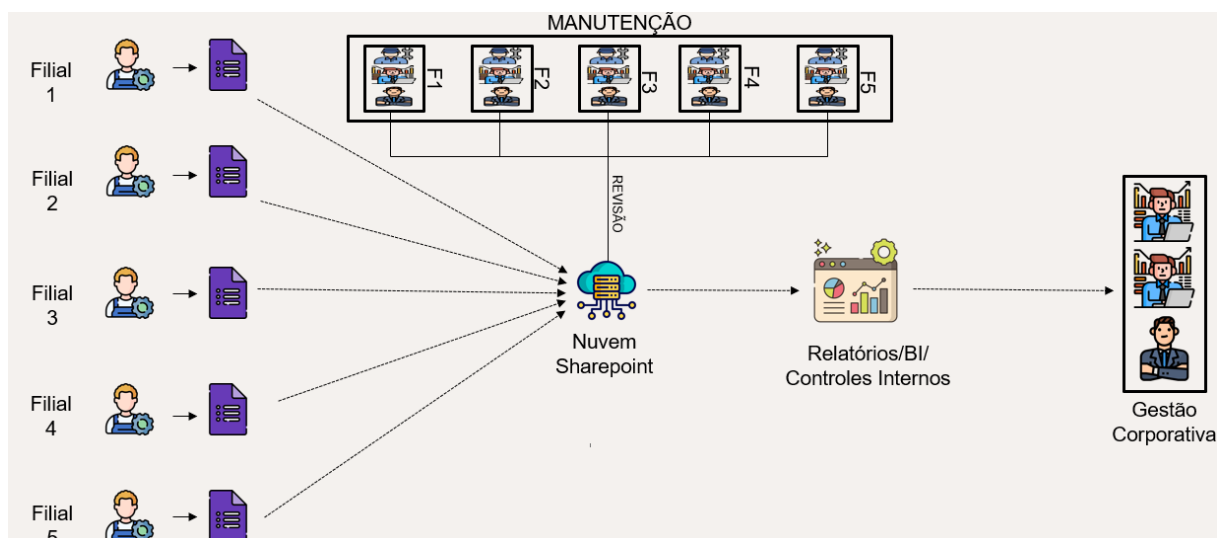
- Status: Finalizado
- DATA: 10/07/2025
- start: 10/07/2025 10:10
- end: 10/07/2025 10:19
- TEMPO (MINUTOS): 9
- SETOR: Moagem
- EQUIPAMENTO: ELEVADOR 0303 ALIMENTACAO QUEBRADORES
- DESCRIÇÃO: Filmagem dos elevadores

Fonte: Próprio Autor

A implementação do aplicativo eliminou a necessidade de registros manuais em planilhas, reduzindo significativamente os erros de digitação e promovendo a padronização da base de dados. O lançamento das ocorrências passou a ser feito de forma mais ágil, muitas vezes próximo ao momento do evento, o que contribuiu para uma coleta de dados mais precisa e em tempo real.

A figura 21 a seguir apresenta o fluxo de informações deste aplicativo e sua base de dados:

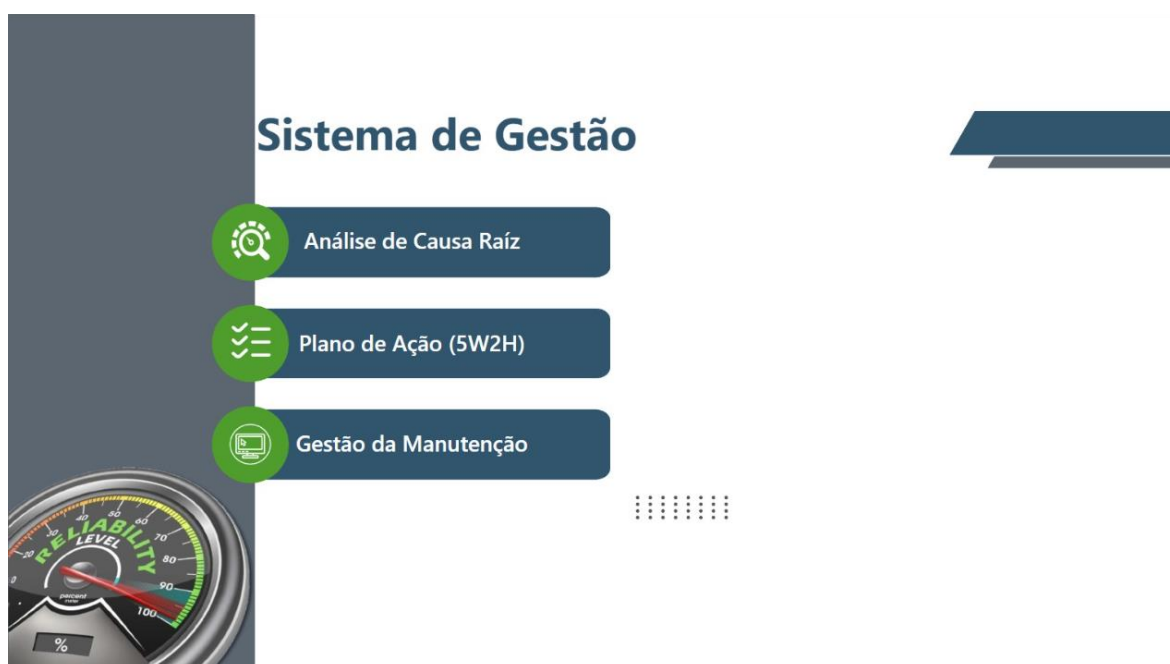
Figura 23 - Fluxograma de Processo APP Paradas



Fonte: Próprio Autor

Complementando essa iniciativa, também foi desenvolvido um segundo aplicativo voltado ao registro de eventos com falhas críticas, que são investigadas as suas causas raízes pelas equipes das filiais. Sua interface simplificada permite ao usuário acessar rapidamente os registros das investigações realizadas e os respectivos planos de ação, conforme ilustrado na Figura 22.

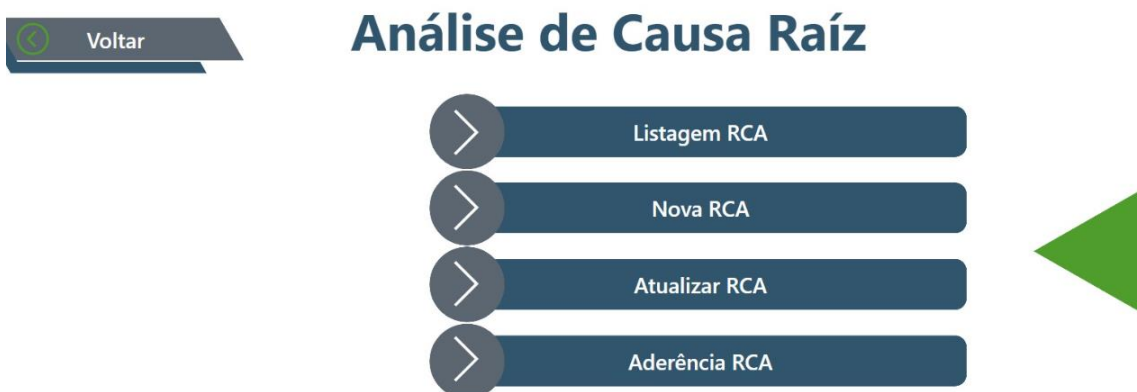
Figura 24 - Tela Inicial App de RCA



Fonte: Próprio Autor

O usuário possui acesso à base de dados que reúne os eventos a serem investigados, podendo registrar novas ocorrências ou atualizar investigações já existentes. Além disso, é possível visualizar indicadores gerais sobre o número total de análises realizadas. A Figura 23 apresenta a tela de opções disponíveis dentro do módulo de Análise de Causa Raiz:

Figura 25 - Tela Seleccionável RCA



Fonte: Próprio Autor

Após essa etapa, o usuário tem acesso à base completa de dados do aplicativo, onde pode aplicar filtros para localizar rapidamente o item desejado. A lista é organizada por data e status dos registros, facilitando a navegação. A partir dessa tela, é possível selecionar um item para atualização ou registrar um novo, conforme ilustrado na Figura 24:

Figura 26 - Tela de Navegação RCA's

Análise de Causa Raíz			
Data inicial:	Data final:	ID do Evento:	Responsável da RCA:
01/04/2025	01/07/2025	Buscar ID do evento	Selecione o responsável
218 Departamento: <u>Preparação</u> Local de Instalação/Ativo: <u>CCM - Centro de controle</u> Status: <u>Concluído</u> Evento: Nobreak do CCM desligou, afetando a comunicação dos equipamentos e interrompendo a produção.			
13/04/2025 2:25			
219 Departamento: <u>Manutenção</u> Local de Instalação/Ativo: Status: <u>Concluído</u> Evento: Fechamento de KPI de MTBF com valor 10% abaixo da meta YTD.			
17/04/2025 12:00			
220 Departamento: <u>Manutenção</u> Local de Instalação/Ativo: <u>Transportador de corrente</u> Status: <u>Concluído</u> Evento: Fechamento de KPI de MTBF com valor 10% abaixo da meta YTD.			
16/04/2025 12:00			
221 Departamento: <u>Extração</u> Local de Instalação/Ativo: <u>Transportador de corrente</u> Status: <u>Concluído</u> Quebra da corrente de arraste do transportador TRRD0005 saída da sala de óleo.			
11/04/2025 12:00			
223 Departamento: <u>Extração</u> Local de Instalação/Ativo: <u>Transportador de corrente</u> Status: <u>Concluído</u> Evento: Quebra de parafusos e chaveta da engrenagem motriz da corrente de arraste do redler M5 da extração.			

Fonte: Próprio Autor

A tela destinada ao plano de ação segue os mesmos critérios de estrutura e funcionalidade aplicados à interface de investigações, diferenciando-se apenas por cores e pequenos elementos visuais. Essas variações têm como objetivo facilitar a navegação, permitindo ao usuário identificar rapidamente em qual módulo está operando, o que contribui para uma experiência mais intuitiva e eficiente. A Figura 25 ilustra essa interface:

Figura 27 - Tela Inicial de Navegação Plano de Ação



Fonte: Próprio Autor

A principal distinção está na tela de navegação da lista de planos de ação, que apresenta os registros acompanhados das ações propostas para cada causa identificada. Essa visualização é estruturada por filial e pelo número da investigação correspondente, o que proporciona maior organização e rastreabilidade das iniciativas corretivas. Além disso, essa abordagem permite um controle mais preciso da execução das ações e facilita o acompanhamento do progresso por parte das equipes responsáveis. A Figura 26 exemplifica essa tela:

Figura 28 - Tela de Navegação Plano de Ação

Plano de Ação (5W2H)			
Data inicial:	Data final:	ID do Evento:	Quem (Who):
01/01/2025	01/07/2025	Buscar ID do evento	Digite o nome do Responsável
172	Unidade:	Responsável:	Status: Concluído
Evento ocorreu em 09/09/2024, devido a quebra do rolamento do eixo intermediário da Deslinteradeira 206.		Ação: <u>Criar um plano de inspeção com câmeras termográficas para avaliação dos mancais.</u>	>
183	Unidade:	Responsável:	Status: Concluído
Evento ocorreu em 21/11/2024, devido a queima do motor da rosca de polpa da saída dos decortidores.		Ação: <u>1 - Plano de inspeção na eletrocalha, eletrodutos e eletrocalhas.</u>	28/11/2024 >
184	Unidade:	Responsável:	Status: Concluído
Evento ocorreu em 22/11/2024, devido a quebra do mancal interno do filtro arrastão (barreiro).		Ação: <u>1 - Criar procedimento de limpeza no pé do elevador evitando aumento de finos no filtro;</u> <u>2 - Substituir raspador por um de maior diâmetro afim de reduzir o</u>	>
219	Unidade:	Responsável:	Status: Concluído
Evento: Fechamento de KPI de MTBF com valor 10% abaixo da meta YTD.		Ação: <u>Instalar bica de passagem plena no DTR</u>	18/04/2025 >
221	Unidade:	Responsável:	Status: Não iniciado
Quebra da corrente de arraste do transportador TRRD0005 saída da sala de óleo.		Ação: <u>Realizar metalografia na corrente danificada para verificar a dureza e outras características que contribuem para quebra antes da tensão de cisalhamento</u>	31/08/2025 >
221	Unidade:	Responsável:	Status: Concluído
Quebra da corrente de arraste do transportador TRRD0005 saída da sala de óleo.		Ação: <u>Inspeção mensal para verificação de trincas na corrente</u>	30/05/2025 >

Fonte: Próprio Autor

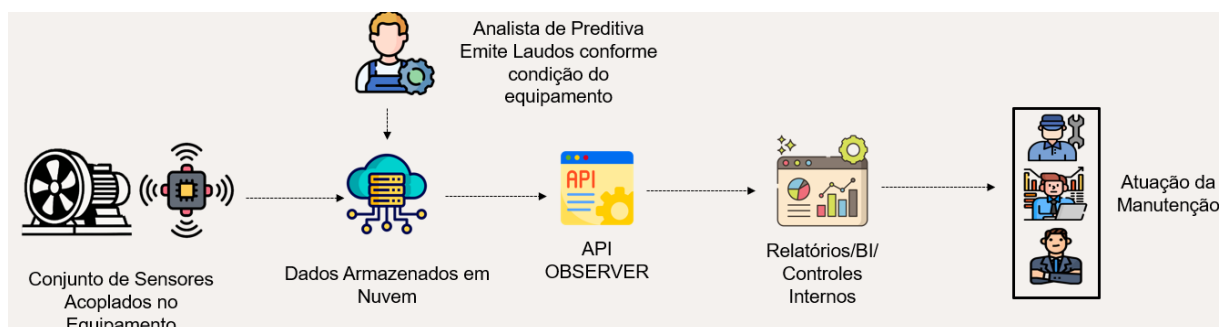
Para a construção do algoritmo de coleta de dados, é fundamental compreender primeiramente o fluxograma do processo, que envolve a coleta de informações pelos sensores, o envio e análise preditiva realizada pelo fornecedor, e, por fim, a extração desses dados para elaboração dos *dashboards* internos das filiais.

O acesso a essas informações será realizado por meio de uma API, que permitirá a integração automatizada com as bases externas de dados. Essa abordagem garante maior eficiência na obtenção e atualização das informações utilizadas nos painéis, além de possibilitar escalabilidade e padronização no monitoramento dos ativos nas diferentes unidades.

Uma API (Interface de Programação de Aplicações) é um conjunto de padrões e protocolos que permite a comunicação entre diferentes sistemas de software. No

contexto deste projeto, a API atua como uma ponte entre a base de dados do fornecedor e os sistemas internos da empresa, possibilitando a solicitação e o recebimento estruturado de informações de forma segura, rápida e controlada, sem a necessidade de acesso direto ao banco de dados de origem.

Figura 29 - Fluxograma de Manutenção Preditiva



Fonte: Próprio Autor

O código desenvolvido foi implementado em Python, linguagem amplamente reconhecida por sua simplicidade e versatilidade. Sua execução é direta e não requer estruturas complexas para a criação de soluções robustas, como a proposta neste projeto. O algoritmo (Apêndice A) realiza consultas com base na filial selecionada pelo usuário e, a partir dessa seleção, executa uma sequência específica de requisições à API, com o objetivo de coletar os dados dos equipamentos.

Embora fosse possível estruturar um sistema mais autônomo utilizando bibliotecas e frameworks como Django, Pandas e PyPlot, optou-se por uma solução mais direta, considerando a urgência na disponibilização das informações. Além disso, essa abordagem reduziu etapas relacionadas à gestão de acessos, uma vez que os relatórios já estavam sendo visualizados por meio do Power BI, ferramenta amplamente acessível aos usuários do domínio industrial. Essa escolha também minimizou a necessidade de testes e validações adicionais, comuns em sistemas web personalizados.

4.3. INTEGRAÇÃO COM POWER BI

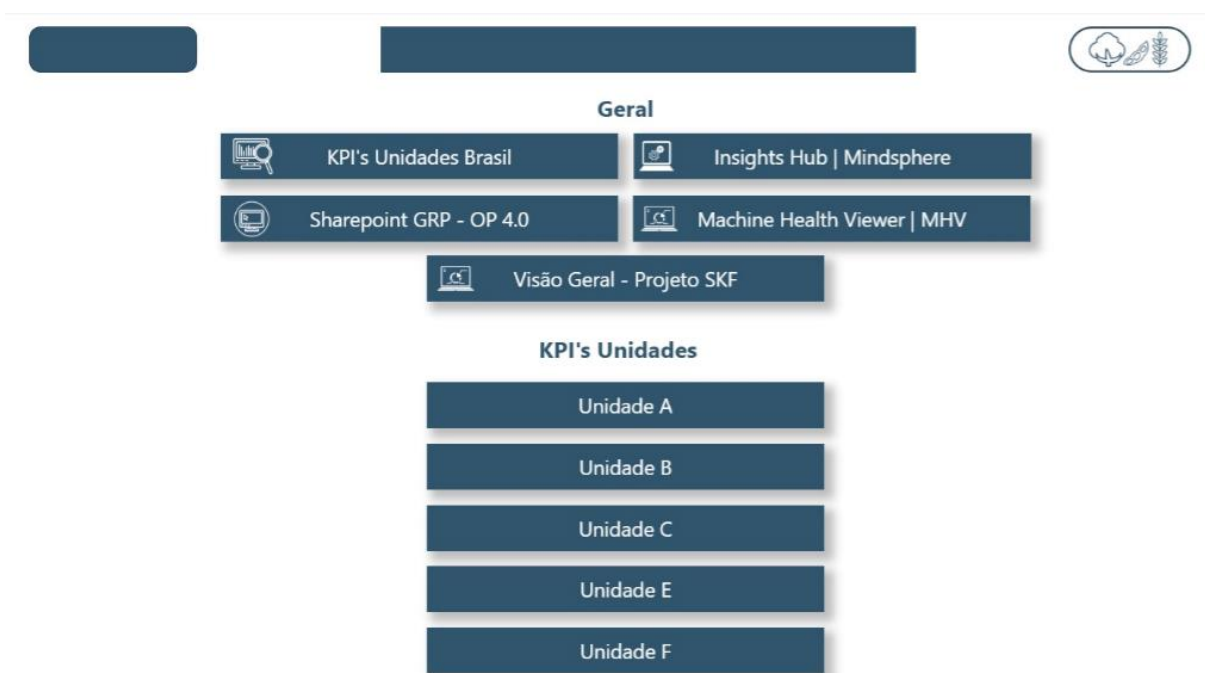
Com os dados devidamente estruturados e digitalizados no aplicativo, foi possível realizar a integração com o Power BI. Por meio de fluxos automáticos criados no Power Automate, os dados passaram a ser enviados periodicamente para os *dashboards* analíticos. A atualização passou a ocorrer a cada uma hora, permitindo ao time de gestão monitorar os indicadores praticamente em tempo real, o que proporcionou uma visão mais completa sobre a performance dos ativos.

4.3.1. Definição de Layout Padrão

As figuras a seguir ilustram a estilização aplicada aos *dashboards*, com foco no conforto visual e na clareza das informações para o usuário. A principal diretriz adotada foi a padronização, que visa uniformizar a experiência de navegação. Isso é exemplificado na apresentação das telas iniciais dos relatórios de dados dos sensores, dos indicadores, e das informações de investigações e plano de ação, conforme ilustrado nas Figuras 28, 29 e 30.

A Figura 28 apresenta a tela inicial do relatório de indicadores. Essa interface foi projetada para orientar o usuário na navegação entre diferentes seções do relatório, como a tela de visão geral, que será apresentada mais adiante neste documento. Além disso, permite ao usuário a seleção de cenários específicos, como a visualização dos dados de uma unidade em particular, por meio das telas individuais de cada unidade, que também serão detalhadas posteriormente.

Figura 30 - Tela Inicial Dashboard Indicadores



Fonte: Próprio Autor

A Figura 29 apresenta a tela inicial do relatório de dados dos sensores de análise preditiva. Esse relatório foi desenvolvido para que os usuários possam visualizar os dados por equipamento, organizados nas telas correspondentes a cada setor da filial. Além disso, permite o acompanhamento do status de evolução do projeto por meio da tela de visão geral, que exibe informações como o nível de bateria dos sensores, a quantidade de sensores previstos para instalação e a quantidade já instalada, entre outros indicadores relevantes.

Figura 31 - Tela Inicial Relatório de Sensores



Fonte: Próprio Autor

A Figura 30 apresenta a tela inicial dos relatórios de indicadores de gestão, os quais trazem dados relacionados ao número de investigações realizadas e às ações corretivas executadas para evitar recorrência de falhas.

Figura 32 - Tela Inicial Relatório de Gestão



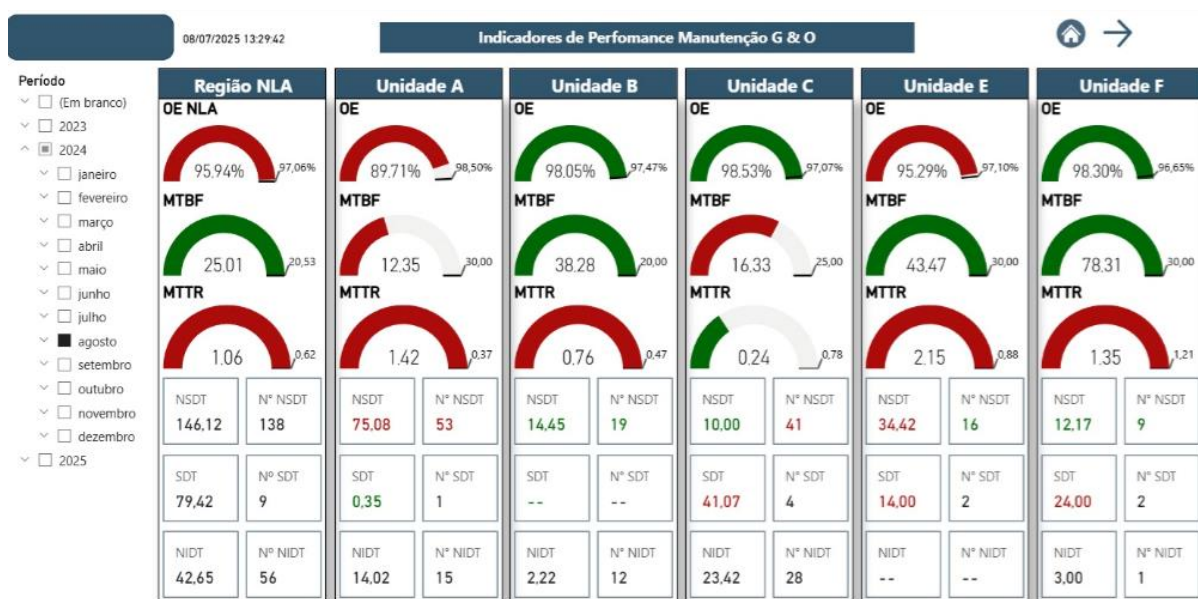
Fonte: Próprio Autor

O padrão de layout é um conceito fundamental na elaboração de *dashboards*, pois garante uma experiência de navegação mais intuitiva e eficiente para o usuário. A padronização contribui para a uniformidade visual entre os relatórios, facilitando a localização das informações e reduzindo o tempo de aprendizado necessário para a interpretação dos dados. Além disso, um layout consistente transmite profissionalismo, melhora a usabilidade e reforça a identidade visual do projeto, tornando a análise mais clara e objetiva.

4.3.2. Relatório de Indicadores

Para a elaboração dos *dashboards* de indicadores, foram definidas regras de formatação condicional com o objetivo de sinalizar, de forma visual, os números que estão abaixo das metas estabelecidas. Essa abordagem permite que a gestão identifique rapidamente os pontos que requerem atenção e possíveis ações corretivas nas unidades. Como exemplo, a Figura 31 apresenta o dashboard com os principais indicadores de manutenção de todas as filiais, em um resumo geral. Os indicadores destacados em vermelho representam resultados que exigem intervenções por estarem fora dos padrões esperados, enquanto os apresentados em verde indicam desempenhos estáveis e dentro dos limites aceitáveis:

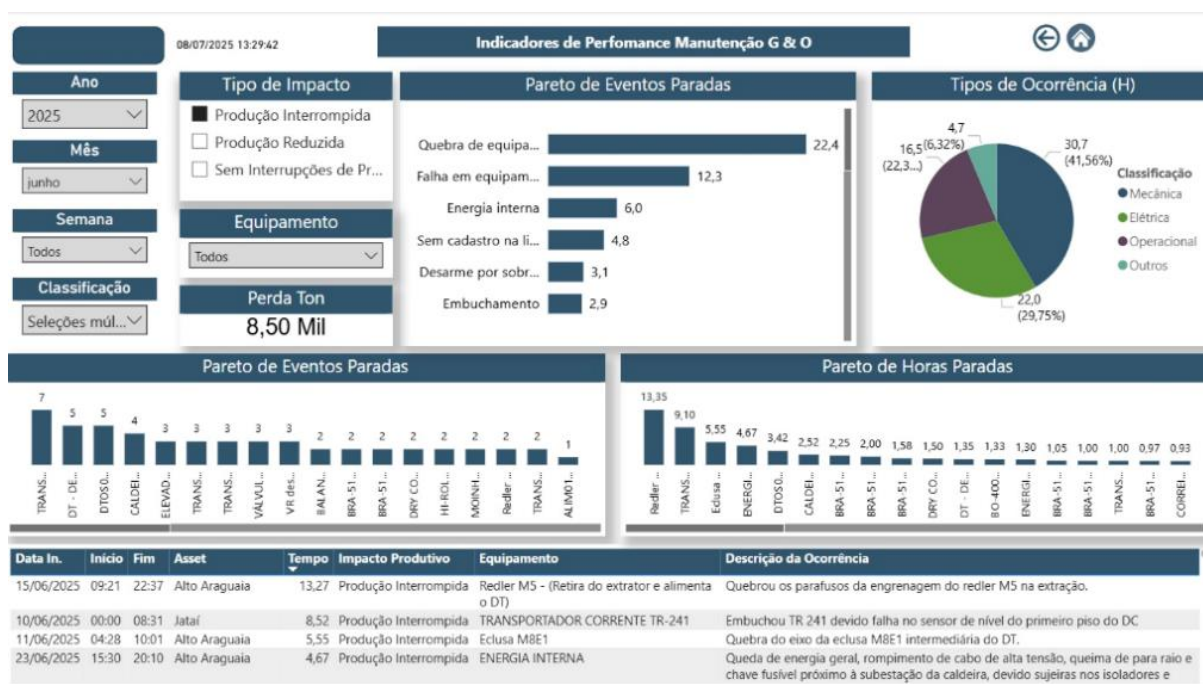
Figura 33 - Dashboard Visão Geral KPI's Unidades



Fonte: Próprio Autor

Para a construção dos *dashboards* individuais das filiais, foram selecionadas informações complementares que agregassem valor à análise dos indicadores, ou seja, dados que contribuíssem para contextualizar e refletir com maior precisão os resultados apresentados. Nesse sentido, foram incluídos gráficos de Pareto destacando os equipamentos com maior número e maior duração de quebras, além de representações gráficas que indicam o percentual de falhas por tipo, como falhas mecânicas, elétricas e outras categorias. Esses elementos podem ser visualizados na Figura 32, a seguir:

Figura 34 - Segundo Dashboard para Detalhamento de Falhas



Fonte: Próprio Autor

Ainda no contexto das análises individuais por filial, foi desenvolvido mais um dashboard com o objetivo de permitir à gestão o acompanhamento da performance e da tendência dos resultados ao longo do tempo. A Figura 33 ilustra esse painel, que inclui gráficos de tendência dos indicadores MTBF (Tempo Médio entre Falhas) e MTTR (Tempo Médio de Reparo), e um gráfico que apresenta a evolução do percentual de eficiência operacional geral da fábrica. Esse último permite identificar, de forma visual, os dias do período analisado em que a fábrica operou com baixa ou alta performance.

Figura 35 - Terceiro Dashboard para Detalhamento de Performance



Fonte: Próprio Autor

No contexto de um relatório com informações consumadas de todas as filiais, foi desenvolvido um último dashboard, este para acompanhamento geral do status de projeto do monitoramento preditivo automatizado, esse dashboard foi construído com informações pontuais de recebimento de equipamentos até a instalação dos sensores em um modo geral das unidades, como ilustrado na Figura 34, adiante:

Figura 36 - Dashboard Visão Geral Projeto



Fonte: Próprio Autor

4.3.3. Relatório de Dados dos Sensores

Para a construção dos *dashboards* de dados dos equipamentos monitorados, foram definidos layouts organizados por setor. Essa estratégia teve como objetivo reduzir a quantidade de equipamentos exibidos por aba, otimizando o espaço e permitindo a inclusão de outras segmentações, como a segmentação por ponto de medição que corresponde ao local específico do equipamento onde o sensor está instalado. Além dos gráficos de tendência das medições de temperatura, velocidade e aceleração, foi incluída também uma tabela-resumo com as últimas medições registradas em todos os pontos de monitoramento e respectivas grandezas. A Figura 35, apresenta o dashboard dos dados:

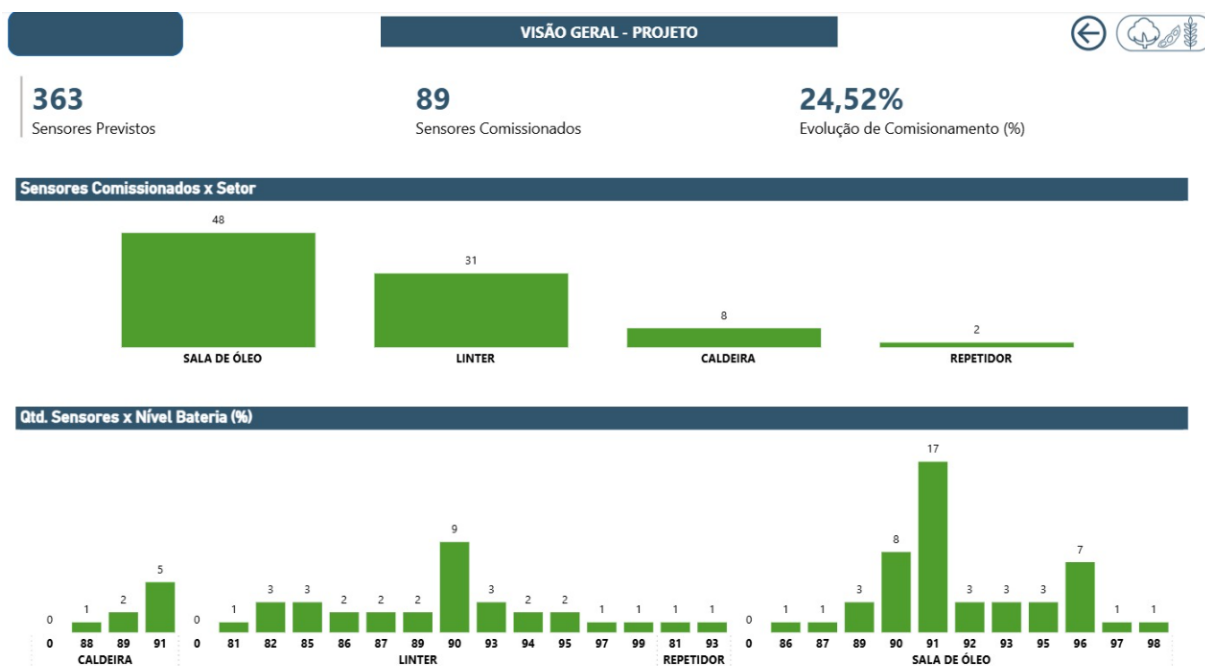
Figura 37 - Dashboard Dados Preditivos Equipamentos



Fonte: Próprio Autor

Outra tela desenvolvida tem como objetivo apresentar informações gerenciais do projeto, oferecendo uma visão consolidada sobre a evolução da instalação dos sensores. Nessa visualização, são exibidas a quantidade de sensores instalados por setor da indústria, bem como um histograma representando o percentual de bateria dos dispositivos. Esses elementos podem ser observados na Figura 36, a seguir.

Figura 38 - Dashboard Visão Geral Projeto Preditivo

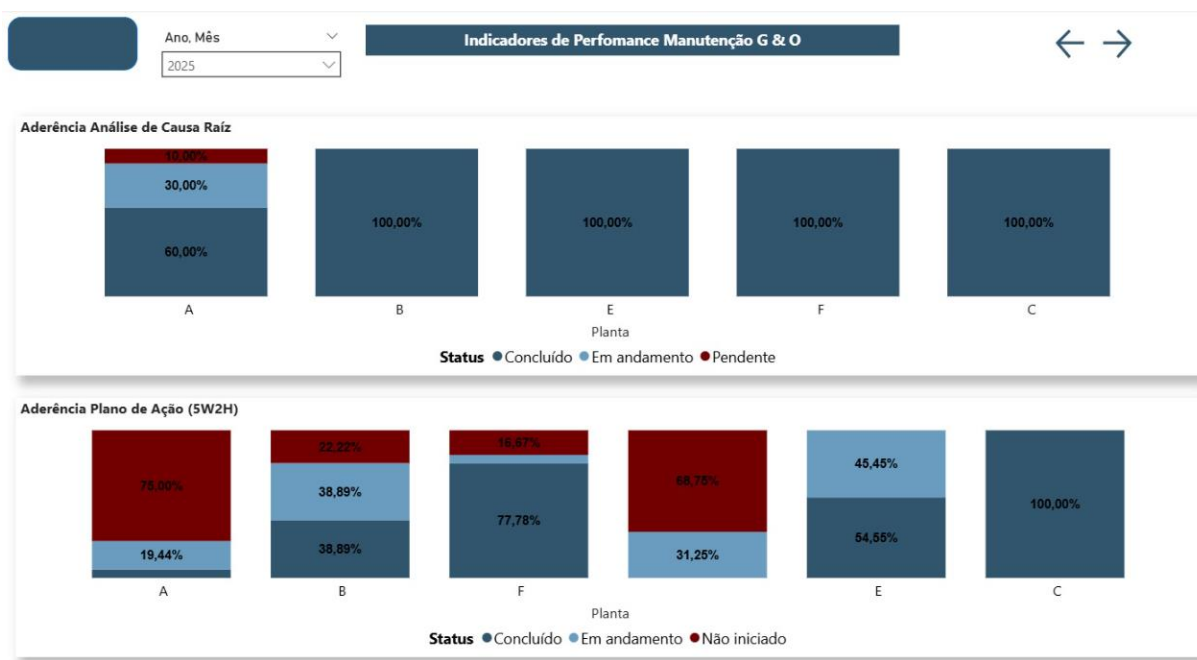


Fonte: Próprio Autor

4.3.4. Relatório de Plano de Ação e Investigações

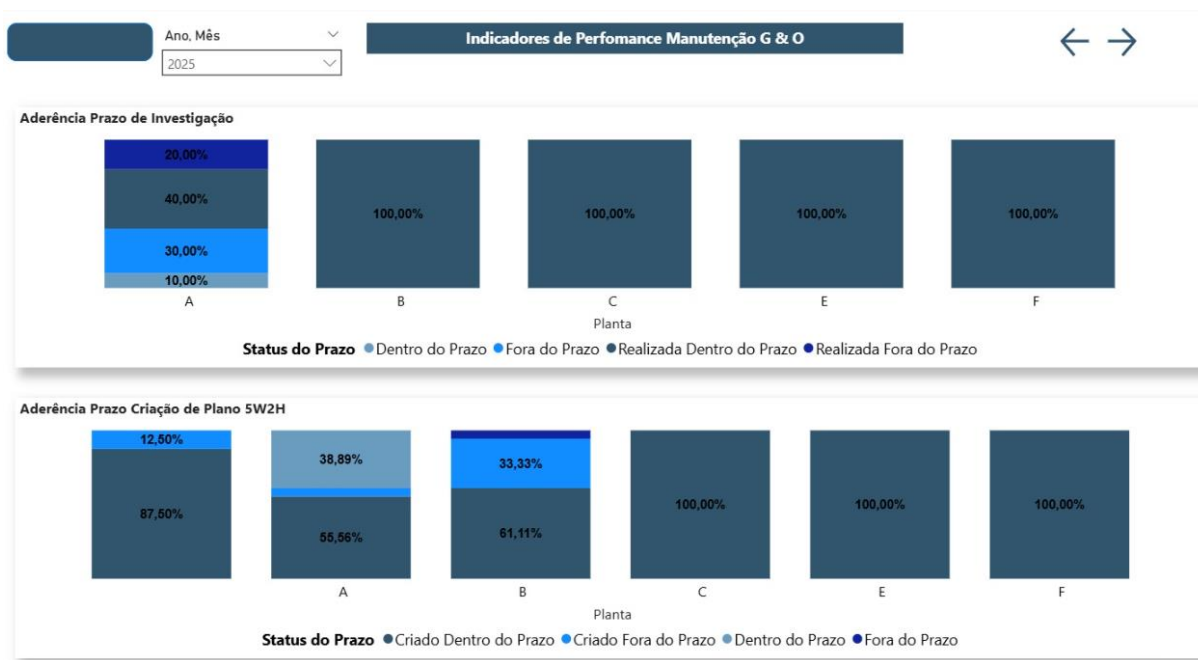
Trata-se de um relatório mais curto que apresenta por unidade os status das investigações de falhas e ações planejadas para evitar recorrências das falhas de grande impacto nos indicadores. O primeiro dashboard, já trata essas informações objetivamente, com gráficos de barras em cores apontando o status de cada item, como apresentado na figura 37 adiante:

Figura 39 - Dashboard de Status de RCA e Ações



Outro dashboard apresentado trata do acompanhamento dos prazos para a realização das investigações, conforme os limites definidos pela gestão. A proposta é que as filiais concluam as investigações dos eventos em até 20 dias após a ocorrência e elaborem o plano de ação em até 25 dias. Nesse painel, os itens ainda em aberto e com prazo excedido são indicados como “fora do prazo”, os que foram concluídos após o prazo são sinalizados como “realizados fora do prazo”, e os demais são classificados como “dentro do prazo” ou “concluídos”. Essas informações estão representadas na Figura 38, a seguir:

Figura 40 - Dashboard de Status de Prazo RCA e Ações



Fonte: Próprio Autor

A análise de falha e o plano de ação são ferramentas fundamentais na manutenção industrial, pois permitem identificar as causas raiz dos problemas e definir medidas corretivas e preventivas eficazes. Através dessa abordagem estruturada, é possível reduzir a reincidência de falhas, aumentar a confiabilidade dos ativos e otimizar os recursos de manutenção. Além disso, promovem uma cultura de melhoria contínua, essencial para o aumento da eficiência operacional e para a tomada de decisões mais assertivas pela gestão.

O acompanhamento dos prazos para a realização da análise de falha e elaboração do plano de ação é essencial para garantir a eficácia do processo de manutenção. Cumprir os prazos definidos pela gestão assegura uma resposta rápida aos eventos, reduzindo o tempo de exposição dos ativos a condições adversas e prevenindo a reincidência de falhas. Além disso, o controle rigoroso desses prazos contribui para a disciplina operacional, promove a responsabilidade entre as equipes e fortalece a cultura de melhoria contínua dentro da organização. Um processo bem monitorado reflete diretamente em ganhos de produtividade, confiabilidade dos equipamentos e eficiência na gestão dos recursos.

4.4. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

A comparação entre o cenário anterior à implementação das soluções automatizadas e o contexto posterior à adoção das ferramentas digitais evidencia ganhos significativos em termos de eficiência operacional, confiabilidade dos dados e agilidade na tomada de decisão. Inicialmente, os processos de coleta e análise de dados eram predominantemente manuais, baseados em planilhas Excel, com atualização tardia dos indicadores, por vezes, até 15 dias após o fechamento mensal, o que comprometia a capacidade de reação da equipe de manutenção diante de falhas e desvios de desempenho.

Com a automação, por meio de aplicativos desenvolvidos em Power Apps integrados ao Power BI e ao Power Automate, foi possível reduzir drasticamente o tempo entre a ocorrência de um evento e sua visualização nos dashboards gerenciais. Os registros passaram a ser feitos em tempo quase real, o que possibilitou uma resposta mais ágil e assertiva por parte das equipes operacionais.

Essa mudança impactou diretamente indicadores como o MTTR (*Mean Time to Repair*) e o NSDT (*Non Scheduled Downtime*), que apresentaram queda expressiva em comparação aos registros históricos. Um exemplo claro pode ser observado na Figura 39, que ilustra a forma como os indicadores eram contabilizados em uma das filiais. A imagem evidencia, além da ausência de um padrão único para a gestão entre unidades, registros genéricos e pouco detalhados, que dificultavam a identificação precisa dos modos de falha e comprometiam a atuação da equipe de manutenção.

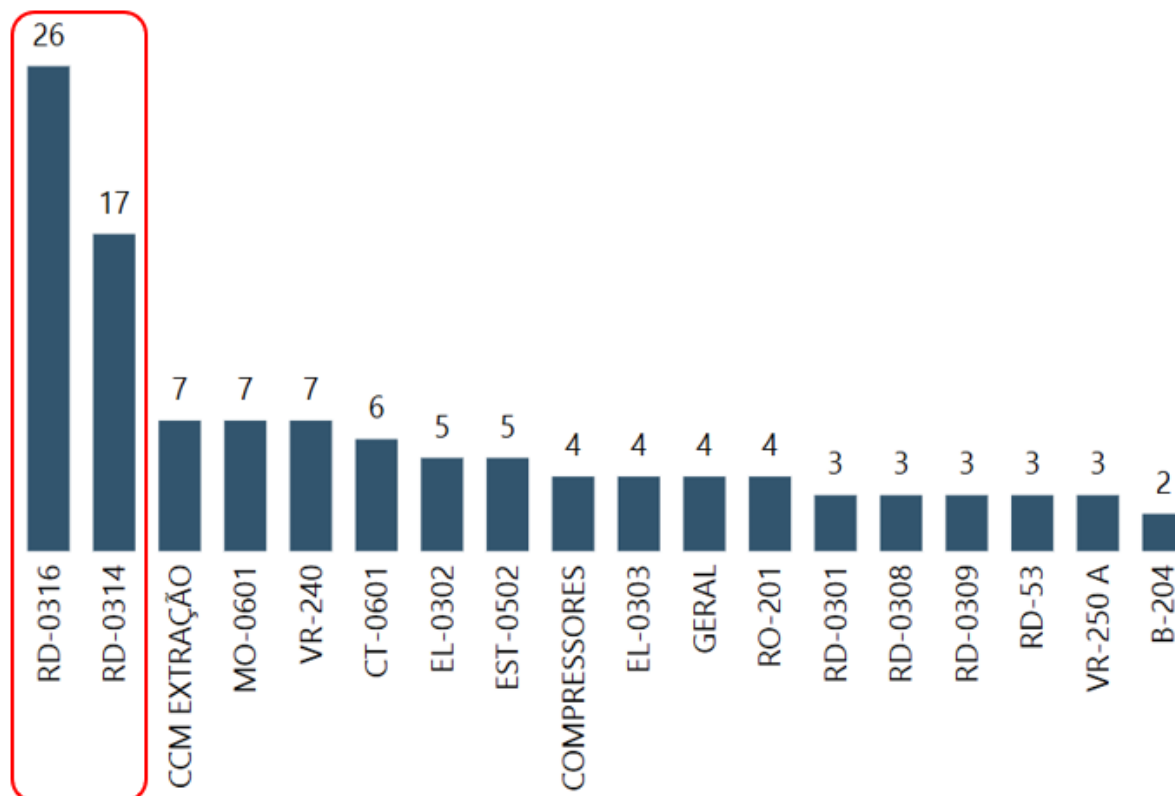
Figura 41 - Layout Anterior de Lançamento de Dados

Área de Transferência	YTD Mês Anterior	Dia 1 01/03/25	Dia 2 02/03/25	Dia 3 03/03/25	Dia 4 04/03/25	Dia 5 05/03/25	Dia 6 06/03/25	Dia 7 07/03/25	Dia 8 08/03/25	Dia 9 09/03/25	Dia 10 10/03/25	Dia 11 11/03/25
Sector												
Recepção (Minutos)	60,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Preparação (Minutos)	607,00	118,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15,00
Expandir (Minutos)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Extração (Minutos)	1.156,00	-	-	51,00	-	-	21,00	-	-	-	-	-
Extrator (Minutos)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DT/DC (Minutos)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Degomagem (Minutos)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caldeira (Minutos)	1.543,00	-	-	-	-	35,00	-	-	-	-	-	-
Energia Elétrica Interna (Minutos)	903,00	141,00	103,00	-	-	-	8,00	-	23,00	6,00	-	-
Energia Elétrica Externa (Minutos)	881,00	77,00	-	16,00	12,00	-	-	-	-	-	-	-
Farelo (Minutos)	288,00	-	-	-	-	10,00	-	-	-	-	-	-
Outros (Minutos)	-	-	-	-	-	-	-	-	131,00	-	-	-
Paradas (Minutos)												
Parada Plan.Comercial (Minutos)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Parada Plan.Logística (Minutos)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Parada Plan.Industrial (Minutos)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tempo Disponível (Minutos)	83.475,00	1.440	1.440	1.440	1.440	1.440	1.440	1.440	1.440	1.440	1.440	1.440
Tempo Utilizado (Minutos)	78.037,00	1.104	1.337	1.373	1.428	1.395	1.411	1.440	1.286	1.434	1.440	1.425
Carga Horária	89,84	118,50	118,50	118,50	118,50	118,50	118,50	118,50	118,50	118,50	118,50	118,50
Nº Paradas x Dia												
Recepção	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Preparação	44,00	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00
Expandir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Extração	28,00	-	-	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	-
Extrator	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DT/DC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Degomagem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caldeira	22,00	-	-	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-
Fuente: Filiação Interna	28,00	1,00	1,00	-	-	-	1,00	-	2,00	1,00	-	-

Fonte: Próprio Autor

O novo modelo permitiu à equipe de gestão identificar as causas das principais falhas e planejar ações corretivas, como exemplificado na Figura 40 abaixo:

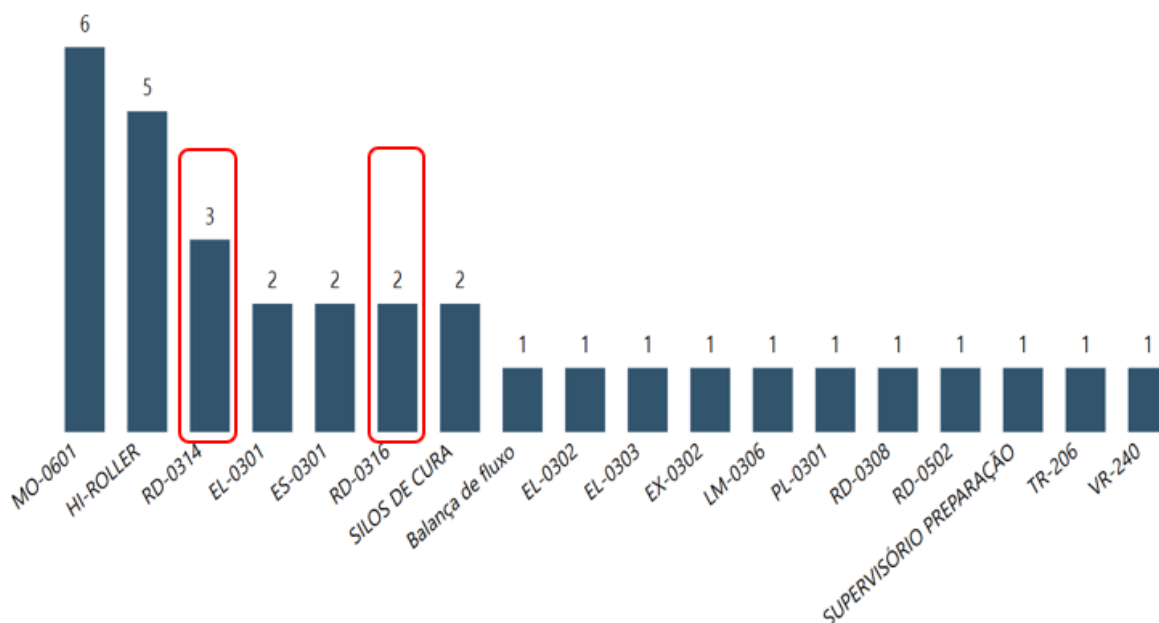
Figura 42 - Pareto de N° de Falhas x Equipamento



Fonte: Próprio Autor

Os equipamentos destacados apresentaram, no intervalo de três meses, um total de 43 falhas, uma média de 14,33 falhas por mês e um MTBF individual consideravelmente baixo: 77 horas para o RD-0316 e 118 horas para o RD-0314. Com o novo modelo, foi identificado que havia recorrência de falhas por sobrecarga, além de um problema na lógica da automação, que provocava o desarme dos equipamentos quando a corrente atingia apenas metade do valor nominal do motor. Após os ajustes realizados, no mês seguinte os equipamentos apresentaram apenas cinco falhas, sendo somente três ocorridas após as correções. Isso resultou em um aumento significativo no MTBF: 258 horas para o RD-0316 e 172 horas para o RD-0314, uma redução de 65% nas falhas. Esses resultados estão ilustrados na Figura 41 a seguir.:

Figura 43 - Pareto de N° de Falhas x Equipamento Após Intervenção



Fonte: Próprio Autor

A adoção de sensores inteligentes para o monitoramento preditivo dos ativos críticos, combinada com a automação de rotinas via scripts em Python e extração de dados por API, elevou significativamente o nível de maturidade da manutenção preditiva na filial. Anteriormente, o processo de análise de condição dos equipamentos dependia de visitas mensais de empresas terceirizadas, com altos custos, acesso a áreas classificadas e exposição a riscos operacionais. Nesse modelo, as avaliações ocorriam apenas uma vez ao mês, limitando a capacidade de resposta frente a falhas iminentes.

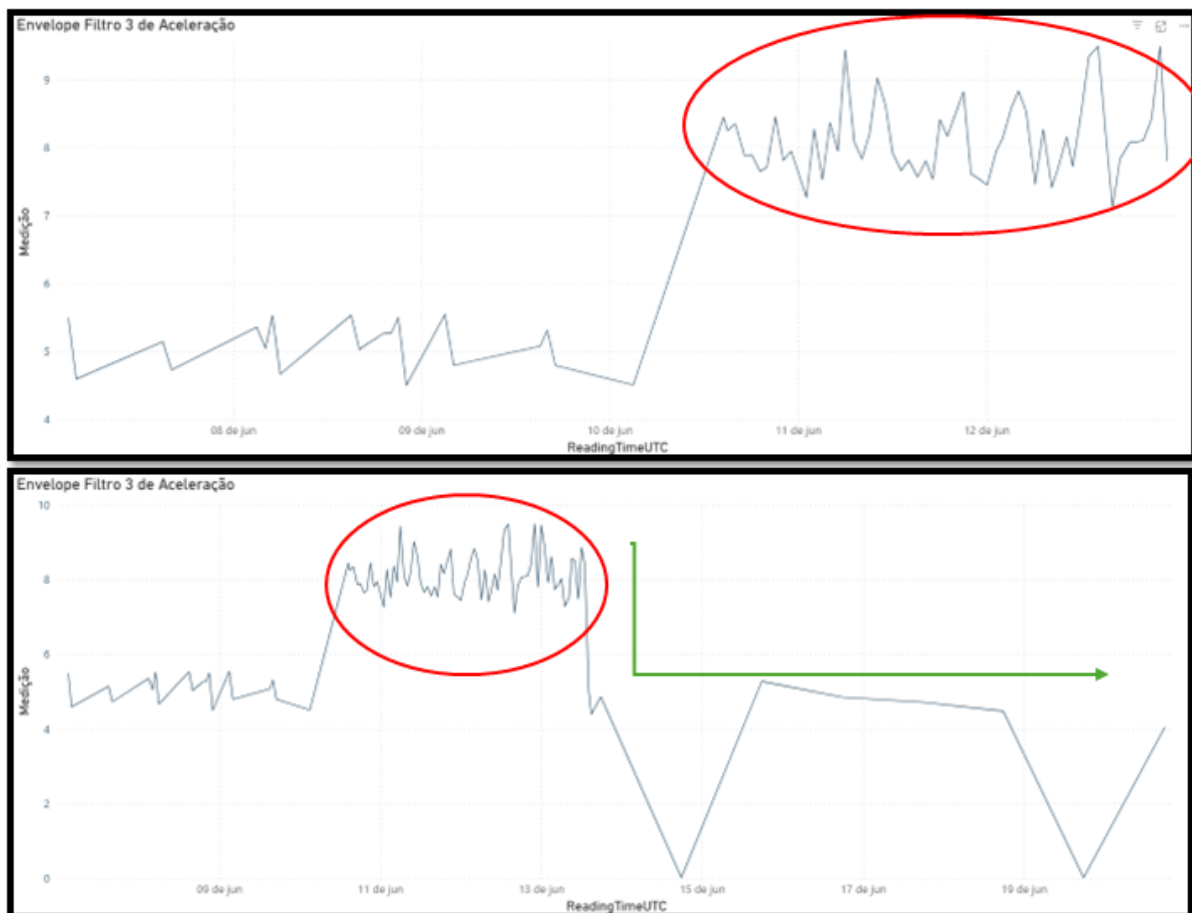
No cenário atual, a coleta de dados ocorre de forma contínua e automatizada, com atualizações em tempo real disponibilizadas diretamente nos dashboards de manutenção. Os equipamentos mais críticos são monitorados por sensores dedicados, que realizam a coleta em tempo real ou de forma automatizada, em intervalos pré-definidos, enquanto os ativos de menor criticidade ainda passam por inspeções periódicas. Essa mudança não apenas aumentou a eficiência na identificação de falhas em estágio inicial, como também contribuiu para a ampliação da vida útil dos ativos, redução das paradas programadas e diminuição do custo com reposição de peças, uma vez que intervenções corretivas se tornaram mais assertivas e pontuais. A tabela a seguir, destaca as principais diferenças entre os métodos:

Tabela 4 - Comparativo Cenários Manutenção Preditiva

Aspecto	Cenário Anterior	Cenário Atual (Preditiva Automatizada)
Custo mensal	R\$ 6.000	R\$ 16.000
Frequência de análise	1 vez por mês	Tempo real e automatizada (equipamentos críticos); periódica (equipamentos menores)
Risco operacional	Acesso a área classificada; exposição humana a riscos	Eliminado para ativos automatizados
Precisão na análise de falhas	Limitada, com base em coleta pontual	Elevada, com dados contínuos e análise automatizada
Intervenção corretiva	Baseada em sintomas visíveis no momento da visita	Baseada em tendência e diagnóstico precoce
Paradas programadas	Mais frequentes, com maiores impactos	Reduzidas, com intervenções mais planejadas e localizadas
Vida útil dos ativos	Potencial reduzido devido à manutenção reativa	Estendida por meio de ações preditivas mais precisas
Custos com peças de reposição	Elevados devido à troca tardia ou preventiva exagerada	Reduzidos com trocas apenas quando necessário

Um exemplo real da aplicação da preditiva, está na figura 42 a seguir. Na parte superior da imagem, observa-se, dentro da área destacada em vermelho, uma alteração significativa na tendência dos dados, indicando um comportamento atípico em relação ao padrão de operação do equipamento. Essa variação abrupta nos sinais foi identificada como um indicativo precoce de degradação na lubrificação dos mancais e dos rolamentos do motor:

Figura 444 - Espectro Análises Preditiva



Fonte: Próprio Autor

Com base no laudo técnico elaborado pela equipe de manutenção preditiva, foi recomendada e executada a instalação de um sistema de lubrificação automática nos pontos críticos rotativos do equipamento, conforme apresentados na figura 43 a seguir. Essa intervenção visou garantir a lubrificação contínua e adequada, mitigando o desgaste acelerado e restaurando a condição operacional ideal.

Figura 455 - Sistema de Lubrificação Instalado



Fonte: Próprio Autor

A eficácia da ação corretiva é evidenciada na parte inferior da Figura 42, onde a tendência do sinal retorna a níveis estáveis, conforme destacado pela seta verde. O equipamento em questão trata-se do ventilador primário do sistema de exaustão do setor da Caldeira da filial. Por se tratar de um ativo extremamente crítico, cuja falha acarretaria a interrupção total da produção, estima-se que a parada corretiva evitada teria duração mínima de 6 horas, considerando a substituição do rolamento e a retomada da operação.

Esse resultado demonstra não apenas a efetividade técnica da intervenção, mas também a importância do monitoramento contínuo e da resposta rápida às anomalias detectadas, pilares fundamentais da manutenção preditiva orientada por dados. O uso de sensores e a análise de tendência possibilitaram uma ação corretiva direcionada antes da ocorrência de falhas críticas, evitando paradas não planejadas e contribuindo para a prolongação da vida útil do ativo monitorado.

No âmbito da análise de falhas, a padronização dos registros e a vinculação direta entre os eventos, suas causas e as ações corretivas propostas permitiram uma gestão mais estruturada, transparente e rastreável. Houve um aumento expressivo no número de planos de ação efetivamente implementados e acompanhados, além de uma redução significativa na reincidência de falhas semelhantes em curtos intervalos de tempo, sinalizando um avanço concreto no processo de aprendizado organizacional e na retenção do conhecimento técnico.

Esses resultados estão diretamente relacionados ao aumento da confiabilidade das informações, à capacidade de atuação proativa diante de desvios operacionais e

à tomada de decisão embasada em dados concretos, atualizados e historicamente consolidados. A nova abordagem consolidou um modelo de gestão de manutenção mais moderno, responsivo e alinhado aos princípios da Indústria 4.0, com forte ênfase em conectividade, automação e inteligência de dados.

Além disso, essa transformação tem gerado impactos mensuráveis no desempenho operacional, como a redução de custos com falhas repetitivas, o aumento da disponibilidade de ativos críticos e a melhoria na priorização das intervenções técnicas. A combinação de tecnologia, padronização e cultura analítica fortaleceu a governança da manutenção e criou um ambiente propício à melhoria contínua, à sustentabilidade operacional e à antecipação de falhas com alto potencial de impacto produtivo.

5. CONCLUSÃO

A partir da identificação de uma necessidade real no ambiente industrial, a morosidade, a descentralização e a falta de padronização na gestão dos indicadores de manutenção, este trabalho demonstrou como a adoção de tecnologias da Indústria 4.0, aliadas à Power Platform da Microsoft®, pode transformar significativamente a forma como os dados operacionais são coletados, analisados e utilizados na tomada de decisões.

A implantação de *dashboards* integrados e atualizados automaticamente, em conjunto com o desenvolvimento de um aplicativo para o registro das paradas de fábrica, resultou em um ganho expressivo de eficiência na gestão da manutenção. O tempo de atualização dos indicadores, que anteriormente chegava a até 15 dias, foi reduzido para apenas uma hora. Com isso, a confiabilidade dos dados aumentou substancialmente, permitindo diagnósticos mais rápidos e intervenções corretivas mais eficazes. Indicadores como MTBF, MTTR, NSDT e NIDT passaram a ser monitorados em tempo quase real, fornecendo suporte estratégico à tomada de decisão.

Outro destaque foi a democratização do acesso às informações operacionais, promovendo uma gestão mais participativa, transparente e alinhada entre os diferentes níveis hierárquicos. A padronização dos registros e a visualização clara dos dados fortaleceram a cultura de melhoria contínua e facilitaram a identificação e o tratamento das principais causas de falhas.

A integração com sensores inteligentes e a automação da coleta de dados via API também demonstraram sua robustez e confiabilidade, permitindo o avanço da manutenção preditiva para níveis mais maduros e eficazes. Isso contribuiu para a redução da reincidência de falhas, maior disponibilidade dos ativos e melhorias nos indicadores de eficiência operacional.

Do ponto de vista estratégico, a solução desenvolvida se mostrou escalável e aplicável a outros contextos industriais com desafios semelhantes. Sua replicabilidade, aliada à flexibilidade de integração com futuras tecnologias, como inteligência artificial e Internet das Coisas (IoT), amplia seu potencial de impacto na transformação digital do setor industrial.

Em síntese, conclui-se que a digitalização e automação da gestão de dados e KPI's industriais não apenas solucionam gargalos operacionais, mas também inauguram um novo patamar de governança, agilidade e inteligência na gestão da manutenção. O projeto contribui diretamente para a consolidação de uma indústria mais moderna, responsiva e orientada por dados, em consonância com os princípios da Indústria 4.0.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. (2019). Integração entre Power Platform e Power BI: potencializando a análise de dados. In: Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia de Software, v. 1, n. 1, p. 123-130.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade: elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- BROUS, P.; JANSSEN, M.; HERDER, P. (2018). "Internet of Things adoption for reconfiguring decision-making processes in asset management." *Business Process Management Journal*, v. 25, n. 3, p. 495-511.
- CANDÓN, E.; MARTÍNEZ-GALÁN, P.; DE LA FUENTE, A.; GONZÁLEZ-PRIDA, V.; CRESPO MÁRQUEZ, A.; GÓMEZ, J.; SOLA, A.; MACCHI, M. (2019). "Implementing Intelligent Asset Management Systems (IAMS) within an Industry 4.0 Manufacturing Environment." *IFAC PapersOnLine*, 52(13), 2488–2493.
- CASTRO, Mário João Maia de Sampaio. Gestão da manutenção na competitividade das PME do setor industrial transformador português. 2013. Tese (Mestrado em Gestão) – Instituto Superior de Gestão, Lisboa, 2013.
- CINTRA, Leandro Pinheiro. Indústria 4.0 e transformação digital: uma discussão conceitual, sob perspectiva neoschumpeteriana, que inclui políticas de CT&I e catch up. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/server/api/core/bitstreams/70507671-a0f1-446a-bd46-6549f6dbb676/content>. Acesso em: 25 jul. 2025.
- COELHO, F. (2017). SharePoint: Gestão e Produtividade. FCA Editora.
- COUTINHO, Rui. "Gestão de ativos físicos aplicada às infraestruturas." *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas*, v. 3, n. 4, p. 113-118, 2017.
- FERREIRA, Anete Rodrigues. Proposta de Soluções da Power Platform Para Gestão de Laboratório da Engenharia Civil. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/248474/TCC_final.pdf. Acesso em: 15 jul. 2025.
- FERREIRA, J. (2021). Power Platform e suas possibilidades de integração com o Power BI. *Revista de Informática Aplicada*, 17(2), 45-54.
- FULLERTON, R. R.; KENNEDY, F. A.; WIDENER, S. K. (2014). Lean manufacturing and firm performance: the incremental contribution of lean management accounting practices. *Journal of Operations Management*., 2014.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. Métodos de Pesquisa. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GONÇALVES, Hélder Ricardo Domingues. Gestão da manutenção na Indústria 4.0. 2022. Relatório de Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Instituto Politécnico de Setúbal, Escola Superior de Tecnologia de Setúbal (IPS). Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstreams/704bf6eb-ab99-4fa3-9158-48f831f5725a/download>. Acesso em: 25 jul. 2025.

GREGÓRIO, G. F. P.; SILVEIRA, A. M. Manutenção Industrial. Porto Alegre: Sagah, 2018.

HOCKIN, J. (2019). Power Apps and Power BI. Microsoft® Press.

IBM. (2019). Understanding the impact and value of enterprise asset management. Somers, NY: IBM Corporation.

KOHUT, Eduardo Alexsander. Utilização de Business Intelligence no Planejamento e Controle da Manutenção para a Automação da Análise de Dados. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, 2024. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/37085/1/businessintelligenceautomacaoanalisedados.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2025.

MCKINNEY, Wes. Python for Data Analysis: data wrangling with pandas, NumPy, and Jupyter. 3. ed. Beijing; Boston: O'Reilly, 2022.

MICROSOFT®. Connect to data in Power BI. (2023g). Disponível em: <https://docs.microsoft.com/en-us/power-bi/connect-data>. Acesso em: 05 jul. 2025.

MICROSOFT®. Connectors overview. (2023h). Disponível em: <https://docs.microsoft.com/en-us/connectors/>. Acesso em: 27 jun. 2025.

MICROSOFT®. O que é Power BI. Março, 2023. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/fundamentals/power-bi-overview>. Acesso em: 20 jun. 2023.

MICROSOFT®. O que é Power BI Desktop? Março, 2023. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/fundamentals/desktop-what-is-desktop>. Acesso em: 20 jun. 2023.

MICROSOFT®. Power Apps: A low-code platform for building apps. (2023a). Disponível em: <https://powerapps.microsoft.com/en-us/low-code-platform/>. Acesso em: 25 jun. 2025.

MICROSOFT®. Power Automate: Power Automate guidance documentation. (2023d). Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/power-automate/guidance/>. Acesso em: 29 jun. 2025.

MICROSOFT®. Power BI: Business Intelligence for everyone. (2023b). Disponível em: <https://powerbi.microsoft.com/en-us/what-is-power-bi/>. Acesso em: 29 jun. 2025.

MICROSOFT®. Power Virtual Agents overview. (2023e). Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/power-virtual-agents/fundamentals-what-is-power-virtual-agents>. Acesso em: 29 jun. 2025.

MICROSOFT®. SharePoint: Share and manage content, knowledge, and applications. (2023f). Disponível em: <https://sharepoint.microsoft.com/>. Acesso em: 29 jun. 2025.

MICROSOFT®. What is Power Platform? (2023c). Disponível em: <https://powerplatform.microsoft.com/en-us/what-is-power-platform/>. Acesso em: 29 jun. 2025.

MONCHY, François. A Função Manutenção. São Paulo: Durban, 1987.

MORAES, Paulo Henrique de Almeida. Manutenção produtiva total: estudo de caso em uma empresa automobilística. Taubaté: UNITAU, 2004.

PANDAS. Pandas documentation. Disponível em: <https://pandas.pydata.org/docs/>. Acesso em: 05 jun. 2025.

PANDAS. pandas.DataFrame — pandas 2.2.2 documentation. Disponível em: <https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/reference/api/pandas.DataFrame.html>. Acesso em: 05 jun. 2025.

PANDAS DEVELOPMENT TEAM. pandas-dev/pandas: Pandas 2.2.2. Zenodo, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1153450>. Acesso em: 05 jun. 2025.

PARMENTER, David. Key Performance Indicators: developing, implementing, and using winning KPIs. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2020.

PETCHROMPO, S.; PARLIKAD, A. K. (2019). "A review of asset management literature on multiasset systems." Reliability Engineering and System Safety, v. 181, p. 181-201.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. Python 3.13.5 documentation. Disponível em: <https://docs.python.org/3/>. Acesso em: 05 jun. 2025.

QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. 6th International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV). Bath: Procedia CIRP, p. 173-178.

RELIABILITYWEB. Upgrade to SKF @ptitude Observer condition monitoring software released. ReliabilityWeb News, 2025. Disponível em: <https://reliabilityweb.com/news/article/upgrade-to-skf-ptitude-observer-condition-monitoring-software-released>. Acesso em: 10 jul. 2025.

RITTHALER, R. (2017). Digital Transformation Made Simplr. Hewlett Packard Enterprise. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/095540962.191611233?journalCode=rpmm20>. Acesso em: 25 jun. 2025.

SACOMANO, José Benedito et al. Indústria 4.0: conceitos e fundamentos. São Paulo: Blucher, 2018.

SANTOS, Marcos. Indústria 4.0: desafios e oportunidades para o Brasil. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/10423/2/Industria_4_0.pdf. Acesso em: 25 jul. 2025.

SCHWAB, Klaus. The Fourth Industrial Revolution. Genebra: World Economic Forum, 2016.

SILVA, J. (2020). Power Apps e SharePoint: uma combinação poderosa. Revista de Tecnologia da Informação, 12(3), 45-56.

SKF. SKF @ptitude Observer – software de diagnóstico e monitoramento de condição de máquinas. In: Manual de usuário SKF @ptitude Observer. Disponível em: <https://manualzz.com/doc/6713241/skf-@ptitude-observer-machine-diagnostics-software-user-manual>. Acesso em: 10 jul. 2025.

SKF. Software @ptitude Observer – Condition Monitoring Systems: software. SKF Brasil. Disponível em: <https://www.skf.com/br/products/condition-monitoring-systems/software/aptitude-observer>. Acesso em: 10 jul. 2025.

SKF. This is SKF – About SKF. SKF (site oficial). Disponível em: <https://investors.skf.com/en/this-is-skf/>. Acesso em: 10 jul. 2025.

SLACK, Nigel; JOHNSTON, Robert; CHAMBERS, Stuart. Administração da Produção. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. Planejamento e Controle da Manutenção. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

WYREBSKI, Jerzy. Manutenção Produtiva Total – Um Modelo Adaptado. 1997. Dissertação (M.Sc.) – UFSC, Florianópolis, 1997. Disponível em: <http://www.eps.ufsc.br/disserta98/jerzy/>.

ZAMPOLLI, M. Gestão de Ativos: guia para aplicação da Norma ABNT NBR ISO 55001. Santiago-CL: International Copper Association, 2015. p. 43-46.