



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Graduação em Engenharia de Controle e Automação



Felipe Barbosa Filizola

**Monitoramento e análise de motores e motorredutores elétricos
utilizando *Business Intelligence***

Ouro Preto
2026

Felipe Barbosa Filizola

Monitoramento e análise de motores e motorreduzores elétricos utilizando *Business Intelligence*

Trabalho apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro(a) de Controle e Automação.

Orientadora: Adrielle de Carvalho Santana, Dra.

Ouro Preto

2026



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E
AUTOMACAO



FOLHA DE APROVAÇÃO

Felipe Barbosa Filizola

Monitoramento e análise de motores e motorredutores elétricos utilizando *Business Intelligence*

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação

Aprovada em 11 de fevereiro de 2026

Membros da banca

Profa. Dra. Adrielle de Carvalho Santana - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Caio Fernando Teixeira Portela - Convidado - Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Caio Meira Amaral da Luz - Convidado - Universidade Federal de Ouro Preto

Adrielle de Carvalho Santana, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 18/02/2026



Documento assinado eletronicamente por **Adrielle de Carvalho Santana, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/02/2026, às 12:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1054594** e o código CRC **4371E8B9**.

Resumo

O monitoramento sistemático de motores e motorreduutores elétricos é essencial para aumentar a confiabilidade operacional e orientar intervenções de manutenção com maior previsibilidade, especialmente em ambientes industriais onde já existem dados técnicos anteriormente medidos disponíveis e passíveis de consolidação. Nesse contexto, este trabalho propõe e desenvolve uma solução de *Business Intelligence* (BI) para o monitoramento e a análise desses ativos a partir de resultados de ensaios elétricos registrados em formulário eletrônico. Inicialmente, realizou-se o inventário dos ativos do escopo, consolidando informações cadastrais e técnicas para garantir rastreabilidade e integração dos dados. Em seguida, estruturou-se uma matriz de decisão para classificar a condição dos equipamentos com base em critérios definidos, incluindo resistência de isolamento (RTG, do inglês *Resistance to Ground*), índice de absorção, índice de polarização e desequilíbrio de resistência entre fases, associando recomendações de manutenção e prazos médios de intervenção. A etapa de extração, transformação e carregamento (ETL) foi implementada no Power BI Desktop, por meio de integração via Web com a API do formulário e da importação de tabelas de apoio em planilhas eletrônicas. Após o tratamento no Power Query e a modelagem no ambiente analítico, foram criadas colunas calculadas e medidas em DAX para viabilizar a classificação automática, a consolidação dos registros e a construção de indicadores. Como resultado, foi desenvolvido um *dashboard* com páginas de visão geral e priorização, permitindo consulta aos registros, acompanhamento temporal dos ensaios e identificação de exceções com recomendação e prazo associados. A solução diminui o esforço manual de consolidação e interpretação dos ensaios e apoia a tomada de decisão e o planejamento de manutenção orientados a dados.

Palavras-chaves: *Business Intelligence*; *Power BI*; motores elétricos; motorreduutores; ensaios elétricos; resistência de isolamento; resistência ôhmica dos enrolamentos; manutenção.

Abstract

Systematic monitoring of electric motors and gearmotors is essential to increase operational reliability and to support more predictable maintenance interventions, especially in industrial environments where previously measured technical data is available and can be consolidated. In this context, this study proposes and develops a *Business Intelligence* (BI) solution for monitoring and analyzing these assets based on electrical test results recorded through an electronic form. First, an asset inventory was carried out, consolidating registration and technical information to ensure data traceability and integration. Next, a decision matrix was structured to classify equipment condition according to defined criteria, including insulation resistance (RTG, *Resistance to Ground*), absorption index, polarization index, and phase-to-phase winding resistance unbalance, associating maintenance recommendations and average intervention timeframes. The extract, transform, and load (ETL) stage was implemented in Power BI Desktop through Web integration with the form API and the import of supporting tables from spreadsheets. After processing in Power Query and modeling in the analytical environment, calculated columns and DAX measures were created to enable automatic classification, record consolidation, and the construction of indicators. As a result, a dashboard was developed with overview and prioritization pages, allowing record consultation, temporal tracking of tests, and identification of exceptions with associated recommendations and deadlines. The solution reduces manual effort in consolidating and interpreting test results and supports data-driven decision-making and maintenance planning.

Key-words: *Business Intelligence*; *Power BI*; electric motors; gearmotors; electrical testing; insulation resistance; stator winding resistance; maintenance.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Técnicas de manutenção em modificação	15
Figura 2 – Tipos de manutenção	16
Figura 3 – Exemplo de matriz de risco	17
Figura 4 – Motor elétrico de indução trifásico instalado em campo	19
Figura 5 – Vista longitudinal de um motor trifásico do tipo gaiola de esquilo	20
Figura 6 – Motorreductor instalado em campo	21
Figura 7 – Variação aproximada da resistência de isolamento com a temperatura para máquinas elétricas girantes	23
Figura 8 – Arquitetura de Business Intelligence aplicada à manutenção	26
Figura 9 – Os quatro objetivos do <i>self-service BI</i>	28
Figura 10 – Interface do Microsoft Power BI Desktop	28
Figura 11 – Exemplo de código em linguagem DAX	30
Figura 12 – Fluxo de dados e etapas do sistema de monitoramento baseado em BI.	31
Figura 13 – Estrutura do inventário de ativos	33
Figura 14 – Estrutura da matriz de decisão	37
Figura 15 – Criação do formulário de registro de ensaios	38
Figura 16 – Seção de identificação do registro e do ativo do formulário	39
Figura 17 – Seção de condições do ensaio do formulário	40
Figura 18 – Seção de resistência de isolamento do formulário	40
Figura 19 – Seção de resistência ôhmica dos enrolamentos do formulário	41
Figura 20 – Seção de anexos e observações do formulário	42
Figura 21 – Obtenção de dados do formulário no <i>Power BI Desktop</i>	43
Figura 22 – Consulta após a expansão em colunas.	43
Figura 23 – Editor Avançado com o código M.	44
Figura 24 – Tabela de respostas do formulário estruturada após transformação no <i>Power Query</i>	44
Figura 25 – Obtenção de dados da matriz de decisão no <i>Power Query</i>	45
Figura 26 – Tabela de respostas da matriz de decisão estruturada após transformação no <i>Power Query</i>	46
Figura 27 – Faixas de desequilíbrio em formato categórico.	47
Figura 28 – Fator de correção da resistência de isolamento.	47
Figura 29 – Resistência de isolamento após a correção.	47
Figura 30 – Faixas de resistência de isolamento em formato categórico.	48
Figura 31 – Contagem de ensaios.	48
Figura 32 – Data atual do relatório.	48
Figura 33 – Segmentações do <i>dashboard</i>	49

Figura 34 – Bloco de "Informações Gerais".	50
Figura 35 – Bloco de "Resistência de Isolamento" filtrado por uma TAG.	50
Figura 36 – Bloco de "Resistência Ôhmica dos Enrolamentos" filtrado por uma TAG.	51
Figura 37 – Bloco de "Análise de Falhas".	52

Lista de tabelas

Tabela 1	–	Valores do IP e do IA recomendados por fabricantes de motores elétricos	24
Tabela 2	–	Valor de tensão de ensaio para medição da resistência de isolamento . .	25
Tabela 3	–	Relação da resistência de isolamento com uma condição qualitativa . .	25
Tabela 4	–	Distribuição dos ativos inventariados por famílias de equipamentos. . .	34
Tabela 5	–	Faixas de desequilíbrio de resistência entre fases utilizadas na matriz. .	36

Lista de abreviaturas e siglas

BI	<i>Business Intelligence</i>
CCM	Centro de Controle de Motores
DAX	<i>Data Analysis Expressions</i>
ETL	<i>Extract, Transform, and Load</i>
IA	Índice de Absorção
IP	Índice de Polarização
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
MTTR	<i>Mean Time to Repair</i>
OM	Ordem de Manutenção
RTG	<i>Resistance to Ground</i>

Lista de símbolos

$R_{30\text{ s}}$	Resistência de isolamento medida em 30 s
$R_{1\text{ min}}$	Resistência de isolamento medida em 1 min
$R_{10\text{ min}}$	Resistência de isolamento medida em 10 min
R_{max}	Maior valor de resistência ôhmica medido entre fases
R_{min}	Menor valor de resistência ôhmica medido entre fases
IA	Índice de absorção
IP	Índice de polarização
D	Desequilíbrio de resistência entre fases

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Problema de pesquisa	12
1.2	Objetivos	12
1.2.1	Objetivo geral	12
1.2.2	Objetivos específicos	13
1.3	Justificativa	13
1.4	Estrutura do trabalho	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	Manutenção industrial e gestão de ativos	14
2.1.1	Estratégias de manutenção: corretiva, preventiva, preditiva e detectiva	15
2.1.2	Gestão de ativos, criticidade e priorização	17
2.1.3	Indicadores de manutenção, confiabilidade e qualidade dos registros	18
2.2	Motores elétricos e motorredutores	19
2.2.1	Classificação e aplicações industriais	19
2.2.2	Motores de indução trifásicos: princípio de funcionamento e aspectos construtivos	20
2.2.3	Sistema de isolamento do estator e mecanismos de degradação	20
2.2.4	Motorredutores: características e influência no comportamento do acionamento	21
2.3	Ensaio elétrico	22
2.3.1	Resistência de isolamento	22
2.3.1.1	Correção por temperatura e uso do fator de correção	23
2.3.1.2	Índice de absorção e índice de polarização	23
2.3.1.3	Seleção da tensão de ensaio e boas práticas	24
2.3.1.4	Crítérios de aceitação por valor de resistência de isolamento	24
2.3.2	Resistência ôhmica dos enrolamentos	25
2.3.2.1	Indicador de desequilíbrio entre fases	25
2.4	Business Intelligence	26
2.4.1	Conceitos de BI e ciclo de transformação dado–informação	27
2.4.2	Microsoft Power BI	28
2.4.3	ETL no Power Query e modelagem	29
2.4.4	DAX e indicadores	29
3	DESENVOLVIMENTO	31
3.1	Metodologia	31
3.2	Caracterização da área e inventário de ativos	32

3.2.1	Organização do inventário de ativos	32
3.2.2	Composição do parque de ativos no escopo	33
3.2.3	Papel do inventário na integração dos dados	34
3.3	Critérios e matriz de decisão	35
3.3.1	Critérios utilizados na avaliação	35
3.3.2	Classificação dos indicadores	36
3.3.3	Construção da matriz de decisão	36
3.3.4	Saídas da matriz: recomendação e prazo	37
3.4	Instrumento de coleta	38
3.4.1	Seção de identificação do registro e do ativo	39
3.4.2	Seção de condições do ensaio	39
3.4.3	Seção de resistência de isolamento	40
3.4.4	Seção de resistência ôhmica dos enrolamentos	41
3.4.5	Seção de anexos e observações	41
3.5	Extração, Transformação e Carregamento de Dados	42
3.5.1	Extração dos dados do formulário	42
3.5.1.1	Transformação no <i>Power Query Editor</i>	43
3.5.1.1.1	Consulta principal de respostas (tabela pivotada)	44
3.5.2	Extração dos dados da matriz de decisão	45
3.5.3	Carregamento e preparação para atualização	46
3.6	Construção dos indicadores	46
3.6.1	Criação de colunas calculadas	46
3.6.2	Criação de medidas para consolidação	48
3.6.3	Síntese da etapa de construção	48
4	RESULTADOS	49
4.1	Visão geral do relatório e recortes de análise	49
4.2	Página “Gestão dos Motores Elétricos”	49
4.2.1	Informações gerais: tabela de registros	50
4.2.2	Resistência de isolamento: séries temporais e leitura por status	50
4.2.3	Resistência ôhmica dos enrolamentos: desequilíbrio e volume de testes	51
4.3	Página “Análise de Falhas”	51
5	CONCLUSÃO	53
5.1	Trabalhos futuros	54
	Referências	55

1 Introdução

A confiabilidade de motores e motorreduutores elétricos é determinante para a continuidade operacional em ambientes industriais, especialmente em plantas com grande quantidade de ativos distribuídos em diferentes áreas e com janelas de manutenção restritas. Nesse contexto, não basta apenas executar ensaios: é necessário organizar e interpretar os resultados de forma consistente, transformando medições em informações úteis para priorização e tomada de decisão.

Ensaio elétricos como resistência de isolamento e resistência ôhmica dos enrolamentos são amplamente empregados para avaliar a condição do sistema isolante, identificar tendências de degradação e apontar indícios de anomalias, como umidade, contaminação, envelhecimento térmico e desequilíbrios entre fases. Entretanto, na prática, os dados gerados frequentemente permanecem descentralizados em relatórios e planilhas sem padronização, o que dificulta análises históricas, comparações entre equipamentos e a consolidação de uma visão gerencial do processo.

Diante desse cenário, técnicas de *Business Intelligence* (BI) podem contribuir ao integrar, tratar e disponibilizar dados em painéis interativos, apoiando a identificação de padrões e a tomada de decisão baseada em evidências.

1.1 Problema de pesquisa

Mesmo com a realização recorrente de ensaios elétricos em motores e motorreduutores, a ausência de um processo unificado para padronização, consolidação e análise histórica pode limitar a capacidade de identificar tendências e priorizar intervenções. Assim, define-se o problema central deste trabalho: como estruturar um sistema que integre os dados de ensaios elétricos de motores e motorreduutores e os converta em informações gerenciais e recomendações de manutenção, por meio de ferramentas de *Business Intelligence* (BI)?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver uma solução de monitoramento e análise de motores e motorreduutores elétricos utilizando *Business Intelligence* (BI), capaz de integrar dados de ensaios elétricos, gerar indicadores, identificar tendências e apoiar a tomada de decisão de manutenção em um estudo de caso realizado em uma mineradora de grande porte.

1.2.2 Objetivos específicos

- Levantar e organizar o cadastro de equipamentos, padronizando a identificação dos ativos e atributos relevantes para análise.
- Estruturar uma matriz de decisões que relacione combinações de resultados/condições a ações recomendadas e prazos médios de intervenção.
- Implementar um formulário padronizado para coleta dos ensaios elétricos, visando reduzir erros de preenchimento e garantir consistência dos registros.
- Extrair, tratar e integrar dados no Power BI para criar um modelo analítico e dashboards interativos com acompanhamento histórico, filtros por localidade, equipamento e ordens de manutenção, e visualização de status, tendências e recomendações.

1.3 Justificativa

A justificativa deste trabalho está associada a três aspectos principais. O primeiro refere-se ao impacto operacional de falhas em motores e motorredutores, que podem provocar paradas não programadas e custos elevados. O segundo diz respeito à necessidade de padronização e rastreabilidade, uma vez que a padronização do cadastro e da coleta reduz inconsistências e melhora a qualidade do dado. Por fim, destaca-se a tomada de decisão orientada a dados, em que o uso de BI contribui ao consolidar medições em indicadores e classificações, tornando a priorização de ações mais objetiva e auditável.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

- O Capítulo 1 apresenta a contextualização, problema, justificativa e objetivos.
- O Capítulo 2 aborda os fundamentos teóricos relacionados à manutenção, ensaios elétricos em motores/motorredutores e conceitos de Business Intelligence aplicados à tomada de decisão.
- O Capítulo 3 descreve a metodologia e o desenvolvimento da solução, incluindo base cadastral, matriz de decisões, formulário de coleta, tratamento, modelagem e implementação no Power BI.
- O Capítulo 4 apresenta os resultados, os dashboards desenvolvidos, as análises obtidas e a discussão dos principais achados.
- O Capítulo 5 reúne as conclusões, limitações e sugestões de trabalhos futuros.

2 Revisão de Literatura

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos necessários para contextualizar o desenvolvimento de uma solução de monitoramento e análise de motores e motorreduzores elétricos com apoio de *Business Intelligence* (BI). A revisão contempla conceitos de manutenção industrial e gestão de ativos, aspectos construtivos e modos de falha associados a motores e motorreduzores, princípios e interpretação de ensaios elétricos aplicados ao diagnóstico (com ênfase em resistência de isolamento e resistência ôhmica de enrolamentos) e, por fim, conceitos de BI voltados ao suporte à decisão na manutenção.

2.1 Manutenção industrial e gestão de ativos

A manutenção industrial pode ser compreendida como o conjunto de ações técnicas e administrativas destinadas a manter ou recolocar um equipamento em condições de desempenhar a função requerida, assegurando níveis aceitáveis de segurança, confiabilidade e desempenho do processo. Em plantas industriais de grande porte, a complexidade operacional e a elevada quantidade de ativos tornam a manutenção determinante para a continuidade produtiva, uma vez que falhas podem resultar em paradas não programadas, impactos à segurança e aumento de custos associados à indisponibilidade e à correção emergencial (KARDEC; NASCIF, 2009).

Ao longo das últimas décadas, a manutenção evoluiu de um enfoque predominantemente corretivo para abordagens mais estruturadas, com maior ênfase em prevenção e predição, apoiadas por dados e por métodos de confiabilidade. Essa evolução está associada à necessidade de elevar a disponibilidade operacional e reduzir custos do ciclo de vida, sobretudo em ambientes com elevada criticidade e restrições de janela para intervenções. Nesse cenário, a padronização de registros, o monitoramento de condição e a utilização de indicadores tornam-se essenciais para aumentar a previsibilidade e apoiar decisões consistentes (MOUBRAY, 1997). Essa transição e a ampliação do uso de técnicas de manutenção baseadas em planejamento e em condição são sintetizadas na Figura 1.

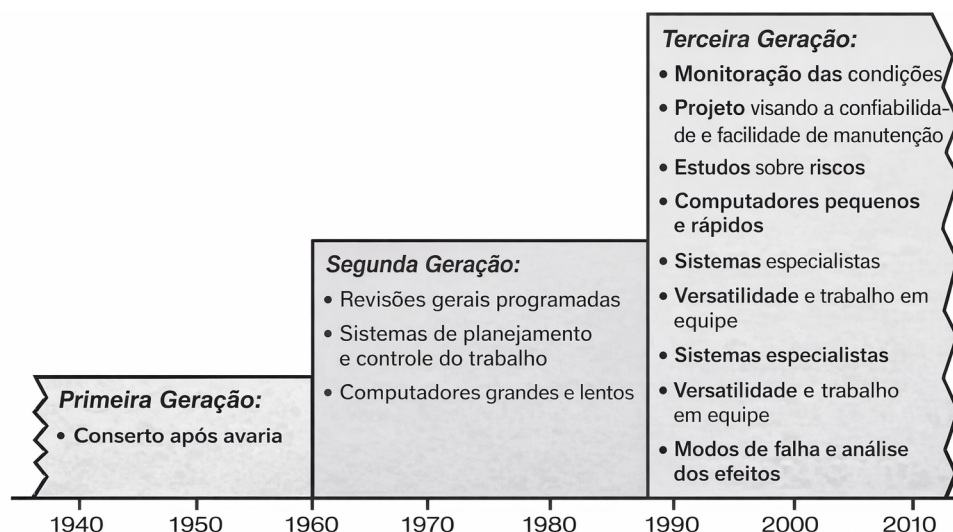


Figura 1 – Técnicas de manutenção em modificação. Fonte: Adaptado de [Moubray \(1997\)](#).

A gestão de ativos amplia essa perspectiva ao considerar o ativo em todo o seu ciclo de vida, desde especificação e aquisição até operação, manutenção e desativação. A família ISO 55000 estabelece princípios para a gestão de ativos, destacando o alinhamento entre objetivos organizacionais e decisões relacionadas aos ativos, com foco no equilíbrio entre desempenho, risco e custo. Assim, a manutenção é entendida como componente estratégico da gestão de ativos, pois contribui para preservar valor, reduzir riscos e sustentar o desempenho requerido do sistema produtivo ([INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2014](#)).

2.1.1 Estratégias de manutenção: corretiva, preventiva, preditiva e detectiva

As estratégias de manutenção podem ser organizadas conforme o *gatilho* que determina a intervenção e o grau de planejamento associado. Considerando a classificação apresentada na Figura 2, destacam-se as manutenções corretiva (planejada e não planejada), preventiva, preditiva e detectiva. Essa organização auxilia a compreender como cada abordagem se relaciona com o risco de falha, a disponibilidade do ativo e a necessidade de informação confiável para tomada de decisão ([KARDEC; NASCIF, 2009](#)).

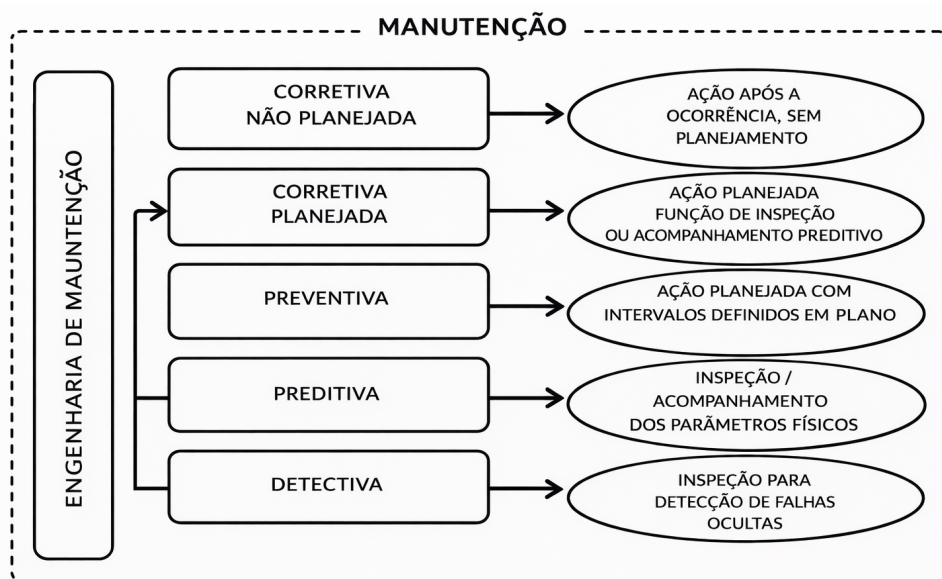


Figura 2 – Tipos de manutenção. Fonte: Adaptado de [Kardec e Nascif \(2009\)](#).

A manutenção corretiva ocorre após a falha ou após a ocorrência de um evento que compromete a função requerida do equipamento, com o objetivo de restaurar sua operação. Na forma não planejada, a intervenção é executada sem programação prévia, normalmente em resposta a uma parada inesperada, o que tende a ampliar impactos sobre produção, segurança e custos, devido à mobilização emergencial de recursos e à maior probabilidade de danos secundários. Já a corretiva planejada é aplicada quando a falha é tolerável ou quando a degradação é conhecida e permite que a intervenção seja programada, reduzindo impactos operacionais e possibilitando melhor alocação de recursos ([KARDEC; NASCIF, 2009](#)).

A manutenção preventiva é caracterizada por ações planejadas em intervalos definidos, como tempo, número de ciclos ou horas de operação. Essa abordagem aumenta a previsibilidade do planejamento e pode reduzir a incidência de falhas aleatórias; contudo, quando aplicada de forma estritamente calendarizada, pode levar a intervenções prematuras (com troca antecipada de componentes) ou tardias (quando o mecanismo de degradação se acelera), especialmente se não considerar ambiente, regime de carga e histórico do ativo ([JARDINE; LIN; BANJEVIC, 2006](#)). Assim, programas preventivos tendem a ser mais eficazes quando combinados com inspeções e verificações que permitam ajustar periodicidades e prioridades.

A manutenção preditiva baseia-se em inspeção e acompanhamento de parâmetros físicos representativos da condição do equipamento, de modo a identificar degradação e orientar o momento mais adequado para intervir. Nessa abordagem, medições e análises de tendência têm papel central, pois transformam sinais do estado do ativo em evidências para decisão. Revisões na área indicam que a efetividade dessa estratégia depende de

coleta consistente, variáveis apropriadas e critérios interpretativos que convertam medições em recomendações acionáveis. No caso de motores elétricos, ensaios realizados com o equipamento desenergizado em campanhas periódicas fornecem indicadores úteis para avaliar o sistema de isolamento e assimetrias elétricas, contribuindo para antecipar falhas e orientar intervenções (JARDINE; LIN; BANJEVIC, 2006).

A manutenção detectiva, por sua vez, é direcionada à identificação de falhas ocultas, isto é, falhas que não se manifestam imediatamente na operação, mas reduzem a capacidade de proteção, controle ou redundância do sistema. Nesses casos, inspeções específicas e testes funcionais são empregados para revelar condições degradadas em dispositivos de segurança, alarmes, intertravamentos ou funções de proteção, reduzindo a probabilidade de que uma falha latente resulte em eventos de maior severidade (JARDINE; LIN; BANJEVIC, 2006).

2.1.2 Gestão de ativos, criticidade e priorização

Em organizações com grande quantidade de ativos, a priorização por criticidade é elemento essencial da gestão de manutenção. A criticidade pode ser compreendida como a relevância do ativo para objetivos de produção, de segurança, de meio ambiente e de custo, considerando o impacto de sua falha e a probabilidade de ocorrência. Na prática, métodos de classificação por criticidade são frequentemente operacionalizados por matrizes de risco, nas quais o risco é estimado pela combinação entre probabilidade e consequência. A Figura 3 apresenta um exemplo de matriz de risco que relaciona a probabilidade de falha ao impacto, resultando em classes de risco (baixa, média e alta); em geral, combinações com maior impacto e maior probabilidade são priorizadas por demandarem ações mais imediatas e controles mais rigorosos.

Probabilidade	Alta	Média	Alta	Alta
	Média	Baixa	Média	Alta
	Baixa	Baixa	Baixa	Média
		Insignificante	Moderado	Catastrófico
		Impacto		

Figura 3 – Exemplo de matriz de risco. Fonte: Elaboração própria.

A ISO 55000 destaca que decisões relacionadas a ativos devem ser orientadas por objetivos organizacionais e considerar o equilíbrio entre desempenho, risco e custo, o que implica a definição de critérios claros para priorização e tomada de decisão. No âmbito da manutenção, isso se traduz em direcionar esforços de monitoramento e intervenção para ativos com maior impacto potencial, adotando critérios e limites mais rigorosos quando a consequência de falha é elevada ([INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2014](#)).

A priorização também depende de mecanismos de identificação e rastreabilidade, como codificação de equipamentos, vinculação a ordens de manutenção e padronização de atributos (por exemplo, localização, família do ativo e aplicação). Tais mecanismos viabilizam análises comparativas, agregações por área e a construção de histórico por equipamento, sendo fundamentais quando se pretende consolidar informações em ambientes analíticos.

2.1.3 Indicadores de manutenção, confiabilidade e qualidade dos registros

A gestão da manutenção utiliza indicadores para acompanhar confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. Entre os indicadores, destacam-se o MTBF (*Mean Time Between Failures*), que expressa o tempo médio entre falhas, e o MTTR (*Mean Time To Repair*), que indica o tempo médio necessário para restaurar o equipamento após falha. A disponibilidade operacional pode ser analisada como consequência do comportamento de falhas e da eficiência de reparo, sendo relevante para avaliar impacto de falhas e efetividade das estratégias adotadas.

Além do MTBF e do MTTR, os indicadores de processo, como aderência ao plano preventivo, percentual de corretivas não planejadas e tempo de atendimento, são utilizados para avaliar maturidade e disciplina operacional. Entretanto, a confiabilidade desses indicadores depende diretamente da qualidade dos registros e da padronização de eventos, terminologias e classificações. Guias de coleta de dados de confiabilidade, como a ISO 14224, enfatizam a necessidade de taxonomias e padronização de dados para viabilizar análises históricas e comparações consistentes ([INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2016](#)).

Quando a manutenção é apoiada por medições periódicas e indicadores técnicos (por exemplo, ensaios elétricos e registros de inspeção), a qualidade do dado passa a depender também da padronização na origem: identificação inequívoca do equipamento, registro de condições relevantes da medição (tais como temperatura e tensão aplicada, quando aplicável), consistência de unidades e uso de listas controladas para reduzir variações de nomenclatura. Esses elementos contribuem para rastreabilidade e reduzem a probabilidade de interpretações inadequadas em análises posteriores, especialmente quando os dados são integrados em uma solução de BI.

2.2 Motores elétricos e motorredutores

Motores elétricos e motorredutores compõem a base dos acionamentos industriais, convertendo energia elétrica em energia mecânica para movimentar cargas como transportadores, bombas, ventiladores, peneiras e alimentadores. Em plantas industriais de grande porte, esses ativos operam sob variações de carga e em condições ambientais severas (poeira, umidade e temperatura), fatores que influenciam desempenho, vida útil e probabilidade de falhas.

Nesse contexto, a compreensão do princípio de funcionamento, dos elementos construtivos e dos mecanismos de degradação é relevante para orientar estratégias de manutenção e monitoramento (CHAPMAN, 2012).

2.2.1 Classificação e aplicações industriais

Os motores podem ser classificados pela natureza da alimentação (corrente contínua ou alternada) e pelo princípio de funcionamento. Em aplicações industriais, predominam motores de corrente alternada devido à robustez e à integração direta com sistemas trifásicos. Entre esses, destacam-se motores síncronos e assíncronos, sendo os motores de indução trifásicos amplamente empregados em função de sua simplicidade construtiva, confiabilidade e custo relativamente reduzido (FITZGERALD; KINGSLEY; UMANS, 2013). A Figura 4 ilustra um motor de indução trifásico instalado em campo, representativo desse tipo de aplicação industrial.



Figura 4 – Motor elétrico de indução trifásico instalado em campo. Fonte: Elaboração própria.

2.2.2 Motores de indução trifásicos: princípio de funcionamento e aspectos construtivos

O motor de indução trifásico opera a partir de um campo magnético girante produzido pelos enrolamentos do estator quando alimentados por tensões trifásicas. Esse campo induz correntes no rotor, estabelecendo interação eletromagnética responsável pela produção de torque. A velocidade do rotor é inferior à velocidade síncrona do campo girante, e a diferença relativa entre elas é denominada escorregamento, variando conforme a carga aplicada ([CHAPMAN, 2012](#)). Em termos de construção, são elementos típicos: estator (núcleo e enrolamentos), rotor (frequentemente do tipo gaiola), carcaça, rolamentos, sistema de ventilação e caixa de ligação ([FITZGERALD; KINGSLEY; UMANS, 2013](#)). A Figura 5 ilustra uma vista longitudinal de um motor trifásico do tipo gaiola de esquilo, destacando os principais conjuntos construtivos e auxiliando na compreensão da disposição do estator, do rotor, dos rolamentos, da ventilação e das conexões.

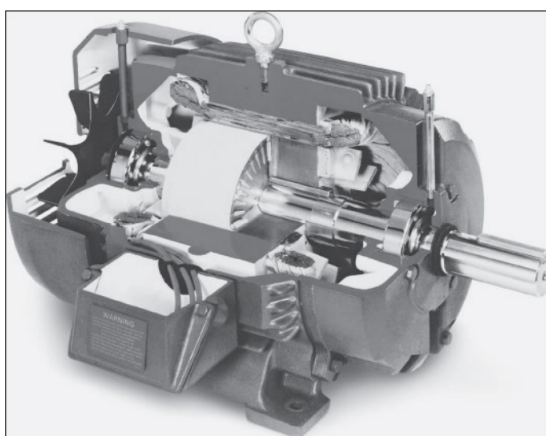


Figura 5 – Vista longitudinal de um motor trifásico do tipo gaiola de esquilo. Fonte: [Fitzgerald, Kingsley e Umans \(2013\)](#).

A condição do motor depende tanto de fatores elétricos quanto mecânicos. Do ponto de vista de confiabilidade, destacam-se a integridade do sistema de isolamento, a qualidade das conexões elétricas (terminais e emendas), e as condições mecânicas associadas a rolamentos, alinhamento e ventilação. Dessa forma, a avaliação do estado do equipamento pode envolver medições elétricas, térmicas e mecânicas, a depender da estratégia de manutenção adotada e da criticidade do acionamento ([FITZGERALD; KINGSLEY; UMANS, 2013](#)).

2.2.3 Sistema de isolamento do estator e mecanismos de degradação

O sistema de isolamento do estator tem a função de separar eletricamente espiras e fases do enrolamento e isolar o circuito ativo da carcaça (terra). Sua integridade é essencial para limitar correntes de fuga e reduzir o risco de falhas dielétricas. A degradação do

isolamento pode ocorrer por envelhecimento térmico, esforços elétricos, contaminação por partículas, umidade e solicitações mecânicas associadas a vibração e ciclos térmicos (FITZGERALD; KINGSLEY; UMANS, 2013). Em geral, temperaturas elevadas aceleram processos de envelhecimento do material isolante, enquanto umidade e contaminação superficial tendem a favorecer caminhos de fuga, reduzindo os valores medidos de resistência de isolamento (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, 2013).

Como a degradação é frequentemente progressiva, recomenda-se interpretar medições do isolamento considerando histórico do próprio equipamento, condições do ensaio e regime operacional. Assim, o monitoramento tende a ser mais consistente quando baseado em tendências e em indicadores derivados de leituras temporizadas, em vez de conclusões a partir de uma única medição (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, 2013).

2.2.4 Motorredutores: características e influência no comportamento do acionamento

Em diversas aplicações industriais, o motor é acoplado a um redutor para adequação de torque e rotação ao processo. O motorreductor integra o motor elétrico a um redutor mecânico, formando um conjunto eletromecânico cujo desempenho depende tanto da condição elétrica do motor quanto das condições mecânicas do redutor e do acoplamento. Redutores podem empregar diferentes geometrias e estágios de engrenagens, selecionados conforme o torque requerido, o espaço disponível e o perfil de carga. A Figura 6 apresenta um exemplo de motorreductor instalado em campo, evidenciando a integração física entre o motor elétrico e o redutor.



Figura 6 – Motorreductor instalado em campo. Fonte: Elaboração própria.

A presença do redutor influencia o regime de esforço mecânico do conjunto e pode alterar o comportamento térmico do motor. Variações de carga, choques mecânicos e vibrações podem resultar em aumento de temperatura e em solicitações adicionais sobre o isolamento. Além disso, problemas mecânicos do redutor (por exemplo, condições inadequadas de lubrificação e desgaste) podem elevar o torque exigido e modificar o regime de operação do motor, com reflexos no seu aquecimento e, conseqüentemente, na taxa de degradação do isolamento (FITZGERALD; KINGSLEY; UMANS, 2013). Portanto, a avaliação do estado do motor deve considerar o contexto do acionamento como um todo, especialmente em equipamentos de maior criticidade.

2.3 Ensaios elétricos

Ensaio elétrico aplicado à manutenção de máquinas rotativas têm como objetivo fornecer evidências objetivas sobre a condição do sistema de isolamento, a integridade dos enrolamentos e a qualidade das conexões elétricas, auxiliando a identificar degradação e reduzir a probabilidade de falhas funcionais. Em programas de manutenção baseada em condição, esses ensaios são particularmente relevantes quando executados de forma padronizada e registrados de modo consistente, pois permitem comparação histórica e análise por tendência (JARDINE; LIN; BANJEVIC, 2006).

No contexto de motores elétricos, este trabalho enfatiza ensaios realizados com o equipamento desenergizado, em campanhas periódicas, por apresentarem maior controle de procedimento e menor influência de variáveis operacionais instantâneas. Dentre os ensaios adotados, destacam-se o de resistência de isolamento e índices derivados, voltados à avaliação do sistema isolante e o de resistência ôhmica dos enrolamentos, voltada à avaliação de simetria entre fases e integridade de conexões (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, 2013).

2.3.1 Resistência de isolamento

A resistência de isolamento representa a oposição do sistema isolante à passagem de corrente quando se aplica uma tensão contínua entre o circuito ativo (enrolamentos) e a carcaça (terra). De acordo com o IEEE Std 43, a medição é geralmente realizada com megôhmetro e a interpretação deve considerar que a corrente medida inclui componentes associadas a fenômenos distintos, como efeitos capacitivos iniciais, absorção/polarização dielétrica e corrente de fuga associada à condução no material isolante e a caminhos superficiais. Como consequência, a resistência medida tende a aumentar com o tempo de aplicação da tensão, motivo pelo qual leituras temporizadas são utilizadas para qualificar a condição do isolamento (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, 2013).

A resistência de isolamento é influenciada por temperatura, umidade e contaminação superficial. Temperaturas elevadas tendem a aumentar a resistência medida, enquanto umidade e deposição de partículas podem aumentar a corrente de fuga e reduzir o valor observado. Assim, para fins de diagnóstico, recomenda-se registrar condições relevantes do ensaio e interpretar resultados com base no histórico do equipamento, evitando conclusões a partir de uma única medição isolada ([INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, 2013](#)).

2.3.1.1 Correção por temperatura e uso do fator de correção

Como a resistência de isolamento varia significativamente com a temperatura do enrolamento, é prática comum corrigir o valor medido para uma temperatura de referência (tipicamente 40 °C), de modo a aumentar a comparabilidade entre campanhas. Para isso, utiliza-se um fator de correção em função da temperatura do enrolamento, conforme ilustrado pela curva da Figura 7 (fator $k_{40}(t)$ versus temperatura).

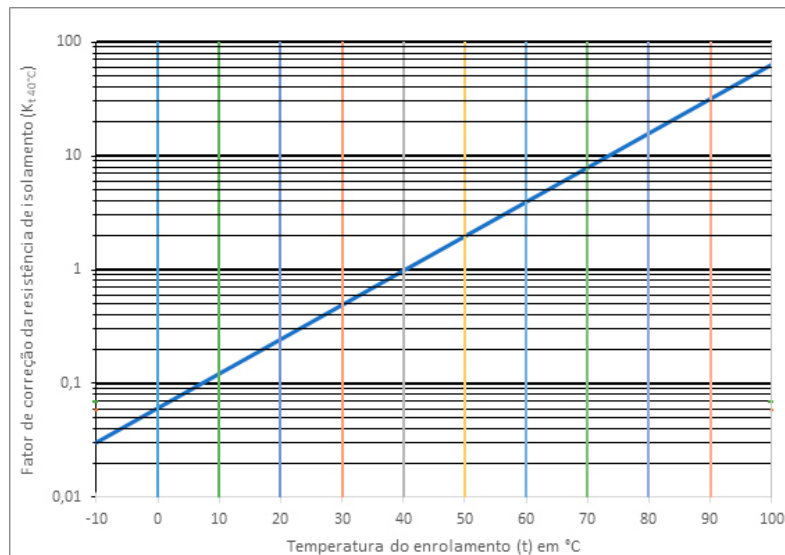


Figura 7 – Variação aproximada da resistência de isolamento com a temperatura para máquinas elétricas girantes. Fonte: Adaptado de [ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS \(2018\)](#).

De forma prática, quando se deseja a resistência corrigida a 40 °C, pode-se empregar a relação $R_{40} = R_t \cdot k_{40}(t)$, em que R_t é a resistência medida na temperatura t e R_{40} é o valor corrigido para referência ([ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018](#)).

2.3.1.2 Índice de absorção e índice de polarização

Leituras temporizadas permitem calcular índices adimensionais que capturam a evolução da resistência de isolamento ao longo do tempo, aumentando a robustez da comparação entre ensaios. Neste trabalho, as leituras R_{30s} , R_{1min} e R_{10min} representam

a resistência de isolamento medida, respectivamente, aos 30 segundos, 1 minuto e 10 minutos após a aplicação da tensão contínua do ensaio. O índice de absorção (IA) é definido como $IA = R_{1min}/R_{30s}$, refletindo o crescimento inicial da resistência no ensaio e podendo ser sensível a efeitos de umidade e contaminação (GUEDES, 2018). O índice de polarização (IP) é definido como $IP = R_{10min}/R_{1min}$, sendo amplamente empregado na avaliação da condição global do isolamento; a ABNT NBR 17094-3 define o IP nessa forma e indica que, em geral, não é necessário corrigir a temperatura para o IP, desde que a temperatura não varie significativamente durante o intervalo do ensaio (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

A interpretação de IA e IP deve ser realizada em conjunto com o histórico do equipamento e com as condições do ensaio. Na prática, é comum empregar tabelas de classificação que combinam faixas de IP e IA para indicar o estado do isolamento (por exemplo, categorias como *ruim*, *questionável*, *aceitável*, *bom* e *muito bom*), tal como apresentado na Tabela 1. Essa abordagem facilita padronização de laudos e pode ser integrada a regras de negócio em painéis de acompanhamento, desde que os limites sejam coerentes com a política de manutenção adotada e validados com base no histórico e criticidade dos ativos.

Tabela 1 – Valores do IP e do IA recomendados por fabricantes de motores elétricos. Fonte: Guedes (2018).

IP	IA	Estado do isolamento
$IP < 1,0$	–	ruim
$1,0 < IP < 2,0$	$1,0 \leq IA < 1,25$	questionável
–	$1,25 \leq IA < 1,4$	aceitável
$2,0 \leq IP < 4,0$	$1,4 \leq IA < 1,6$	bom
$IP \geq 4,0$	$IA \geq 1,6$	muito bom

2.3.1.3 Seleção da tensão de ensaio e boas práticas

A seleção da tensão de ensaio deve ser compatível com a classe de tensão do motor e com recomendações aplicáveis, assegurando segurança e comparabilidade. O IEEE Std 43 apresenta diretrizes para a escolha do nível de tensão de teste em função da tensão nominal e do objetivo do ensaio (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, 2013). Na prática, adota-se uma tabela de recomendação de tensão contínua de ensaio por faixa de tensão nominal do motor, como a apresentada na Tabela 2.

2.3.1.4 Critérios de aceitação por valor de resistência de isolamento

Além da análise por tendência e do uso de IA e IP , é comum utilizar tabelas que relacionam faixas de resistência de isolamento (em $M\Omega$) a uma condição qualitativa do motor após correção para uma temperatura de referência. A Tabela 3 apresentada define

Tabela 2 – Valor de tensão de ensaio para medição da resistência de isolamento. Fonte: [INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS \(2013\)](#).

Classe de tensão do motor (V)	Valor da tensão c.c. recomendada (V)
< 1000	500
1000 – 2500	500 – 1000
2501 – 5000	1000 – 2500
5001 – 12000	2500 – 5000
> 12001	5000 – 10000

limites conforme a tensão nominal (até 1,1 kV e acima) e associa classes qualitativas a eles, auxiliando na triagem e padronização de recomendações ([WEG, 2026](#)). Esses critérios devem ser aplicados em conjunto com o histórico do equipamento, as condições do ensaio e a criticidade do acionamento.

Tabela 3 – Relação da resistência de isolamento com uma condição qualitativa. Fonte: Adaptado de [WEG \(2026\)](#).

Valor limite para tensão nominal até 1,1 kV (MΩ)	Valor limite para tensão nominal acima de 1,1 kV (MΩ)	Situação
Até 5	Até 100	Perigosa
5 a 100	100 a 500	Regular
100 a 500	Acima de 500	Boa
Acima de 500	Acima de 1000	Excelente

2.3.2 Resistência ôhmica dos enrolamentos

A medição da resistência dos enrolamentos é um ensaio realizado com corrente contínua para determinar a resistência elétrica do enrolamento do motor ([ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018](#)). Em campanhas de manutenção, as resistências podem ser obtidas entre pares de terminais, por exemplo R_{RS} , R_{ST} e R_{TR} , e analisadas de forma comparativa. Como a resistência do enrolamento varia com a temperatura, recomenda-se registrar a temperatura no momento do ensaio e, quando necessário, aplicar a correção para uma temperatura de referência, conforme procedimento e equações apresentados na ABNT NBR 17094-3 ([ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018](#)).

2.3.2.1 Indicador de desequilíbrio entre fases

Para padronizar a interpretação das resistências medidas entre pares de terminais, pode-se utilizar um indicador de desequilíbrio percentual (D). Seja R_{max} o maior valor medido e R_{min} o menor valor medido, define-se $D = \left(\frac{R_{max}}{R_{min}} \cdot 100 \right) - 100$ ([ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018](#)). Esse indicador sintetiza a assimetria observada,

facilita comparação entre campanhas e pode ser incorporado a critérios de severidade para apoiar a priorização de ações.

A interpretação do desequilíbrio deve considerar repetibilidade do procedimento, condição das conexões de medição, temperatura e histórico do equipamento. Alterações graduais do indicador ao longo do tempo podem ser indícios de deterioração progressiva em terminais, conexões ou enrolamentos, justificando inspeções adicionais ou programação de intervenção.

2.4 *Business Intelligence*

A crescente digitalização de processos industriais elevou significativamente o volume e a variedade de dados disponíveis sobre ativos, operações e manutenção. Entretanto, a existência do dado, por si só, não garante suporte efetivo à decisão: é necessário estruturá-lo, contextualizá-lo e disponibilizá-lo de forma compreensível e acionável. Nesse cenário, *Business Intelligence* (BI) pode ser entendido como um conjunto de métodos, processos e tecnologias voltados à coleta, integração, organização, análise e apresentação de dados, com o objetivo de apoiar decisões em diferentes níveis organizacionais. Em manutenção e gestão de ativos, o BI contribui para transformar registros dispersos (por exemplo, formulários de ensaios, planilhas e ordens de manutenção) em indicadores, tendências e alertas capazes de orientar priorização, planejamento e ações corretivas (TURBAN *et al.*, 2014; ECKERSON, 2003).

De forma prática, uma solução de BI parte de fontes de dados (operacionais e de campo) e passa por etapas de integração e transformação (ETL/ELT), nas quais os registros são padronizados e consolidados. Em seguida, os dados tratados são organizados em um repositório analítico, como um *data warehouse* ou um modelo dimensional, para então serem disponibilizados em camadas de análise e visualização, por meio de relatórios, painéis e indicadores. Esse fluxo, ilustrado na Figura 8, evidencia a sequência desde a coleta e tratamento dos dados até a geração de indicadores que subsidiam a tomada de decisão. A coerência entre essas camadas é fundamental para reduzir ambiguidades, melhorar a rastreabilidade e sustentar decisões repetíveis e auditáveis (KIMBALL; ROSS, 2013).

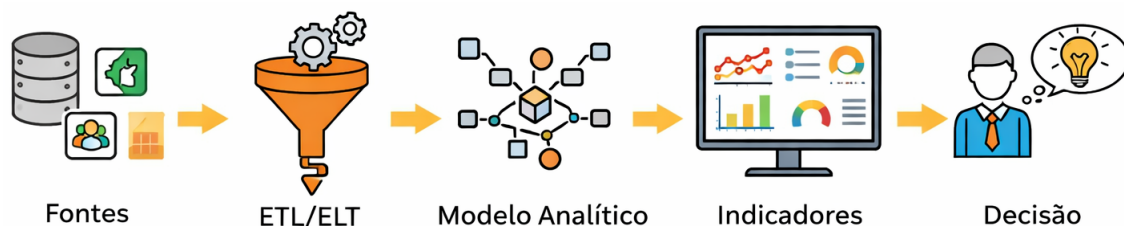


Figura 8 – Arquitetura de Business Intelligence aplicada à manutenção. Fonte: Elaboração própria.

2.4.1 Conceitos de BI e ciclo de transformação dado–informação

Em termos conceituais, dados podem ser entendidos como registros brutos (valores, datas, códigos, medições) que, isoladamente, possuem significado limitado. Ao serem organizados e interpretados em um contexto (por exemplo, ativo, local, condição de ensaio, histórico), esses dados passam a constituir informação útil para análise e decisão (DAVENPORT; HARRIS, 2017). Em manutenção, esse ciclo é evidente: medições elétricas em um motor, quando associadas à identificação do equipamento, condição de teste e histórico anterior, permitem inferir degradação, estabilidade ou anomalias, apoiando recomendações como repetição de ensaio, inspeção, intervenção programada ou restrição operacional.

Uma forma de representar esse ciclo é por encadeamentos do tipo: *dado* → *informação* → *conhecimento* → *decisão*. Em BI, a ênfase recai na criação de estruturas e rotinas que tornem esse encadeamento sistemático: padronização de cadastro, controle de qualidade do dado, regras de negócio e indicadores consistentes. Para aplicações industriais, isso inclui tratar problemas típicos como duplicidade de identificação de ativos, divergência de unidades, campos ausentes e variação de nomenclaturas (TURBAN *et al.*, 2014).

Do ponto de vista da arquitetura, uma distinção recorrente é entre sistemas transacionais (*Online Transaction Processing* – OLTP), voltados ao registro operacional, e sistemas analíticos (*Online Analytical Processing* – OLAP), voltados à consulta, agregação e exploração histórica (INMON, 2005). Em geral, análises históricas e painéis gerenciais são mais robustos quando alimentados por modelos dimensionais (com tabelas fato e dimensões), pois esse arranjo favorece consistência semântica, desempenho de consulta e flexibilidade para recortes por tempo, localidade, equipamento e categoria (KIMBALL; ROSS, 2013).

Além da dimensão tecnológica, o BI atual enfatiza o paradigma de *self-service BI*, no qual usuários de negócio constroem e exploram relatórios dentro de uma arquitetura e de um portfólio de ferramentas governados, reduzindo a dependência exclusiva de equipes de TI (IMHOFF; WHITE, 2011). Para manutenção, essa abordagem tende a acelerar ciclos de melhoria, pois permite ajustar indicadores, filtros e visões conforme necessidades do time (por exemplo, por área, tipo de ativo, severidade e janela temporal), mantendo rastreabilidade e padronização. A Figura 9 sintetiza os quatro objetivos do *self-service BI*, destacando a facilitação do acesso às fontes de dados, a usabilidade das ferramentas, a rapidez para implantar e gerenciar soluções de *data warehouse* e a facilidade de consumo e aprimoramento dos resultados analíticos.

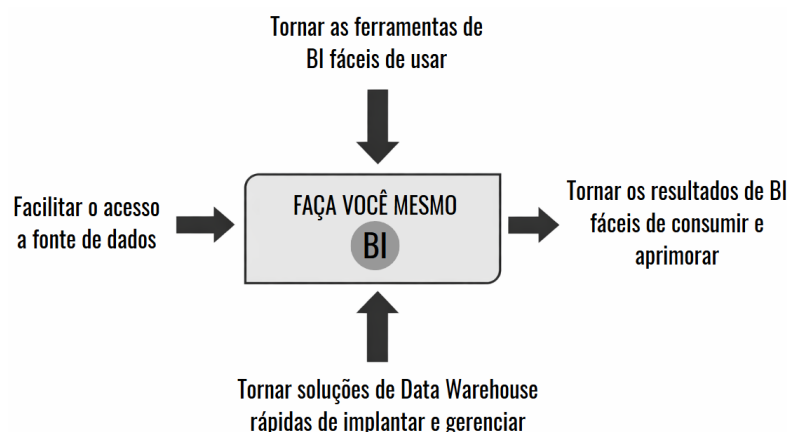


Figura 9 – Os quatro objetivos do *self-service BI*. Fonte: Adaptado de (IMHOFF; WHITE, 2011).

2.4.2 Microsoft Power BI

O Microsoft Power BI é uma plataforma de *Business Intelligence* amplamente utilizada em ambientes corporativos por integrar, em um ecossistema único, recursos de conexão a múltiplas fontes de dados, preparação (*data preparation*), modelagem analítica, criação de relatórios interativos e publicação/compartilhamento em nuvem (MICROSOFT, 2026d). De modo geral, a solução envolve o Power BI Desktop (autoria e modelagem), o Power BI Service (publicação, distribuição e governança em nuvem) e aplicações móveis (consumo), podendo incluir *gateways* para atualização de dados oriundos de fontes locais (MICROSOFT, 2026d). A Figura 10 apresenta a interface do Power BI Desktop, destacando o ambiente de autoria onde são realizadas a importação e transformação de dados, a modelagem do *dataset* e a construção de relatórios com visuais e filtros.

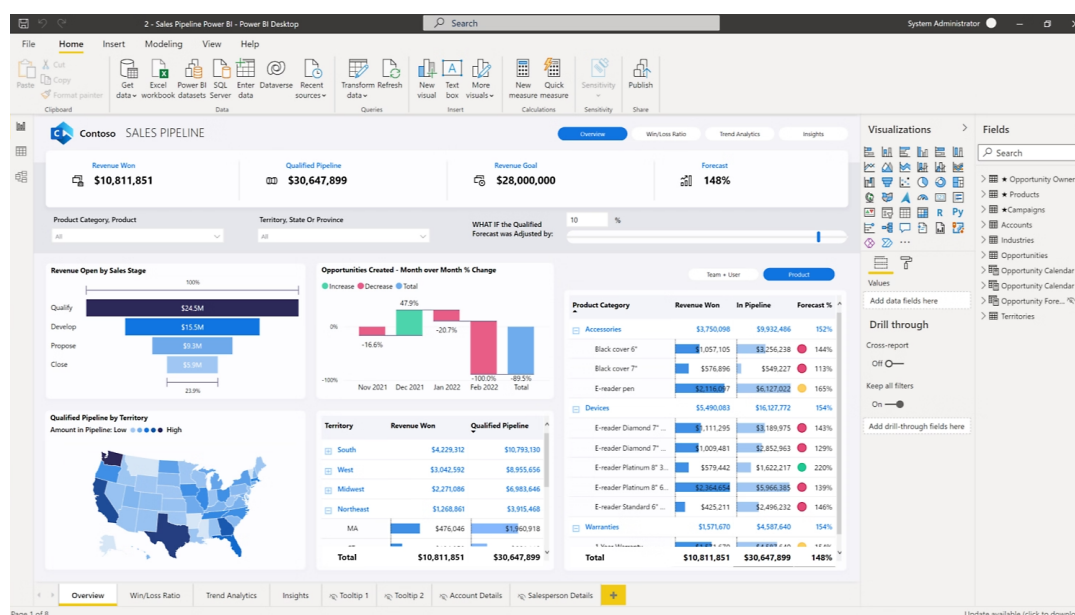


Figura 10 – Interface do Microsoft Power BI Desktop. Fonte: Microsoft, 2026.

Em termos de objetos e fluxo de trabalho, é comum organizar a solução em um *dataset* (modelo semântico com tabelas e relacionamentos), em relatórios (páginas com visuais construídos a partir de colunas e medidas do modelo) e em *dashboards* (painéis com itens fixados e foco executivo). No contexto de manutenção, essa estrutura favorece tanto a análise exploratória — com filtros, segmentações e detalhamento por equipamento — quanto a comunicação de sínteses, como indicadores consolidados, distribuição por severidade e tendências históricas (ECKERSON, 2003).

2.4.3 ETL no Power Query e modelagem

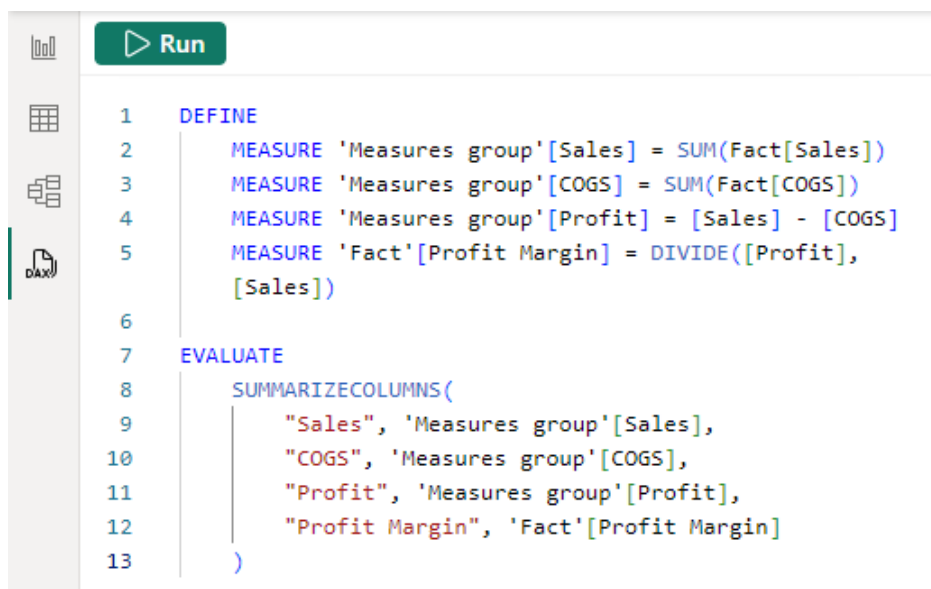
A etapa de integração e preparação de dados é determinante para a qualidade do BI, pois inconsistências na origem podem comprometer indicadores e classificações. Em *data warehousing*, esse processo é descrito como ETL (*Extract, Transform, Load*), no qual dados são extraídos, transformados (limpeza, padronização e enriquecimento) e carregados para um ambiente analítico; em arquiteturas atuais, também se utiliza ELT, com parte das transformações ocorrendo após o carregamento (KIMBALL; ROSS, 2013).

No Power BI, o Power Query realiza a extração e transformação por etapas registradas, com uso da linguagem M, favorecendo reprodutibilidade e manutenção do processo (MICROSOFT, 2026e). Em manutenção, são comuns transformações como padronização de cadastro, ajuste de tipos de dados, tratamento de unidades, remoção de duplicidades e junções entre tabelas (cadastro, ensaios e ordens) para compor uma visão integrada.

Um aspecto relevante é o *query folding*, em que parte das transformações pode ser executada na fonte (quando suportado), melhorando desempenho na atualização (MICROSOFT, 2026b). Por fim, a modelagem organiza tabelas e relacionamentos; recomenda-se, em geral, o esquema em estrela, com uma tabela fato para medições/eventos e dimensões para entidades como tempo, ativo e localidade, pois facilita análise e tende a reduzir ambiguidades (MICROSOFT, 2026c).

2.4.4 DAX e indicadores

No Power BI, a linguagem DAX (*Data Analysis Expressions*) é utilizada para criar medidas e colunas calculadas, viabilizando indicadores baseados em agregações e sensíveis ao contexto de filtro. Conceitos como *row context* e *filter context* explicam por que um mesmo cálculo pode produzir resultados distintos conforme os filtros aplicados (por período, ativo ou área) (MICROSOFT, 2026a). A Figura 11 apresenta um exemplo de código em DAX, ilustrando a definição de medidas e o uso de expressões para calcular indicadores a partir de tabelas do modelo.



```
1  DEFINE
2      MEASURE 'Measures group'[Sales] = SUM(Fact[Sales])
3      MEASURE 'Measures group'[COGS] = SUM(Fact[COGS])
4      MEASURE 'Measures group'[Profit] = [Sales] - [COGS]
5      MEASURE 'Fact'[Profit Margin] = DIVIDE([Profit],
6          [Sales])
7
8  EVALUATE
9      SUMMARIZECOLUMNS(
10         "Sales", 'Measures group'[Sales],
11         "COGS", 'Measures group'[COGS],
12         "Profit", 'Measures group'[Profit],
13         "Profit Margin", 'Fact'[Profit Margin]
14     )
```

Figura 11 – Exemplo de código em linguagem DAX. Fonte: Microsoft, 2026.

De modo geral, recomenda-se priorizar medidas quando o objetivo é obter métricas agregáveis e responsivas aos filtros, como quantidade de ensaios no período, percentuais por severidade, tendências ao longo do tempo e tempo desde o último ensaio. Colunas calculadas podem ser utilizadas para classificações por registro (por exemplo, rotular um ensaio por faixa), desde que não aumentem indevidamente o volume de dados ou prejudiquem desempenho ([MICROSOFT, 2026a](#)).

Além do cálculo, indicadores devem ser acompanhados por definições claras e regras de negócio explícitas, reduzindo interpretações divergentes e aumentando a confiabilidade do painel como suporte à decisão. Também é recomendável validar medidas com amostras manuais e casos extremos (dados ausentes, valores atípicos e variação de unidade), minimizando risco de conclusões incorretas ([ECKERSON, 2003](#)).

3 Desenvolvimento

Este trabalho foi desenvolvido a partir do levantamento e da organização de dados técnicos referentes a equipamentos e processos fornecidos pela área de Engenharia Elétrica de uma mineradora de grande porte. Neste capítulo são descritas as etapas adotadas ao longo do projeto, contemplando desde a coleta e o pré-processamento das informações, passando pela estruturação do modelo de dados, até a construção dos *dashboards* no ambiente de *Business Intelligence* para análise e suporte à tomada de decisão. O encadeamento dessas etapas é sintetizado na Figura 12, evidenciando o fluxo desde o cadastro de equipamentos e a definição da matriz de decisões, até a coleta estruturada e a disponibilização dos resultados no Power BI.

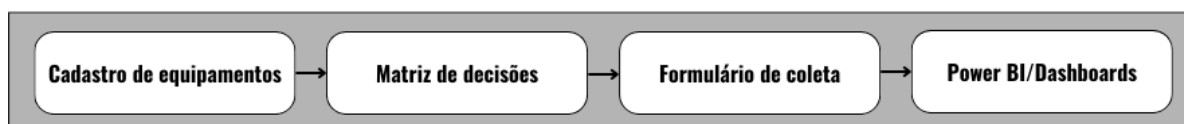


Figura 12 – Fluxo de dados e etapas do sistema de monitoramento baseado em BI. Fonte: Elaboração própria.

3.1 Metodologia

Este capítulo apresenta o delineamento metodológico adotado para o desenvolvimento e a avaliação de uma solução de *Business Intelligence* (BI) aplicada ao monitoramento e à análise de motores e motorreduzores elétricos. A metodologia foi estruturada para assegurar rastreabilidade desde a origem dos dados até a disponibilização de indicadores e painéis, de modo que os resultados sejam consistentes, interpretáveis e úteis ao processo de tomada de decisão nas rotinas de operação e manutenção.

O trabalho foi desenvolvido em etapas sequenciais. Inicialmente, realizou-se a caracterização da área de estudo, contemplando a definição do escopo de monitoramento, a identificação dos equipamentos incluídos na análise e o levantamento das informações técnicas necessárias para a construção dos indicadores e das visualizações.

Na segunda etapa, foi realizada a estruturação de uma base de dados dos ativos de interesse, consolidando informações cadastrais e técnicas dos equipamentos. Essa organização teve como finalidade padronizar identificações, facilitar relacionamentos entre tabelas e viabilizar integrações futuras com diferentes fontes de dados, garantindo consistência nas análises.

Em seguida, foi implementado um processo de coleta padronizada para o registro

dos resultados dos ensaios. Nessa etapa, definiu-se um fluxo simples e replicável para que os responsáveis pelos testes em campo pudessem enviar os dados coletados de forma organizada, reduzindo erros de preenchimento e melhorando a confiabilidade das informações incorporadas ao sistema.

Posteriormente, os dados coletados foram extraídos, tratados e integrados ao Microsoft Power BI. Essa etapa incluiu a importação das bases, a padronização de formatos (datas, unidades e campos textuais), a verificação de consistência e a criação do modelo de dados para análise. Por fim, foram desenvolvidas as medidas e regras de negócio necessárias para os cálculos e classificações, utilizando recursos do Power BI, com destaque para a linguagem DAX (*Data Analysis Expressions*), permitindo a construção de indicadores e a consolidação de status para suporte à tomada de decisão.

Com a base consolidada e os indicadores definidos, foram elaborados os dashboards de visualização voltados ao acompanhamento temporal, à consulta por equipamento e à análise de condições e falhas, possibilitando uma visão integrada do histórico de medições e do estado dos ativos monitorados.

3.2 Caracterização da área e inventário de ativos

O desenvolvimento do sistema de monitoramento iniciou-se pela delimitação da área de estudo e pelo levantamento de todos os motores e motorredutores associados aos equipamentos existentes no escopo definido. Essa etapa é fundamental para garantir rastreabilidade dos registros de ensaios elétricos, padronização de identificação dos ativos e organização das informações necessárias para a modelagem de dados no *Power BI*.

3.2.1 Organização do inventário de ativos

O inventário de ativos foi consolidado em uma planilha eletrônica, estruturada em quatro setores operacionais representados por siglas internas (planilhas distintas), totalizando 757 registros. A identificação principal adotada para cada registro foi a TAG do motor. Cada registro corresponde a um motor (ou motorreductor) associado a uma determinada localização/equipamento, reunindo atributos cadastrais úteis para a fase de integração e análise.

De modo geral, os campos do inventário incluem:

- Hierarquia elétrica e localização: subestação, CCM e local de instalação;
- Identificação do ativo: TAG do motor, código patrimonial e descrições do ativo e do local;

- Informações de manutenção: número do plano de manutenção e classificação interna do ativo;
- Dados de placa: fabricante, modelo, frequência, potência, tensão nominal, corrente nominal, classe de isolamento, fator de serviço e demais características construtivas.

No contexto do sistema de *Business Intelligence*, esse inventário atua como uma dimensão de ativos, viabilizando filtros por localidade, cruzamentos com histórico de manutenção e enriquecimento das visualizações com atributos técnicos (por exemplo, potência e tensão), quando presentes. A Figura 13 apresenta um exemplo da estrutura do inventário consolidado, evidenciando a organização dos registros por setor e a presença dos principais grupos de campos (identificação do ativo, localização/hierarquia, informações de manutenção e dados de placa) utilizados nas etapas de integração e análise.

Subestação	CCM	Motor	Local de instalação	Código SAP	N° Plano Manutenção	Descrição do ativo	Fabricante
4770	4781	AL4302	FEMN-BFT-TRT-REAGE-AL4302-05ME	15362037	1342967	ALIMENTADOR CORREIA (MOTOR ELETRICO)	EBERLE
5770	5781	AL5009	FEMN-BFT-TMF-BRIT3-AL5009-06ME	15516441	1342951	ALIMENTADOR CORREIA 72IN (MOTOR ELETRICO)	WEG
5770	5781	AL5010	FEMN-BFT-TMF-BRIT3-AL5010-06ME	15516441	1342952	ALIMENTADOR CORREIA 72IN (MOTOR ELETRICO)	WEG
4771	4789	AM4181	FEMN-BFT-CMG-REJFL-AM4181-04MR	13204293	1322382	AMOSTRADOR MINERIO VEZIM VZ1 100 (MOTOREDUTOR)	SEW
4770	4780	BO4305	FEMN-BFT-TRT-BOMBE-BO4305-06ME	13201592	1492608	BOMBA RADIAL CENTRIFUGA 16/14 AH (MOTOR ELETRICO)	BBE
4770	4780	BO4309	FEMN-BFT-TRT-BOMBE-BO4309-06ME	15196873	1333643	BOMBA RADIAL CENTRIFUGA 12/10 ST-AH (MOTOR ELETRICO)	WEG
4770	4780	BO4311	FEMN-BFT-TRT-BOMBE-BO4311-06ME	15196873	1333644	BOMBA RADIAL CENTRIFUGA 12/10 ST-AH (MOTOR ELETRICO)	WEG
4770	4786	BO4405	FEMN-BFT-TRT-BOMBE-BO4405-04ME	15271312	1333642	BOMBA RADIAL CENTRIFUGA 12/10 EM (MOTOR ELETRICO)	WEG
4770	4786	BO4406	FEMN-BFT-TRT-BOMBE-BO4406-04ME	15271312	1333633	BOMBA RADIAL CENTRIFUGA 12/10 EM (MOTOR ELETRICO)	WEG
6770	6742	BO4410	FEMN-BFT-TMF-BOMBE-BO4410-04ME	15262831	1333640	BOMBA RADIAL CENTRIFUGA 10X8 RM (MOTOR ELETRICO)	WEG
4770	4787	BO4504	FEMN-BFT-TMF-BOMBE-BO4504-04ME	15429377	1333628	BOMBA RADIAL CENTRIFUGA 8/6 AH (MOTOR ELETRICO)	WEG
4770	4787	BO4507	FEMN-BFT-TMF-BOMBE-BO4507-04ME	15429377	1333629	BOMBA RADIAL CENTRIFUGA 6/4 DAH (MOTOR ELETRICO)	WEG
4770	4787	BO4508	FEMN-BFT-TMF-BOMBE-BO4508-04ME	13253107	1333630	BOMBA RADIAL CENTRIFUGA 15 200/150 (MOTOR ELETRICO)	WEG
4770	4780	BO4527	FEMN-BFT-TRT-FILTR-BO4527-05ME	13150471	1289425	BOMBA VACUO CL-6003 (MOTOR ELETRICO)	BBC
4770	4780	BO4528	FEMN-BFT-TRT-FILTR-BO4528-05ME	15253597	159556	BOMBA VACUO CL-6003 (MOTOR ELETRICO)	WEG
6770	6783	BO4552	FEMN-BFT-TMF-BOMBE-BO4552-04ME	13169935	159554	BOMBA RADIAL CENTRIFUGA IS 200/150 (MOTOR ELETRICO)	WEG
4770	4781	BO4814	FEMN-BFT-TRT-BOMBE-BO4814-02ME	13169935	1329309	BOMBA RADIAL CENTRIFUGA 32/125 (MOTOR ELETRICO)	WEG
6770	6794	BO6041	FEMN-BFT-TMF-BOMBE-BO6041-04ME	13176940	1333631	BOMBA RADIAL CENTRIFUGA 10/8 EM (MOTOR ELETRICO)	EBERLE
6770	6795	BO6054	FEMN-BFT-TMF-BOMBE-BO6054-04ME	15529629	1240530	BOMBA RADIAL CENTRIFUGA 10/8 ST-AH (MOTOR ELETRICO)	WEG
6770	6780	BO6111	FEMN-BFT-TMF-BOMBE-BO6111-04ME	13197363	1333625	BOMBA RADIAL CENTRIFUGA 10/8 (MOTOR ELETRICO)	WEG
4770	4781	EP4541.1	FEMN-BFT-TRT-ESPE-EP4541-16ME	13090533	160050	ESPESSADOR EIXO CENTRAL P 15 (MOTOR ELETRICO)	WEG
4770	4781	EP4541.2	FEMN-BFT-TRT-ESPE-EP4541-21ME	13201666	160050	ESPESSADOR EIXO CENTRAL P 15 (MOTOR ELETRICO - ELEVACAO)	WEG
7770	7782	EX7937	FEMN-BFT-REC-TRANS-EX7937-07MR	13176266	1342950	EXTRATOR METAL COM LIMPEZA EIRSA 130150 (MOTOREDUTOR)	SEW
4770	4787	FI4519	FEMN-BFT-TRT-FILTR-FI4519-04MR	13199746	1289430	FILTRO DISCO D6 TT 10 (MOTOREDUTOR - 01)	EBERLE
4770	4787	FI4520	FEMN-BFT-TRT-FILTR-FI4520-04MR	13199746	1289431	FILTRO DISCO D6 TT 10 (MOTOREDUTOR - 01)	SEW
4770	4787	FI4523	FEMN-BFT-TRT-FILTR-FI4523-04MR	13199765	1289434	FILTRO DISCO D6 TT 10 (MOTOREDUTOR - 01)	EBERLE
4770	4787	FI4524	FEMN-BFT-TRT-FILTR-FI4524-12ME	13204044	1289435	FILTRO DISCO D6 TT 10 (MOTOR ELETRICO)	EBERLE
6770	6782	FI6807.1	FEMN-BFT-TMF-FILTR-FI6807-04MR	13199683	1289426	FILTRO DISCO D6 TT 10 (MOTOREDUTOR - 01)	SEW
6770	6782	FI6807.2	FEMN-BFT-TMF-FILTR-FI6807-10MR	13199765	1289426	FILTRO DISCO D6 TT 10 (MOTOREDUTOR - 02)	SEW

Figura 13 – Estrutura do inventário de ativos. Fonte: Elaboração própria.

3.2.2 Composição do parque de ativos no escopo

A partir do inventário consolidado, verificou-se que o escopo contém 619 registros classificados como motores elétricos e 138 registros classificados como motorredutores/reduzores, totalizando 757 ativos. Essa distribuição é relevante porque reflete diferentes modos de falha e diferentes exigências de diagnóstico: em motorreduzores, além do motor, há influência direta do conjunto mecânico acoplado (reduztor), enquanto em motores diretos a análise tende a refletir mais fortemente as condições elétricas do estator, conexões e isolamento.

Quanto aos tipos de equipamentos acionados, o inventário contempla um conjunto amplo de aplicações industriais, com destaque para:

- bombas (transferência, polpa, lubrificação e serviços auxiliares);
- correias e transportadores (movimentação de material);
- alimentadores (dosagem e alimentação de linhas/processos);
- peneiras (incluindo unidades vibratórias);
- separadores magnéticos (separação e beneficiamento);
- britadores (estágios de redução);
- compressores (serviços e utilidades);
- ventiladores e exaustores (aeração e ventilação);
- agitadores e misturadores (preparo e condicionamento);
- outros conjuntos (por exemplo, amostradores e acionamentos auxiliares).

Para auxiliar a descrição do escopo, a Tabela 4 resume a distribuição dos registros por famílias de equipamentos, de acordo com a classificação utilizada na consolidação do inventário.

Tabela 4 – Distribuição dos ativos inventariados por famílias de equipamentos. Fonte: Elaboração própria.

Família	Quantidade de registros
Bombas	150
Motorredutores/Redutores	138
Correias/Transportadores	86
Alimentadores	61
Peneiras	50
Separadores magnéticos	40
Britadores	34
Compressores	26
Ventiladores/Exaustores	9
Agitadores/Misturadores	8
Moinhos	2
Outros	153
Total	757

3.2.3 Papel do inventário na integração dos dados

O inventário consolidado serve como referência para a identificação dos ativos ao longo de todo o processo. No modelo de dados, a TAG do motor é utilizada como chave principal para relacionar o cadastro do ativo com os registros de ensaios elétricos coletados em campo. Além disso, os campos de localização (subestação, CCM e local de instalação)

permitem segmentações por área e facilitam análises orientadas à manutenção, como priorização por conjuntos de equipamentos e acompanhamento de intervenções associadas a ordens de manutenção.

3.3 Critérios e matriz de decisão

Após a consolidação do inventário de ativos, definiu-se o conjunto de critérios utilizado para transformar os resultados dos ensaios elétricos em uma recomendação de manutenção para cada motor ou motorreductor avaliado. Essa etapa foi implementada por meio de uma matriz de decisão construída em planilha eletrônica e posteriormente integrada ao *Power BI*, permitindo que a recomendação e o prazo associado sejam obtidos automaticamente a partir dos valores medidos em campo.

3.3.1 Critérios utilizados na avaliação

A matriz de decisão foi estruturada a partir de quatro entradas principais: RTG, IA, IP e o desequilíbrio de resistência entre fases. Esses critérios foram escolhidos por representarem, de forma complementar, a condição do sistema de isolamento e a simetria elétrica dos enrolamentos.

- RTG: resistência de isolamento considerada para avaliação do estado da isolação do motor. A sigla RTG é utilizada como abreviação de *Resistance to Ground*, isto é, a resistência medida entre o enrolamento e a carcaça/terra do equipamento, utilizando como referência a resistência em 1 minuto a 40°C, conforme prática adotada no processo de medição e na regra de decisão.
- IA: índice de absorção, calculado a partir das leituras temporizadas do ensaio, conforme apresentado na Seção 2.3.1.2.
- IP: índice de polarização, calculado a partir das leituras temporizadas do ensaio, conforme apresentado na Seção 2.3.1.2.
- Desequilíbrio de resistência entre fases: calculado a partir das resistências ôhmicas medidas entre fases do enrolamento. A expressão utilizada no formulário de coleta é:

$$D = \left(\frac{R_{\max}}{R_{\min}} \cdot 100 \right) - 100$$

em que $R_{\max}$ e $R_{\min}$ são, respectivamente, o maior e o menor valor entre as três medições entre fases.

3.3.2 Classificação dos indicadores

Para possibilitar o cruzamento dos critérios na matriz, RTG, IA e IP foram convertidos em classes qualitativas com seis níveis: Excelente, Bom, Confiável, Questionável, Pobre e Perigoso. Essa classificação é a base para o agrupamento de condições semelhantes e para a aplicação das regras de decisão de forma padronizada.

No caso do desequilíbrio de resistência entre fases, adotou-se uma classificação por faixas percentuais, permitindo maior sensibilidade para priorização. As faixas utilizadas na matriz são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Faixas de desequilíbrio de resistência entre fases utilizadas na matriz. Fonte: Elaboração própria.

Faixas de desequilíbrio (%)
0 a 0,5%
0,5 a 1%
1 a 1,5%
1,5 a 2%
2 a 2,5%
> 2,5%

Além das faixas, a lógica da matriz considera uma regra prática aplicada ao processo: quando o motor apresenta RTG em 1 minuto a 40°C maior ou igual a 5 GΩ, os índices IA e IP podem ser desconsiderados na interpretação, mantendo-se o acompanhamento do ativo por meio de novo ensaio conforme periodicidade definida.

3.3.3 Construção da matriz de decisão

A matriz de decisão foi desenvolvida em planilha eletrônica contendo todas as combinações possíveis entre as classes de RTG, IA e IP e as faixas de desequilíbrio de resistência. Cada combinação é associada a um resultado de decisão e, quando aplicável, a um prazo médio para substituição. A Figura 14 apresenta a estrutura da planilha utilizada, evidenciando as colunas de classificação (RTG, IA e IP), a faixa de desequilíbrio entre fases, o campo de recomendação/decisão e o respectivo prazo médio associado.

RTG	IA	IP	DESB. RESIST.	DECISÃO	PRAZO MÉDIO PARA SUBSTITUIÇÃO
BOM	EXCELENTE	EXCELENTE	0 a 0,5%	Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual	-
BOM	BOM	EXCELENTE	0 a 0,5%	Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual	-
BOM	BOM	BOM	0 a 0,5%	Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual	-
BOM	QUESTIONÁVEL	QUESTIONÁVEL	0 a 0,5%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados	-
BOM	POBRE	QUESTIONÁVEL	0 a 0,5%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados	-
BOM	BOM	BOM	0,5 a 1%	Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual	-
BOM	CONFIÁVEL	CONFIÁVEL	0,5 a 1%	Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual	-
BOM	QUESTIONÁVEL	QUESTIONÁVEL	0,5 a 1%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados	-
BOM	POBRE	POBRE	0,5 a 1%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados	-
BOM	POBRE	QUESTIONÁVEL	1 a 1,5%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados	-
BOM	BOM	BOM	1 a 1,5%	Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual	-
BOM	BOM	BOM	1,5 a 2%	Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual	-
BOM	BOM	BOM	> 2,5%	Planejar substituição do motor	10 dias
BOM	BOM	BOM	2 a 2,5%	Planejar substituição do motor	15 dias
BOM	CONFIÁVEL	QUESTIONÁVEL	0 a 0,5%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados	-
BOM	POBRE	POBRE	0 a 0,5%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados	-
BOM	QUESTIONÁVEL	POBRE	0,5 a 1%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados	-
CONFIÁVEL	EXCELENTE	EXCELENTE	0 a 0,5%	Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual	-
CONFIÁVEL	CONFIÁVEL	EXCELENTE	0 a 0,5%	Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual	-
CONFIÁVEL	CONFIÁVEL	CONFIÁVEL	0 a 0,5%	Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual	-
CONFIÁVEL	BOM	BOM	0,5 a 1%	Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual	-
CONFIÁVEL	CONFIÁVEL	BOM	0,5 a 1%	Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual	-
CONFIÁVEL	CONFIÁVEL	CONFIÁVEL	0,5 a 1%	Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual	-
CONFIÁVEL	CONFIÁVEL	CONFIÁVEL	1 a 1,5%	Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual	-
CONFIÁVEL	BOM	BOM	> 2,5%	Planejar substituição do motor	10 dias
CONFIÁVEL	PERIGOSO	PERIGOSO	> 2,5%	Planejar substituição do motor	10 dias
CONFIÁVEL	POBRE	POBRE	0,5 a 1%	Planejar substituição do motor	15 dias
CONFIÁVEL	PERIGOSO	PERIGOSO	0,5 a 1%	Planejar substituição do motor	15 dias
CONFIÁVEL	BOM	BOM	2 a 2,5%	Planejar substituição do motor	15 dias
EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	0 a 0,5%	Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual	-
EXCELENTE	BOM	EXCELENTE	0 a 0,5%	Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual	-
EXCELENTE	BOM	BOM	0 a 0,5%	Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual	-
EXCELENTE	EXCELENTE	QUESTIONÁVEL	0 a 0,5%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados	-
EXCELENTE	BOM	QUESTIONÁVEL	0 a 0,5%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados	-
EXCELENTE	BOM	POBRE	0 a 0,5%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados	-

Figura 14 – Estrutura da matriz de decisão. Fonte: Elaboração própria.

Para viabilizar a integração no *Power BI*, foi criada uma chave textual de relacionamento por concatenação, composta pelos campos RTG, IA, IP e pela faixa de desequilíbrio. Essa chave é utilizada para relacionar, no modelo de dados, os registros de ensaio com a linha correspondente da matriz, obtendo a recomendação de forma automática.

3.3.4 Saídas da matriz: recomendação e prazo

Como resultado, a matriz retorna duas saídas principais: a recomendação de manutenção e o prazo médio associado quando a condição indica necessidade de substituição ou planejamento. No conjunto implementado, as recomendações foram padronizadas em cinco opções:

- Motor aprovado. Manter estratégia de manutenção atual.
- Manter motor em observação (refazer teste).
- Planejar substituição do motor.
- Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 GΩ, os IP e IA podem ser desconsiderados.
- Planejar substituição do motor. Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 GΩ, os IP e IA podem ser desconsiderados (manter monitoramento - refazer teste).

Os prazos médios vinculados às decisões foram organizados de forma a apoiar a programação de manutenção e a priorização dos casos críticos, incluindo as opções:

“Substituição imediata”, “10 dias”, “15 dias” e “Caso seja necessária a substituição, 20 dias”, além do símbolo “-” quando não se aplica prazo.

3.4 Instrumento de coleta

Após a definição dos critérios e da matriz de decisão, foi estabelecido o instrumento de coleta utilizado para reunir os resultados dos ensaios elétricos aplicados a motores e motorreductores. Para isso, adotou-se um formulário eletrônico preenchido pelos responsáveis pelos testes. A escolha desse formato facilita a rastreabilidade das medições, reduz erros de preenchimento e agiliza a integração dos dados com o Power BI.

O formulário foi dividido em seções, separando informações de identificação, condições do ensaio, resultados e anexos. Essa organização torna o preenchimento mais objetivo e garante que os campos necessários para análise estejam disponíveis em cada registro. A Figura 15 apresenta o formulário utilizado e exemplifica a estrutura das seções e dos campos coletados para suportar a consolidação e a análise dos ensaios.

The screenshot shows a web application for creating a form. At the top, there's a search bar and a breadcrumb trail: "Home > Manutenção em Motores Elétrico...". Below this is a header "Editor" with the title "46657 - Manutenção em Motores Elétricos" and "MOTORES ELÉTRICOS".

On the left, a "Componentes" panel lists various form controls: AMV, Código Barras, Data, Email, Mostrar Imagem, Máscara, Options, Contratados, Enviar Email, Slider, Trilhas, Auto Completar, Check Boxes, Data e Hora, Fórmula, Subtítulo, Multi Seleção, Foto, Fornecedor(Empresa), Assinatura, Multi Linhas, Validador Eixos, Computed Field, Lista Simples, Hierarquia, Hyperlink, Número, Código QR, Seção, Dormentes, and Caixa de Texto. There are also buttons for "Buscar Usuário" and "Trilhas".

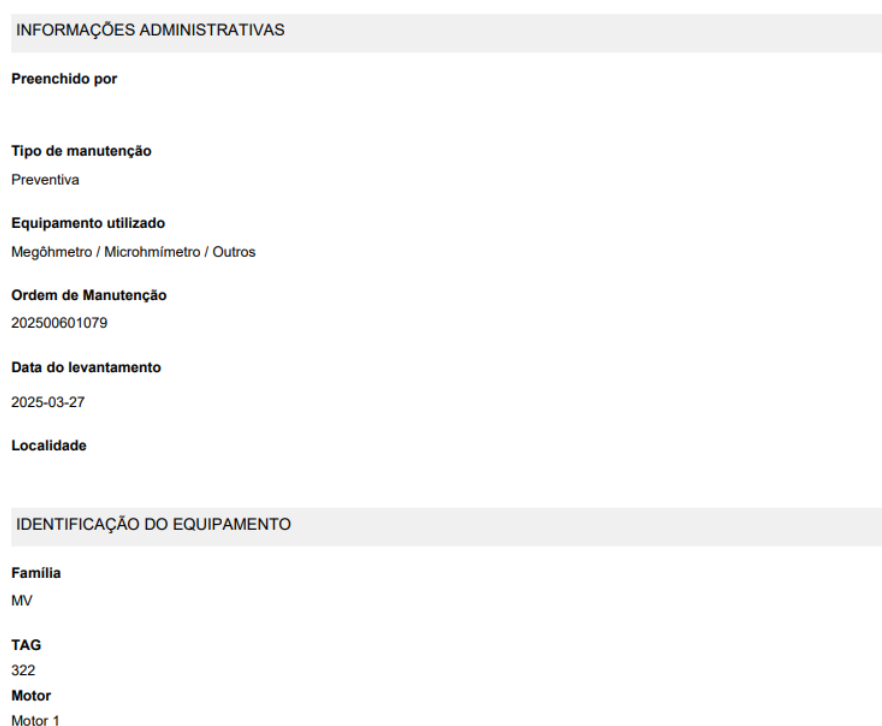
The main area shows a form structure with numbered sections:

- 11 Família: Lista Simples
- 12 TAG: Lista Simples
- 13 Motor: Lista Simples
- 14 * Motor encontrado na lista acima?: Lista Simples
- 15 TAG do Equipamento (Opcional): Caixa de Texto (with a note: "Caso não encontrar a TAG na lista, selecionar a mais próxima e preencher manualmente abaixo.")
- 16 * Placa do Motor: Foto
- 17 Foto da caixa de ligação (Opcional): Foto
- 18 * Temperatura do motor (°C): Número
- 19 ENSAIOS ELÉTRICOS
- 20 RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO
- 21

Figura 15 – Criação do formulário de registro de ensaios. Fonte: Elaboração própria.

3.4.1 Seção de identificação do registro e do ativo

A primeira seção reúne os campos que permitem associar o ensaio ao ativo correto e ao contexto de manutenção. Nessa etapa são informados a data do teste, o tipo de manutenção, o número da ordem de manutenção, a localidade e a TAG do motor/equipamento. O formulário também contempla o campo de família do equipamento, utilizado para agrupar os registros nos *dashboards* e apoiar análises por tipo de aplicação. A Figura 16 apresenta essa seção do formulário, destacando os campos administrativos e de identificação do equipamento que garantem rastreabilidade do registro, padronização das informações e posterior integração com o inventário de ativos no modelo de dados.



INFORMAÇÕES ADMINISTRATIVAS	
Preenchido por	
Tipo de manutenção	Preventiva
Equipamento utilizado	Megôhmetro / Microhmímetro / Outros
Ordem de Manutenção	202500601079
Data do levantamento	2025-03-27
Localidade	

IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO	
Família	MV
TAG	322
Motor	Motor 1

Figura 16 – Seção de identificação do registro e do ativo do formulário. Fonte: Elaboração própria.

3.4.2 Seção de condições do ensaio

Em seguida, o formulário apresenta campos destinados a caracterizar o ensaio no momento da medição, registrando as condições sob as quais os resultados foram obtidos. Nessa seção são informados, por exemplo, a temperatura do motor e a tensão aplicada no teste, além de dados do equipamento de teste (fabricante e modelo), o que contribui para a rastreabilidade do procedimento e para a comparabilidade entre registros. A Figura 17 apresenta a seção de condições do ensaio do formulário, evidenciando os campos utilizados para contextualizar as medições em campo e reduzir ambiguidades na interpretação dos resultados.

ENSAIOS ELÉTRICOS
Temperatura do motor (°C) 28
EQUIPAMENTO DE TESTE
Fabricante / Modelo Fluk 1555
Caso a Tensão (V) do motor seja: Menor que 1000 V · Aplicar 500 V para teste Entre 1000 V e 2500 V · Aplicar 500 V para teste Entre 2501 V e 5000 V · Aplicar 1000 V para teste Entre 5001 V e 12000 V · Aplicar 2500 V para teste Maior que 12000 V · Aplicar 5000 V para teste Não aplicar tensões diferentes do que a indicada!
Tensão do motor (V) 480
Tensão aplicada (V) 500

Figura 17 – Seção de condições do ensaio do formulário. Fonte: Elaboração própria.

3.4.3 Seção de resistência de isolamento

A seção de resistência de isolamento foi estruturada para concentrar as leituras do ensaio e a classificação do resultado segundo as faixas adotadas no projeto. Os campos são organizados de maneira a facilitar o preenchimento pelo executor, além de garantir que o resultado seja utilizado diretamente como entrada na matriz de decisão descrita na Seção 3.3. A Figura 18 apresenta essa seção do formulário, evidenciando o registro das leituras temporizadas de resistência (por exemplo, aos 30 segundos, 1 minuto e 10 minutos), bem como os índices derivados (IA e IP) e seus respectivos campos de classificação, de modo a padronizar a coleta e reduzir ambiguidades na interpretação dos ensaios.

VALORES ENCONTRADOS
Resistência em 30s 8.1
Unidade (Valores em 30s) GigaOhm (G)
Resistência em 1min 9
Unidade (Valore em 1min) GigaOhm (G)
Resistência em 10min 10.4
Unidade (Valor em 10min) GigaOhm (G)
Média das Resistências 9.166666666666666
Índice de absorção cálculo automático 1.1111111111111112
Índice de polarização cálculo automático 1.1555555555555557
Referências para índices
Status índice de absorção Pobre
Status índice de polarização Pobre

Figura 18 – Seção de resistência de isolamento do formulário. Fonte: Elaboração própria.

3.4.4 Seção de resistência ôhmica dos enrolamentos

O formulário também inclui uma seção voltada ao ensaio de resistência ôhmica dos enrolamentos, com campos para inserção das medições entre fases e para indicação do resultado conforme os critérios utilizados no trabalho. Essa seção permite identificar casos com indícios de assimetria elétrica, os quais podem estar associados a conexões inadequadas, emendas, contatos defeituosos ou degradação localizada do enrolamento, devendo ser analisados em conjunto com o histórico do ativo e os demais ensaios. A Figura 19 apresenta a seção de resistência ôhmica do formulário, evidenciando os campos destinados às leituras entre fases, ao cálculo do desequilíbrio e à respectiva classificação utilizada como entrada na matriz de decisão e destacada nas visualizações de análise e priorização.

RESISTÊNCIA ÔHMICA DOS ENROLAMENTOS

Fabricante / Modelo
Megabras mpk256

Resistência entre fases R-S (m)
148.5

Resistência entre fases S-T (m)
148.43

Resistência entre fases T-R (m)
148.35

Média cálculo automático
148.4266666666665

Formula - Desequilíbrio entre fases $((\text{Maior valor} / \text{Menor valor}) * 100) - 100$

Desequilíbrio (%)
0.1

Desequilíbrio aceitável Menor ou igual 2%

Status desequilíbrio
Aceitável

Figura 19 – Seção de resistência ôhmica dos enrolamentos do formulário. Fonte: Elaboração própria.

3.4.5 Seção de anexos e observações

Para apoiar a conferência dos dados e o detalhamento de ocorrências específicas, o formulário possui campos de anexos e um campo aberto para observações. Os anexos incluem fotografias da placa de identificação e da caixa de ligação, contribuindo para a validação das informações cadastradas e para a rastreabilidade do registro. Já o campo de observações é utilizado para registrar particularidades do equipamento e do ensaio que nem sempre são capturadas por campos estruturados, como condições do ambiente, sinais visuais de aquecimento, presença de vibração anormal, intervenções recentes e outras informações relevantes para contextualizar a interpretação dos resultados. A Figura 20 apresenta a seção de anexos e observações do formulário, exemplificando o registro de

evidências visuais e de comentários que complementam a análise e apoiam a tomada de decisão.

COMENTÁRIOS

Foto do Motor.
1000093557.jpg



Observações.
Funcionamento do motor muito rápido e muito pouco ao longo do dia ,isso pode estar interferindo nos valores do isolamento interno do motor

Figura 20 – Seção de anexos e observações do formulário. Fonte: Elaboração própria.

3.5 Extração, Transformação e Carregamento de Dados

A etapa de Extração, Transformação e Carregamento de Dados foi executada no *Power BI Desktop* a partir de duas fontes principais: a integração via Web com a API do formulário utilizado, responsável por disponibilizar as respostas e anexos dos ensaios, e a importação de arquivos em planilha eletrônica, contemplando a matriz de decisão e as demais tabelas de apoio. O objetivo desta etapa foi organizar essas informações em tabelas estruturadas e compatíveis entre si, permitindo o relacionamento com o inventário de ativos e a aplicação automática das recomendações definidas na matriz de decisão.

3.5.1 Extração dos dados do formulário

A extração foi realizada por meio do conector Web do Power BI. Nesse processo, acessa-se a opção *Nova Fonte (Get Data)* e seleciona-se *Web*, inserindo a URL da API do formulário, a qual retorna as respostas registradas, incluindo campos estruturados e referências a anexos. A Figura 21 ilustra o caminho de acesso ao conector Web no Power BI Desktop, etapa inicial para estabelecer a conexão e importar o conteúdo disponibilizado pela API.

Ao confirmar a URL, o Power BI direciona para o *Power Query Editor*, ambiente onde são realizadas as transformações necessárias para estruturar o conteúdo retornado pela API, como seleção e renomeação de colunas, expansão de campos aninhados, ajuste de tipos de dados e filtragem de registros, preparando os dados para a modelagem e a construção dos indicadores.

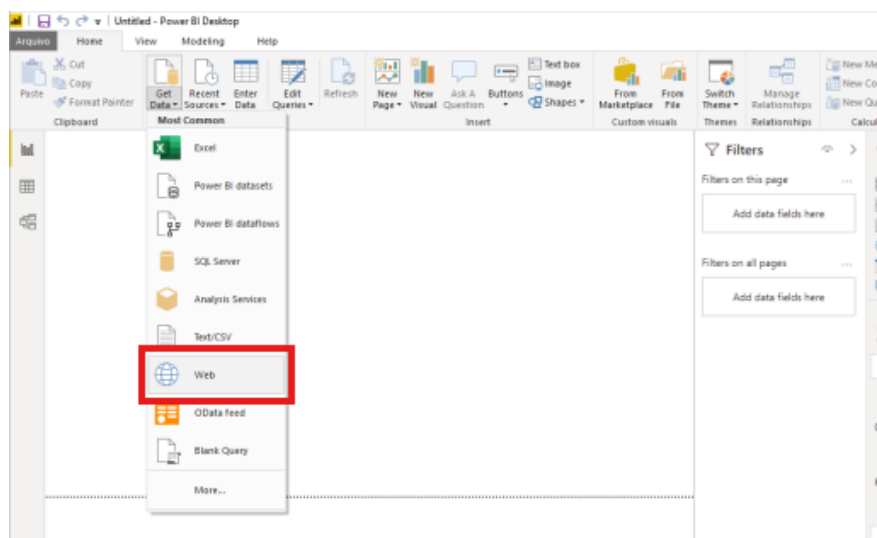


Figura 21 – Obtenção de dados do formulário no *Power BI Desktop*. Fonte: Elaboração própria.

3.5.1.1 Transformação no *Power Query Editor*

Ao abrir a consulta no *Power Query*, o retorno da API é apresentado inicialmente como uma lista (*List*) contendo registros (*Record*). Essa lista foi convertida em tabela por meio do comando *Para a Tabela* (*To Table*). Em seguida, foi utilizado o recurso de expansão para desdobrar os registros em colunas, desmarcando a opção de utilizar o nome da coluna original como prefixo, de modo a manter os nomes dos campos mais diretos para manipulação. A Figura 22 exemplifica o resultado dessa etapa após a conversão e a expansão, evidenciando a estrutura tabular obtida a partir do conteúdo retornado pela API.

 A screenshot of the Power Query Editor interface. The 'Queries' pane on the left shows a query named 'RespostasForms'. The main area displays a table with the following columns: 'id', 'responseid', 'form', 'responses', and 'areaid'. The table contains four rows of data. The formula bar at the top shows the query formula: `Table.ExpandRecordColumn(#"Converted to Table", "Column1", {"id", "responseid", "form", "responses", "areaid"}, null)`.

	id	responseid	form	responses	areaid
1	bef9c3b9-1a51-4208-beeb-c1bb5c0f1d6e	6217546	Record	List	52
2	b1e32c92-eebe-4302-8e72-d45789f19b4b	6217690	Record	List	52
3	d6d56d70-9ce1-4d7f-9672-4e4615056c1a	6217752	Record	List	52
4	da7ed144-dab5-4498-9602-e68764aa60...	6220881	Record	List	52

Figura 22 – Consulta após a expansão em colunas. Fonte: Elaboração própria.

Após a expansão, obteve-se uma tabela contendo campos de identificação da resposta e um campo com a lista de respostas do formulário. Para organizar as perguntas e respostas de forma adequada ao relatório, foi aplicada a etapa de manipulação orientada pelo guia, criando consultas que resultam em colunas para cada pergunta do formulário, utilizando o *Editor Avançado* (*Advanced Editor*). Essa abordagem facilita a padronização dos campos, reduz ajustes manuais recorrentes e prepara a base para a modelagem do *dataset* e a construção de indicadores.

3.5.1.1.1 Consulta principal de respostas (tabela pivotada)

A consulta principal foi renomeada para um nome descritivo para facilitar a manutenção do projeto. No *Editor Avançado*, foi inserido o código em linguagem M responsável pela integração via API e pela transformação dos dados, incluindo a expansão dos campos, o tratamento de tipos e a reorganização das respostas. A Figura 23 apresenta o *Editor Avançado* com o código M utilizado nessa etapa.

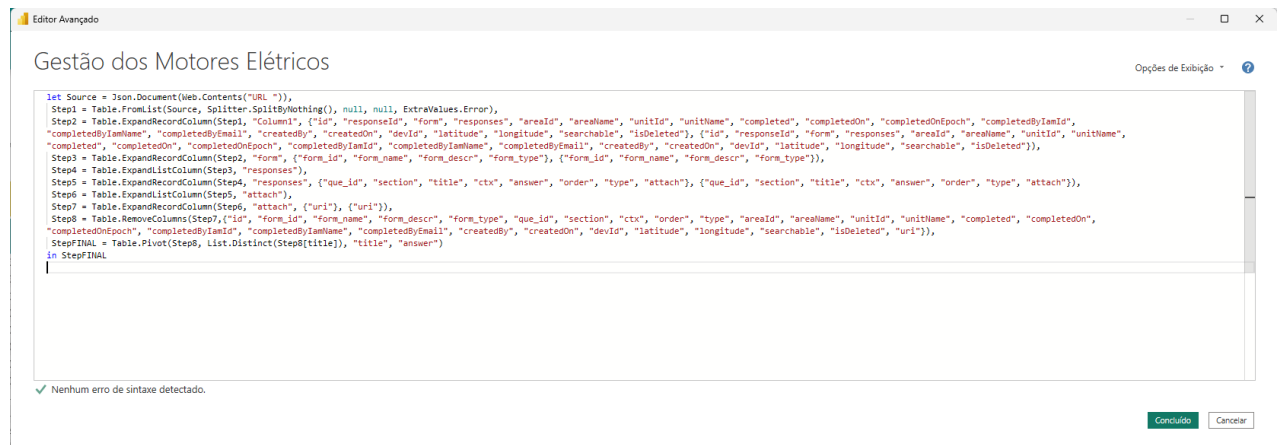


Figura 23 – Editor Avançado com o código M. Fonte: Elaboração própria.

Como resultado, cada pergunta do formulário foi convertida em uma coluna, obtendo-se uma tabela final mais adequada para exploração no Power BI. A Figura 24 apresenta a tabela de respostas estruturada após as transformações no *Power Query*, evidenciando o formato tabular (uma linha por registro/ensaio e colunas para os campos coletados) que serve de base para a modelagem do *dataset* e para o cálculo de indicadores.

Temperatura do motor (°C)	Tensão aplicada (V)	Índice de absorção – cálculo automático	Índice de polarização – cálculo automático	Status índice de absorção	Status índice de polarização
19	500	1,21906693711968	1,4675540765391	Questionável	Pobre
19	500	1,25485436893204	1,78916827852998	Confiável	Questionável
19	500	1,25	1,58620689655172	Confiável	Questionável
19	500	1,11255411255411	1,38910505836576	Questionável	Pobre
19	500	1,02827763496144	1,1125	Pobre	Pobre
19	500	1,2	3,78333333333333	Questionável	Bom
19	500	1,29880478087649	1,5398773006135	Confiável	Questionável
19	500	1,1332560834299	2,09100204498978	Questionável	Confiável
19	500	1,4020618556701	4,15441176470588	Bom	Excelente
19	500	1,19247787610619	1	Questionável	Pobre
22	500	1,35042735042735	1,69620253164557	Bom	Questionável
21	500	1,21052631578947	1,39130434782609	Questionável	Pobre
21	500	1,21052631578947	1,39130434782609	Questionável	Pobre
21	500	1,57843137254902	2,12422360248447	Bom	Confiável

Figura 24 – Tabela de respostas do formulário estruturada após transformação no *Power Query*. Fonte: Elaboração própria.

3.5.2 Extração dos dados da matriz de decisão

Além dos dados provenientes do formulário, foi necessário importar a matriz de decisão, desenvolvida em planilha eletrônica. Por se tratar de um arquivo Excel com estrutura tabular previamente definida, sua extração no Power BI é mais direta quando comparada à integração via Web. A importação foi realizada pela opção *Nova Fonte* (*Get Data*), selecionando-se o conector *Excel*. A Figura 25 ilustra o acesso ao conector e o início do processo de obtenção dos dados da matriz a partir do arquivo, etapa que antecede a seleção da planilha no *Navigator* e o encaminhamento para transformação no *Power Query*.

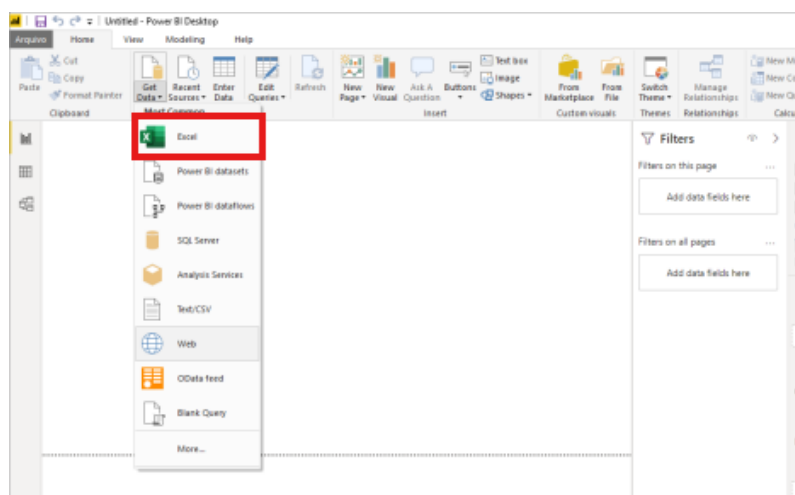


Figura 25 – Obtenção de dados da matriz de decisão no *Power Query*. Fonte: Elaboração própria.

No *Power Query Editor*, as etapas de tratamento consistiram principalmente na conferência dos tipos de dados, verificação da nomenclatura de colunas e validação da chave de relacionamento utilizada no modelo. Ao final, a tabela foi carregada para o modelo como uma tabela de referência, permitindo o relacionamento com os registros de ensaio e a aplicação automática da recomendação e do prazo associados. A Figura 26 apresenta a tabela da matriz de decisão após a transformação, evidenciando sua estrutura tabular com as combinações de classes (RTG, IA e IP) e faixas de desequilíbrio, bem como os campos de decisão/recomendação e o prazo médio correspondente.

RTG	IA	IP	DESB. RESIST.	DECISÃO
EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	> 2,5%	Planejar substituição do motor
EXCELENTE	EXCELENTE	POBRE	1,5 a 2%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados
EXCELENTE	EXCELENTE	PERIGOSO	0 a 0,5%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados
EXCELENTE	BOM	EXCELENTE	> 2,5%	Planejar substituição do motor
EXCELENTE	BOM	BOM	2 a 2,5%	Planejar substituição do motor
EXCELENTE	BOM	BOM	> 2,5%	Planejar substituição do motor
EXCELENTE	CONFIÁVEL	BOM	2 a 2,5%	Planejar substituição do motor
EXCELENTE	CONFIÁVEL	POBRE	0 a 0,5%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados
EXCELENTE	CONFIÁVEL	POBRE	0,5 a 1%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados
EXCELENTE	CONFIÁVEL	POBRE	1 a 1,5%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados
EXCELENTE	CONFIÁVEL	QUESTIONÁVEL	0 a 0,5%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados
EXCELENTE	CONFIÁVEL	QUESTIONÁVEL	0,5 a 1%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados
EXCELENTE	CONFIÁVEL	QUESTIONÁVEL	1 a 1,5%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados
EXCELENTE	CONFIÁVEL	QUESTIONÁVEL	1,5 a 2%	Manter motor em observação (refazer teste). Porém, se o motor apresentar RTG 1 min. a 40°C maior ou igual a 5 Gohms, os IP e IA podem ser desconsiderados

Figura 26 – Tabela de respostas da matriz de decisão estruturada após transformação no *Power Query*. Fonte: Elaboração própria.

3.5.3 Carregamento e preparação para atualização

Após concluir as transformações no *Power Query*, as consultas foram carregadas no modelo do *Power BI*. A estrutura resultante permite atualização do relatório sem refazer as etapas manualmente, bastando atualizar as consultas para buscar novas respostas registradas no formulário. Da mesma forma, eventuais ajustes na matriz de decisão podem ser incorporados por meio da atualização do arquivo Excel e da atualização do conjunto de dados no *Power BI*.

3.6 Construção dos indicadores

Com as tabelas carregadas e relacionadas no *Power BI*, a etapa seguinte consistiu na construção dos indicadores por meio de colunas calculadas e medidas, viabilizando a consolidação das informações e a apresentação dos resultados em diferentes visualizações do relatório.

3.6.1 Criação de colunas calculadas

As colunas calculadas foram utilizadas principalmente para estruturar classificações e chaves necessárias aos relacionamentos e às regras de decisão. No modelo, essas colunas atendem a três finalidades: padronização de categorias, criação de faixas para análise e geração de chaves de relacionamento com tabelas de referência.

Entre as colunas calculadas construídas, destacam-se:

- criação de faixas categóricas do desequilíbrio, conforme ilustrado na Figura 27;

```

1 Desequilibrio Valores = SWITCH(TRUE(),
2 'Analise Falhas'[Desequilíbrio (%)] >= 0 && 'Analise Falhas'[Desequilíbrio (%)] < 0.5, "0 a 0,5%",
3 'Analise Falhas'[Desequilíbrio (%)] > 0.5 && 'Analise Falhas'[Desequilíbrio (%)] < 1, "0,5 a 1%",
4 'Analise Falhas'[Desequilíbrio (%)] > 1 && 'Analise Falhas'[Desequilíbrio (%)] < 1.5, "1 a 1,5%",
5 'Analise Falhas'[Desequilíbrio (%)] > 1.5 && 'Analise Falhas'[Desequilíbrio (%)] < 2, "1,5 a 2%",
6 'Analise Falhas'[Desequilíbrio (%)] > 2 && 'Analise Falhas'[Desequilíbrio (%)] < 2.5, "2 a 2,5%",
7 'Analise Falhas'[Desequilíbrio (%)] > 2.5, "> 2,5%")

```

Figura 27 – Faixas de desequilíbrio em formato categórico. Fonte: Elaboração própria.

- criação de colunas calculadas para correção da resistência de isolamento para 40 °C, conforme ilustrado nas Figuras 28 e 29;

```

1 Fator Correção RTG 40°C = SWITCH(TRUE(),
2 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 0, "0,05",
3 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 1, "0,05",
4 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 2, "0,06",
5 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 3, "0,06",
6 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 4, "0,07",
7 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 5, "0,08",
8 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 6, "0,09",
9 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 7, "0,1",
10 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 8, "0,1",
11 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 9, "0,1",
12 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 10, "0,12",
13 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 11, "0,13",
14 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 12, "0,14",
15 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 13, "0,15",
16 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 14, "0,16",
17 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 15, "0,17",
18 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 16, "0,18",
19 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 17, "0,2",
20 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 18, "0,21",
21 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 19, "0,22",
22 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 20, "0,24",
23 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 21, "0,26",
24 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 22, "0,3",
25 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 23, "0,3",
26 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 24, "0,32",
27 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 25, "0,35",
28 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 26, "0,37",
29 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 27, "0,4",
30 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 28, "0,42",
31 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 29, "0,45",
32 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 30, "0,5",
33 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 31, "0,54",
34 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 32, "0,58",
35 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 33, "0,6",
36 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 34, "0,65",
37 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 35, "0,7",
38 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 36, "0,75",
39 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 37, "0,8",
40 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 38, "0,88",
41 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 39, "0,95",
42 'Analise Falhas'[Temperatura do motor (°C)] = 40, "1")

```

Figura 28 – Fator de correção da resistência de isolamento. Fonte: Elaboração própria.

```

1 Cálculo RTG 40°C = ('Analise Falhas'[Fator Correção RTG 40°C] * 'Analise Falhas'[#Resistência em 1min])

```

Figura 29 – Resistência de isolamento após a correção. Fonte: Elaboração própria.

- criação de faixas categóricas de resistência de isolamento, normalizadas em relação à tensão nominal do equipamento, conforme ilustrado na Figura 30;

```

1 Status RTG = SWITCH(TRUE(),
2 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] < 5 && 'Analise Falhas'[Tensão Motor] < 1000 , "Perigoso",
3 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] > 5 && 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] < 10 && 'Analise Falhas'[Tensão Motor] < 1000 , "Pobre",
4 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] > 10 && 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] < 50 && 'Analise Falhas'[Tensão Motor] < 1000 , "Questionável",
5 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] > 50 && 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] < 80 && 'Analise Falhas'[Tensão Motor] < 1000 , "Confiável",
6 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] > 80 && 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] < 100 && 'Analise Falhas'[Tensão Motor] < 1000 , "Bom",
7 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] > 100 && 'Analise Falhas'[Tensão Motor] < 1000 , "Excelente",
8
9 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] < 100 && 'Analise Falhas'[Tensão Motor] > 1000 , "Perigoso",
10 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] > 100 && 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] < 150 && 'Analise Falhas'[Tensão Motor] > 1000 , "Pobre",
11 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] > 150 && 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] < 200 && 'Analise Falhas'[Tensão Motor] > 1000 , "Questionável",
12 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] > 200 && 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] < 500 && 'Analise Falhas'[Tensão Motor] > 1000 , "Confiável",
13 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] > 500 && 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] < 5000 && 'Analise Falhas'[Tensão Motor] > 1000 , "Bom",
14 'Analise Falhas'[Cálculo RTG 40°C] > 5000 && 'Analise Falhas'[Tensão Motor] > 1000 , "Excelente")
15

```

Figura 30 – Faixas de resistência de isolamento em formato categórico. Fonte: Elaboração própria.

3.6.2 Criação de medidas para consolidação

As medidas foram utilizadas para realizar contagens e consolidações que variam conforme o recorte aplicado nos segmentadores. Diferentemente das colunas calculadas, as medidas respondem dinamicamente aos filtros da página e, por esse motivo, foram utilizadas para compor cartões, séries temporais e consolidações por período.

Entre as medidas construídas, destacam-se:

- quantificação do volume de ensaios no período selecionado, conforme ilustrado na Figura 31;

```

1 #COUNT = COUNTROWS('Gestão dos Motores Elétricos')

```

Figura 31 – Contagem de ensaios. Fonte: Elaboração própria.

- data atual do relatório, conforme ilustrado na Figura 32.

```

1 Dcalendario =
2 ADDCOLUMNS(
3     CALENDARAUTO(),
4     "Ano",FORMAT([Date],"yyyy"),
5     "Mês Nome",FORMAT([Date],"mmm"),
6     "Semana",WEEKNUM([Date]),
7     "Dia",FORMAT([Date],"dd")
8 )

```

Figura 32 – Data atual do relatório. Fonte: Elaboração própria.

3.6.3 Síntese da etapa de construção

Ao final desta etapa, o modelo passou a conter colunas calculadas voltadas à categorização e integração das regras, além de medidas destinadas às consolidações que variam conforme filtros. Com isso, as páginas do relatório foram estruturadas para apresentar indicadores consistentes e reutilizáveis, servindo de base para a discussão e interpretação dos resultados em tópico posterior.

4 Resultados

Este capítulo apresenta os resultados obtidos a partir do relatório desenvolvido no *Power BI*, destacando como os indicadores e as tabelas consolidadas permitem acompanhar o comportamento dos ensaios e identificar ocorrências prioritárias. A apresentação é organizada conforme a estrutura do *dashboard*, que foi dividido em duas páginas: uma página de visão geral (“Gestão dos Motores Elétricos”) e uma página dedicada à priorização (“Análise de Falhas”).

4.1 Visão geral do relatório e recortes de análise

O relatório foi construído para operar com recortes dinâmicos, definidos pelos segmentadores no topo das páginas: Localidade, TAG (Motor/Equipamento), Ordem de Manutenção e Intervalo de Data. Esses elementos controlam o contexto de todos os indicadores, permitindo alternar entre uma leitura consolidada (parque completo ou subconjuntos por local) e uma leitura detalhada por ativo e por ordem de serviço.

A Figura 33 apresenta os segmentadores e o indicador de “Última Atualização”, utilizado como referência para verificar o momento da última sincronização do conjunto de dados. O *dashboard* também inclui a função “Limpar Filtros”, que retorna o relatório ao estado padrão de navegação.

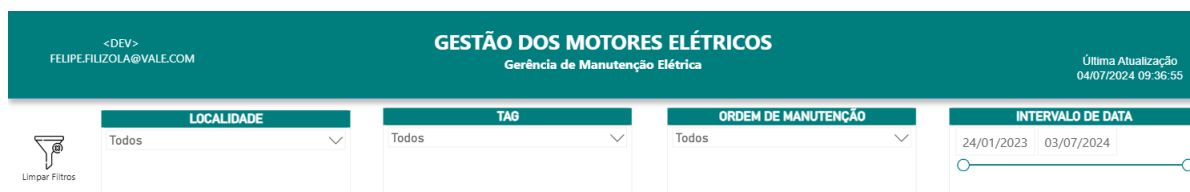


Figura 33 – Segmentações do *dashboard*. Fonte: Elaboração própria.

4.2 Página “Gestão dos Motores Elétricos”

A página “Gestão dos Motores Elétricos” concentra a visualização dos registros de ensaio e o acompanhamento dos indicadores ao longo do tempo, organizados em três blocos principais: Informações Gerais, Resistência de Isolamento e Resistência Ôhmica dos Enrolamentos.

4.2.1 Informações gerais: tabela de registros

No bloco “Informações Gerais”, o relatório disponibiliza uma tabela para consulta dos registros de ensaio, conforme ilustrado na Figura 34. Essa tabela reúne campos de identificação e rastreabilidade, incluindo motor/equipamento, data e ordem de manutenção, além das grandezas medidas no ensaio. Entre os campos exibidos, destacam-se resistências de isolamento em diferentes instantes (30 s, 1 min e 10 min) e resistências entre fases do enrolamento, possibilitando conferência direta dos dados utilizados nos indicadores e na matriz de decisão.

INFORMAÇÕES GERAIS												
Motor/Equipamento	Data	OM	Temperatura do motor (°C)	Tensão do motor (V)	Tensão aplicada (V)	Resist. Isolamento 10min	Resist. Isolamento 1min	Resist. Isolamento 30s	Resist. Fases R-S (mΩ)	Resist. Fases S-T (mΩ)	Resist. Fases T-R (mΩ)	Desequilíbrio (%)
4AL02 MOTOREDUTOR	18/06/2024	202402056823	25,00	440	500,00	60 GΩ	26,8 GΩ	22,7 GΩ				0,36
4PE01 MOTOR ELÉTRICO	18/06/2024	202402056773	29,00	480	500,00	534 GΩ	133 GΩ	90,8 GΩ	40,7	40,7	40,7	0,00
4PE02 MOTOR ELÉTRICO	18/06/2024	202402056769	29,00	480	500,00	506 GΩ	128 GΩ	77,8 GΩ	40,5	40,9	40,6	0,98
4TC02 MOTOR ELÉTRICO - LADO DIREITO	17/06/2024	202402519321	27,00	440	500,00	524 GΩ	144 GΩ	105 GΩ	27	26,92	27,05	0,48
4TC02 MOTOR ELÉTRICO - LADO ESQUERDO	17/06/2024	202402519320	27,00	440	500,00	536 GΩ	122 GΩ	90 GΩ	23	23,2	23,1	0,86
4TC04 MOTOREDUTOR	17/06/2024	202402519367	25,00	440	500,00	61,4 GΩ	18,4 GΩ	12,1 GΩ	148,1	148,2	148,1	0,06
4TC05 MOTOREDUTOR	17/06/2024	202402519368	25,00	440	500,00	534 GΩ	180 GΩ	130 GΩ	265,1	264,5	263,1	0,76
4TC06 MOTOREDUTOR	17/06/2024	202402519369	25,00	440	500,00	48,6 GΩ	8,7 GΩ	6,1 GΩ	571,8	571,1	572,3	0,20
4TC07 MOTOREDUTOR - LADO DIREITO	17/06/2024	202402519322	25,00	440	500,00	137 GΩ	24,7 GΩ	17,5 GΩ	255,6	257,3	258,2	1,00
4TC07 MOTOREDUTOR - LADO ESQUERDO	17/06/2024	202402519323	25,00	440	500,00	20,3 GΩ	6,99 GΩ	5,55 GΩ	275,8	274,3	274,1	0,62
BO6817 MOTOR ELÉTRICO	17/06/2024	202402215186	26,00	4160	1.000,00	1,24 GΩ	1,2 GΩ	1,14 GΩ	1,126	1,128	1,128	0,17

Figura 34 – Bloco de “Informações Gerais”. Fonte: Elaboração própria.

4.2.2 Resistência de isolamento: séries temporais e leitura por status

No bloco “Resistência de Isolamento”, os indicadores foram organizados de forma temporal para apoiar a avaliação de comportamento e de estabilidade dos resultados ao longo do período analisado, conforme ilustrado na Figura 35. A página apresenta séries relacionadas aos valores de resistência de isolamento (30 s, 1 min e 10 min) e aos índices derivados, permitindo observar variações entre ensaios consecutivos, concentrações em determinadas faixas e eventuais dispersões associadas a condições de maior atenção.



Figura 35 – Bloco de “Resistência de Isolamento” filtrado por uma TAG. Fonte: Elaboração própria.

Para facilitar a interpretação sob diferentes recortes, os indicadores são acompanhados por colunas de status (classes qualitativas), que permitem identificar rapidamente a posição do resultado dentro do critério adotado na matriz de decisão. Assim, ao selecionar um ativo (TAG) ou uma ordem de manutenção, a leitura passa a refletir o histórico daquele conjunto específico, enquanto, em visão consolidada, evidencia o comportamento global do conjunto filtrado.

4.2.3 Resistência ôhmica dos enrolamentos: desequilíbrio e volume de testes

No bloco “Resistência Ôhmica dos Enrolamentos”, os indicadores foram estruturados para destacar assimetrias elétricas entre fases e apoiar a identificação de registros que demandam inspeção, reensaio ou acompanhamento, conforme ilustrado na Figura 36. O relatório apresenta, em série temporal, a evolução do desequilíbrio de resistência entre fases conforme o recorte aplicado, associando os registros ao status de classificação utilizado no modelo.

Complementarmente, o *dashboard* consolida o volume de ensaios por mês, permitindo observar a distribuição de testes ao longo do tempo e comparar, no mesmo período, a incidência de registros classificados como não aceitáveis. Essa consolidação auxilia a leitura do comportamento do processo de coleta e facilita a comparação entre períodos com volumes distintos de ensaio.

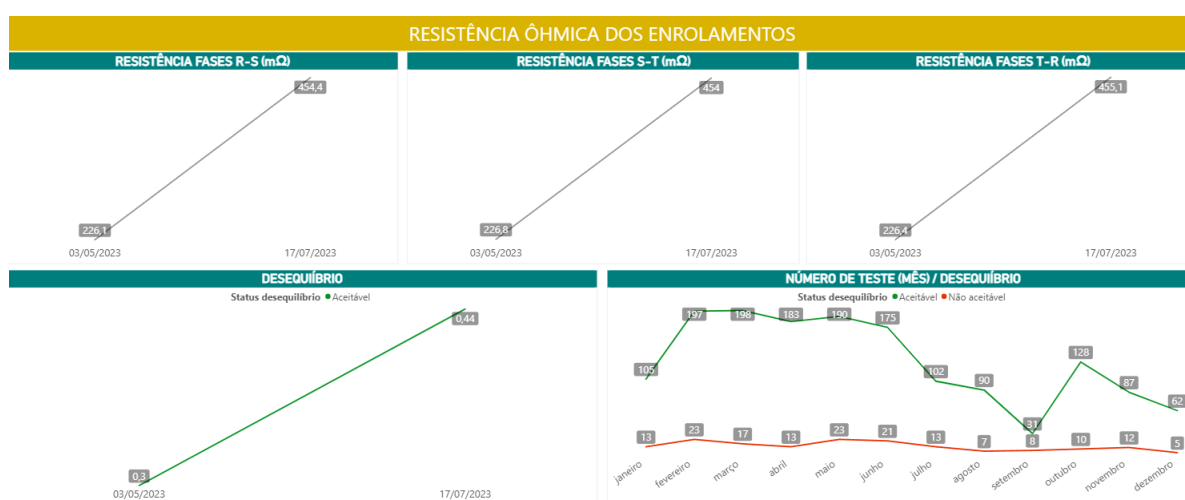


Figura 36 – Bloco de “Resistência Ôhmica dos Enrolamentos” filtrado por uma TAG.
Fonte: Elaboração própria.

4.3 Página “Análise de Falhas”

A página “Análise de Falhas” foi projetada para concentrar a visão de exceções e priorização, reunindo em uma única tabela os *status* dos critérios principais e as saídas da

matriz de decisão. Sob o mesmo conjunto de segmentadores (Localidade, TAG, Ordem de Manutenção e intervalo de data), a tabela apresenta, para cada registro, os *status* de RTG, índice de absorção, índice de polarização e desequilíbrio, juntamente com a recomendação retornada pela matriz e o prazo médio associado quando aplicável. A Figura 37 apresenta o bloco “Análise de Falhas”, exemplificando a consolidação desses campos e permitindo identificar rapidamente registros com resultados desfavoráveis, bem como a respectiva recomendação e prazo.

ANÁLISE DE FALHAS										
Motor/Equipamento	Data	OM	Temperatura do motor (°C)	Tensão do Motor (V)	Desequilíbrio	Status RTG	Índice de absorção	Índice de polarização	Desequilíbrio (%)	RTG - 1 min
FT6401 MOTOR ELÉTRICO 03	22/03/2024	202400957743	26,00	440	Aceitável	Excelente	Excelente	Questionável	0 a 0.5%	33,189 GΩ
FT6411 MOTOR ELÉTRICO 01	22/03/2024	202401075679	26,00	440	Não aceitável	Excelente	Questionável	Pobre	2 a 2.5%	4,44 GΩ
AG4807 MOTOR ELÉTRICO	21/03/2024	202400665892	30,00	440	Aceitável	Perigoso	Perigoso	Perigoso	1 a 1.5%	2,35 MΩ
AG4808 MOTOREDUTOR	21/03/2024	202400705057	30,00	440	Aceitável	Perigoso	Perigoso	Perigoso	0 a 0.5%	0,91 MΩ
RC463 MOTOREDUTOR - TRU...	21/03/2024	202401010012	20,00	440	Aceitável	Pobre	Perigoso	Perigoso	0 a 0.5%	7,2 MΩ
RC463 MOTOREDUTOR - TRU...	21/03/2024	202401010012	52,00	880	Aceitável	Excelente	Perigoso	Questionável	0 a 0.5%	220,15 kΩ
RC463 MOTOREDUTOR - TRU...	21/03/2024	202401010012	20,00	440	Aceitável	Excelente	Perigoso	Pobre	0 a 0.5%	151,2 MΩ
RC463 MOTOREDUTOR - TRU...	21/03/2024	202401010012	25,00	440	Aceitável	Excelente	Pobre	Questionável	0 a 0.5%	0,6965 GΩ
RC463 MOTOREDUTOR - TRU...	21/03/2024	202401010012	25,00	440	Aceitável	Confiável	Pobre	Perigoso	0.5 a 1%	58,45 MΩ
RC463 MOTOREDUTOR - TRU...	21/03/2024	202401010012	20,00	440	Aceitável	Perigoso	Questionável	Confiável	0 a 0.5%	2,4 MΩ
RC463 MOTOREDUTOR - TRU...	21/03/2024	202401010012	20,00	440	Aceitável	Perigoso	Perigoso	Questionável	0 a 0.5%	4,32 MΩ
RC463 MOTOREDUTOR - TRU...	21/03/2024	202401010012	20,00	440	Aceitável	Excelente	Confiável	Questionável	0 a 0.5%	5,28 GΩ
RC463 MOTOREDUTOR - TRU...	21/03/2024	202401010012	25,00	440	Aceitável	Questionável	Perigoso	Questionável	1.5 a 2%	24,99 MΩ
AG6301 MOTOR ELÉTRICO	20/03/2024	202400666875	30,00	440	Aceitável	Excelente	Questionável	Questionável	0 a 0.5%	374 MΩ
AG6302 MOTOR ELÉTRICO	20/03/2024	202400666869	30,00	440	Aceitável	Questionável	Pobre	Pobre	0.5 a 1%	11 MΩ
AL6003 MOTOR ELÉTRICO	20/03/2024	202400665167	27,00	440	Não aceitável	Excelente	Confiável	Bom	> 2.5%	11 GΩ

Figura 37 – Bloco de “Análise de Falhas”. Fonte: Elaboração própria.

Essa organização permite que o usuário realize o seguinte fluxo: selecionar um recorte (por área, período ou ativo), identificar registros com *status* desfavoráveis e consultar imediatamente a recomendação e o prazo, reduzindo a necessidade de interpretação manual das regras e apoiando a priorização de ações de manutenção.

5 Conclusão

Este trabalho abordou o problema de estruturar um sistema capaz de integrar dados de ensaios elétricos de motores e motorreduzores e convertê-los em informações gerenciais e recomendações de manutenção por meio de *Business Intelligence*. Para isso, foi desenvolvido um fluxo que parte do cadastro dos ativos e da definição de regras de decisão, passa pela coleta em campo e culmina na consolidação analítica em *dashboards* no *Power BI*, permitindo acompanhamento histórico e suporte à priorização de ações.

No estudo de caso, a base cadastral foi organizada a partir de um inventário consolidado em planilha eletrônica, estruturado em quatro setores operacionais e totalizando 757 registros, adotando a TAG do motor como identificação principal. Essa etapa permitiu reunir atributos técnicos e de localização relevantes para o relacionamento com os registros de ensaio e para a análise por agrupamentos, favorecendo rastreabilidade e consistência ao longo do processo. Em seguida, a matriz de decisão, construída com base na combinação dos critérios definidos no trabalho, viabilizou a conversão automática das condições obtidas nos ensaios em recomendações padronizadas e, quando aplicável, prazos médios de intervenção.

A etapa de integração no *Power BI* possibilitou centralizar as diferentes bases, executar o tratamento e estruturar o modelo analítico para a exploração dos dados. A utilização de recursos como o *Power Query* (para a preparação) e a linguagem DAX (para cálculos e regras de negócio) contribuiu para consolidar classificações, indicadores e campos derivados necessários às visualizações. Como resultado, foram elaboradas páginas voltadas tanto ao acompanhamento histórico e consulta de registros quanto à visão de exceções, reunindo em um único ambiente os status dos critérios e as saídas da matriz, de modo a reduzir a dependência de interpretação manual das regras e acelerar a tomada de decisão.

Por fim, conclui-se que a solução desenvolvida atende ao objetivo de integrar cadastro, ensaios elétricos e regras de decisão em uma camada analítica única, tornando mais acessível a leitura do comportamento dos indicadores ao longo do tempo e a identificação de casos que demandam atenção. Como limitações, destacam-se a dependência da qualidade e completude dos registros de campo e do cadastro, bem como a necessidade de revisão periódica de critérios e limiares à medida que novos históricos e aprendizados operacionais se acumulam. O trabalho evidencia o potencial do *Business Intelligence* como ferramenta de apoio à manutenção, ao transformar medições em informação organizada e acionável, por meio dos dados estruturados em *dashboards*.

5.1 Trabalhos futuros

Como continuidade do trabalho, recomenda-se ampliar a base analítica para incorporar fatores adicionais de contexto e priorização, tais como criticidade do acionamento, impacto no processo, regime de operação e histórico de intervenções. A inclusão desses elementos pode permitir que a recomendação técnica seja combinada com uma dimensão de risco e consequência, fortalecendo a programação de manutenção e a alocação de recursos.

Outra evolução relevante é a integração com outras fontes de condição e processo, de modo a complementar os ensaios elétricos com evidências de natureza distinta. Dados de vibração, termografia, temperatura, corrente e eventos operacionais, quando disponíveis, podem ampliar a capacidade diagnóstica e aumentar a robustez da interpretação, principalmente em casos nos quais a condição elétrica isoladamente não captura o mecanismo dominante de degradação.

Adicionalmente, a implementação de mecanismos de alerta e notificações para condições críticas pode tornar o uso do *dashboard* mais proativo, direcionando a atenção dos responsáveis apenas aos casos que ultrapassam limites definidos. Com isso, o acompanhamento deixa de depender exclusivamente de consultas periódicas e passa a atuar de forma orientada a exceções, reduzindo o tempo de resposta e apoiando a priorização das ações de manutenção.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 17094-3:2018 Máquinas elétricas girantes — Parte 3: Motores de indução trifásicos — Métodos de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. Citado 5 vezes nas páginas 23–25.

CHAPMAN, Stephen J. *Electric Machinery Fundamentals*. 5. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 19, 20.

DAVENPORT, Thomas H.; HARRIS, Jeanne G. *Competing on Analytics: Updated, with a New Introduction: The New Science of Winning*. Boston: Harvard Business Review Press, 2017. Citado 1 vez na página 27.

ECKERSON, Wayne W. *Smart Companies in the 21st Century: The Secrets of Creating Successful Business Intelligence Solutions*. [S.l.], 2003. Citado 3 vezes nas páginas 26, 29, 30.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, Charles; UMANS, Stephen D. *Electric Machinery*. 7. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2013. Citado 5 vezes nas páginas 19–22.

GUEDES, Armando Souza. *Estudo e proposição de técnicas para a avaliação do isolamento em motores de indução trifásicos de baixa e média tensão*. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1843/BUBD-AYTLCJ>. Acesso em: 21 jan. 2026. Citado 1 vez na página 24.

IMHOFF, Claudia; WHITE, Colin. *Self-Service Business Intelligence: Empowering Users to Generate Insights*. Renton, 2011. Citado 1 vez nas páginas 27, 28.

INMON, W. H. *Building the Data Warehouse*. 3. ed. Indianapolis: Wiley Publishing, 2005. ISBN 0764599445. Citado 1 vez na página 27.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. *IEEE Std 43-2013 — IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery*. New York: IEEE, 2013. Publicado em 06 mar. 2014. Disponível em: <https://standards.ieee.org/standard/43-2013.html>. Acesso em: 21 jan. 2026. Citado 6 vezes nas páginas 21–25.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 14224:2016 Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment*. Geneva: ISO, 2016. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/64076.html>. Acesso em: 21 jan. 2026. Citado 1 vez na página 18.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 55000:2014 Asset management — Overview, principles and terminology*. Geneva: ISO, 2014. Disponível em:

<https://www.iso.org/standard/55088.html>. Acesso em: 21 jan. 2026. Citado 2 vezes nas páginas 15, 18.

JARDINE, Andrew K. S.; LIN, Daming; BANJEVIC, Dragan. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, v. 20, n. 7, p. 1483–1510, 2006. DOI: [10.1016/j.ymssp.2005.09.012](https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012). Citado 4 vezes nas páginas 16, 17, 22.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. *Manutenção: Função Estratégica*. Rio de Janeiro: Quality-mark, 2009. Citado 3 vezes nas páginas 14–16.

KIMBALL, Ralph; ROSS, Margy. *The Data Warehouse Toolkit: The Definitive Guide to Dimensional Modeling*. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013. Citado 3 vezes nas páginas 26, 27, 29.

MICROSOFT. *DAX overview*. 2026. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/dax/dax-overview>. Acesso em: 21 jan. 2026. Citado 2 vezes nas páginas 29, 30.

MICROSOFT. *Query folding basics*. 2026. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/power-query/query-folding-basics>. Acesso em: 21 jan. 2026. Citado 1 vez na página 29.

MICROSOFT. *Star schema guidance for Power BI*. 2026. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/power-bi/guidance/star-schema>. Acesso em: 21 jan. 2026. Citado 1 vez na página 29.

MICROSOFT. *What is Power BI?* 2026. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/power-bi/fundamentals/power-bi-overview>. Acesso em: 21 jan. 2026. Citado 2 vezes na página 28.

MICROSOFT. *What is Power Query?* 2026. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/power-query/power-query-what-is-power-query>. Acesso em: 21 jan. 2026. Citado 1 vez na página 29.

MOUBRAY, John. *Reliability-centered Maintenance*. 2. ed. New York: Industrial Press, 1997. Citado 1 vez nas páginas 14, 15.

TURBAN, Efraim *et al.* *Business Intelligence and Analytics: Systems for Decision Support*. 10. ed. Upper Saddle River: Pearson, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 26, 27.

WEG. *Manual of Electric Motors*. WEG. Disponível em: <https://static.weg.net/media/downloadcenter/h0c/hfd/WEG-WM0-iom-installation-operation-and-maintenance-manual-of-electric-motors-50033244-manual-pt-en-es-web.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2026. Citado 1 vez na página 25.