



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**LUÍS FELIPE DOS SANTOS SOUZA**

**PROGRAMA ANUAL DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA, APLICANDO**  
***BUSINESS INTELLIGENCE* NA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE**  
**GESTÃO: ESTUDO DE CASO DE UMA SUBESTAÇÃO DE 69 KV**

**FORTALEZA**

**2023**

LUÍS FELIPE DOS SANTOS SOUZA

PROGRAMA ANUAL DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA, APLICANDO *BUSINESS INTELLIGENCE* NA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE GESTÃO: ESTUDO DE CASO DE UMA SUBESTAÇÃO DE 69 KV

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Msc. Carlos Gustavo Castelo Branco.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- S239p Souza, Luís Felipe dos Santos.  
Programa anual de manutenção preventiva, aplicando business intelligence na otimização do processo de gestão: estudo de caso de uma subestação de 69 kV / Luís Felipe dos Santos Souza. – 2023.  
58 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2023.  
Orientação: Prof. Me. Carlos Gustavo Castelo Branco.
1. Power BI. 2. Business intelligence. 3. Manutenção preventiva. 4. Subestação. I. Título.  
CDD 621.3
-

LUÍS FELIPE DOS SANTOS SOUZA

PROGRAMA ANUAL DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA, APLICANDO *BUSINESS INTELLIGENCE* NA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE GESTÃO: ESTUDO DE CASO DE UMA SUBESTAÇÃO DE 69 KV

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia Elétrica.

Aprovada em: Dezembro de 2023

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Msc. Carlos Gustavo Castelo Branco (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dra. Raquel Cristina Filiagi Gregory  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. Msc. Dante Victor Shimoda Pereira

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela minha vida.

Aos meus pais, por garantirem que eu tivesse a melhor educação possível.

À minha namorada, por me apoiar e ajudar sempre que possível.

Aos meus queridos colegas, que me ajudaram nos momentos mais difíceis da graduação.

Ao meu orientador, Prof. Msc. Carlos Gustavo Castelo Branco, pelo voto de confiança e pela paciência.

À Prof. Dra. Raquel Cristina Filiagi Gregory, por aceitar o convite para participar da banca.

A todos da BravuS – Soluções em Energia, pela contribuição para minha formação profissional e, de modo especial, ao Eng. Msc. Dante Victor Shimoda Pereira, por dispor tanto do seu tempo para me ajudar a realizar esse TCC.

“É justo que muito custe o que muito vale.”

(Santa Teresa D'Ávila)

## RESUMO

Para o bom funcionamento de uma subestação, faz-se necessário a realização adequada dos procedimentos de manutenção preventiva, bem como o gerenciamento eficiente dos dados obtidos, favorecendo o processo de tomada de decisão. Nesse sentido, mostrou-se relevante estudar a aplicação de uma ferramenta de *business intelligence* para otimizar o processo de gestão das informações adquiridas a partir de um programa de manutenção preventiva realizado em uma subestação de 69 kV. Este trabalho tem como objetivos comparar as ferramentas de *business intelligence* mais relevantes no mercado, a fim de definir qual será utilizada no estudo, estudar os processos de manutenção preventiva, objetivando compreender quais informações são relevantes para a elaboração dos *dashboards* e desenvolver uma plataforma com base em *business intelligence* para apresentar as informações de forma clara e precisa. A metodologia de pesquisa utilizada para a elaboração do trabalho foi o estudo de caso da utilização da ferramenta Power BI para gerir os dados obtidos a partir do plano anual de manutenção preventiva. É descrito todo o processo de produção das interfaces, apontando os pontos mais relevantes. A plataforma desenvolvida é comparada com a solução utilizada atualmente, a fim de avaliar os benefícios gerados pela implementação da nova solução. Os resultados indicam que a natureza mais visual do Power BI favorece a interpretação dos dados, facilitando os processos de diagnóstico e tomada de decisão.

**Palavras-chave:** Power BI; *business intelligence*; subestação; manutenção preventiva.

## ABSTRACT

For the proper functioning of a substation, it is necessary to properly carry out preventive maintenance procedures, as well as the efficient management of the data obtained, favoring the decision-making process. In this sense, it was relevant to study the application of a business intelligence tool to optimize the process of managing information acquired from a preventive maintenance program carried out in a 69 kV substation. This work aims to compare the most relevant business intelligence tools on the market, in order to define which one will be used in the study, study preventive maintenance processes, aiming to understand which information is relevant for the preparation of dashboards and develop a platform based on in business intelligence to present information clearly and accurately. The research methodology used to prepare the work was the case study of using the Power BI tool to manage the data obtained from the annual preventive maintenance plan. The entire interface production process is described, pointing out the most relevant points. The developed platform is compared with the solution currently used, in order to evaluate the benefits generated by implementing the new solution. The results indicate that the more visual nature of Power BI favors the interpretation of data, facilitating the diagnosis and decision-making processes.

**Keywords:** Power BI; business intelligence; substation; preventive maintenance.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dashboard gerado pelo Looker Studio.....	20
Figura 2 – Interface Qlik .....	20
Figura 3 – Interface Tableau Viewer.....	21
Figura 4 – Quadrante Mágico de Gartner 2023.....	22
Figura 5 – Interface do Power BI .....	23
Figura 6 – Pesquisas pelas ferramentas de BI no Brasil nos últimos 5 anos.....	24
Figura 7 – Subestação Independência, em Aparecida de Goiânia, GO.....	25
Figura 8 – Subestação de 69 kV abrigada .....	26
Figura 9 – Exemplo de subestação GIS.....	27
Figura 10 – SE Francisco Sá 3 .....	28
Figura 11 – Diagrama unifilar simplificado da subestação estudada.....	31
Figura 12 – Conjunto de medição da Enel e para-raios instalados na SE estudada .....	32
Figura 13 – Chave seccionadora tripolar instalada na SE estudada .....	33
Figura 14 – Chave seccionadora do barramento de transição instalada na SE estudada.....	33
Figura 15 – Transformador 69/13,8 kV de 20 MVA instalado na SE estudada.....	34
Figura 16 – Terceiro bay da SE estudada .....	34
Figura 17 – TSA da SE estudada.....	35
Figura 18 – Indicador do nível de óleo do transformador da SE estudada.....	36
Figura 19 – Indicador do nível de gás do disjuntor da SE estudada.....	37
Figura 20 – Medição do nível de ruído próximo ao transformador .....	37
Figura 21 – Câmera termográfica FLIR E4.....	40
Figura 22 – Interface do software FLIR Tools .....	41
Figura 23 – Relatório gerado no FLIR Tools .....	41
Figura 24 – Como transformar imagem em botão de navegação .....	43
Figura 25 – Informações necessárias para construir a tela de inspeção visual.....	44
Figura 26 – Como ajustar o ordenamento dos nomes dos meses .....	44
Figura 27 – segmentação de dados .....	45
Figura 28 – Associação de indicadores ao diagrama unifilar simplificado.....	46
Figura 29 – Como habilitar as Dicas de ferramentas.....	46
Figura 30 – Utilização das dicas de ferramentas .....	47
Figura 31 – Como alterar o modo de exibição do valor .....	47

Figura 32 – Informações necessárias para construir a tela de dados quantitativos mensais ....	48
Figura 33 – Tensões trifásicas para cada transformador .....	49
Figura 34 – Correntes trifásicas para cada transformador .....	49
Figura 35 – Carregamento dos transformadores e da subestação.....	50
Figura 36 – Nível de ruído para cada transformador.....	51
Figura 37 – Segmentação de dados utilizando o parâmetro do transformador .....	51
Figura 38 – Tela inicial.....	52
Figura 39 – Resultados da inspeção visual.....	53
Figura 40 – Medições mensais .....	53
Figura 41 – Medições ao longo do ano.....	54
Figura 42 – Exemplo de fórmula no Word.....	55

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Plano de manutenção para subestação GIS .....	27
Quadro 2 – Temperatura para conexões e emendas .....	39
Quadro 3 – Temperatura para conexões e emendas .....	39
Quadro 4 – Quadro resumo adaptado .....	54

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Número de operações do disjuntor e correntes de curto-circuito correspondentes .	29
Tabela 2 - Custos totais para a implantação das subestações .....	30
Tabela 3 - Comparativo de custos de implementação com vida útil no ano 30 e no ano 50....	30

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIS	<i>Air Insulated Substation</i>
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BI	<i>Business Intelligence</i>
GIS	<i>Gas-Insulated Swtichgear</i>
IA	Inteligência Artificial
IHM	Interface Humano-Máquina
IP	<i>International Protection</i>
NBR	Norma Brasileira
PMT	Painel de Média Tensão
SE	Subestação
SF <sub>6</sub>	Hexafluoreto de Enxofre
TC	Transformador de Corrente
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TP	Transformador de Potencial
TSA	Transformador de Serviços Auxiliares

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>1.1</b>	<b>Contextualização</b> .....	15
<b>1.2</b>	<b>Motivação</b> .....	16
<b>1.3</b>	<b>Objetivos do Trabalho</b> .....	17
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	17
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	17
<b>1.4</b>	<b>Estrutura do trabalho</b> .....	17
<b>2</b>	<b>PRINCIPAIS FERRAMENTAS DE <i>BUSINESS INTELLIGENCE</i></b> .....	19
<b>2.1</b>	<b>Comparativo das ferramentas de BI</b> .....	19
<b>2.1.1</b>	<b>Google Looker Studio</b> .....	19
<b>2.1.2</b>	<b>Qlik</b> .....	20
<b>2.1.3</b>	<b>Tableau</b> .....	21
<b>2.1.4</b>	<b>Power BI</b> .....	21
<b>2.2</b>	<b>Escolha da ferramenta</b> .....	23
<b>3</b>	<b>PRINCIPAIS TECNOLOGIAS EMPREGADAS EM SUBESTAÇÕES DE ALTA TENSÃO</b> .....	25
<b>3.1</b>	<b>Subestações isoladas a ar</b> .....	25
<b>3.2</b>	<b>Subestações isoladas a gás</b> .....	26
<b>3.3</b>	<b>Subestações híbridas</b> .....	28
<b>3.4</b>	<b>Comparativo das tecnologias construtivas</b> .....	29
<b>3.5</b>	<b>Atividades de manutenção preventiva aplicadas à tecnologia construtiva escolhida</b> .....	30
<b>3.5.1</b>	<b>Apresentação da planta</b> .....	31
<b>3.5.2</b>	<b>Escopo da atividade de manutenção preventiva mensal</b> .....	35
<b>3.5.2.1</b>	<b>Inspeção visual</b> .....	35
<b>3.5.2.1.1</b>	<b>Transformadores</b> .....	36
<b>3.5.2.1.2</b>	<b>Disjuntores</b> .....	36
<b>3.5.2.2</b>	<b>Nível de ruído</b> .....	37
<b>3.5.2.3</b>	<b>Monitoramento de grandezas elétricas</b> .....	38
<b>3.5.2.3.1</b>	<b>Nível de tensão</b> .....	38
<b>3.5.2.3.2</b>	<b>Nível de corrente</b> .....	38
<b>3.5.2.3.3</b>	<b>Nível de carregamento dos transformadores</b> .....	38

3.5.2.4	Termografia.....	39
3.5.2.4.1	Equipamento utilizado .....	40
3.5.2.4.2	Relatório termográfico .....	40
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>42</b>
<b>4.1</b>	<b>Estruturação do <i>dashboard</i> .....</b>	<b>42</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Tela inicial.....</b>	<b>43</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Resultados da inspeção visual .....</b>	<b>43</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Dados quantitativos mês a mês .....</b>	<b>48</b>
4.1.3.1	Leituras de tensão .....	48
4.1.3.2	Leituras de corrente.....	49
4.1.3.3	Nível de carregamento .....	50
4.1.3.4	Nível de ruído .....	50
<b>4.1.4</b>	<b>Dados quantitativos ao longo do ano.....</b>	<b>51</b>
<b>4.2</b>	<b>Resultado final.....</b>	<b>52</b>
<b>4.3</b>	<b>Publicação online .....</b>	<b>55</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>56</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>58</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

Segundo a NBR 5462 (1994), que define os conceitos de confiabilidade e manutenibilidade, pode-se definir manutenção como a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”.

Neste trabalho, será estudado o programa de manutenção anual de uma subestação de alta tensão, que representa um elemento essencial no sistema elétrico e serve como ponto de conexão crucial entre a rede de distribuição de eletricidade e as necessidades específicas de uma unidade consumidora, desempenhando um papel fundamental na transformação, controle e distribuição eficiente da tensão.

Mesmo para os melhores e mais tecnológicos equipamentos, a operação e manutenção são elementos fundamentais para garantir a segurança e confiabilidade de um sistema elétrico de potência. A otimização desses dois fatores pode, muitas vezes, ser considerada a alternativa de maior custo-benefício para melhorar a performance do sistema elétrico. Além disso, todo sistema elétrico de potência, independentemente do tamanho e complexidade, necessita de gerenciamento adequado para operar com segurança e confiabilidade (IEEE Std. 902, 1998).

Dessa forma, fica clara a importância do estudo dos procedimentos de manutenção preventiva necessários para o bom funcionamento dos equipamentos elétricos e das estratégias de gerenciamento de dados, que permitem o melhor entendimento das informações obtidas, a fim de influenciar positivamente na tomada de decisões assertivas e eficientes.

Atualmente, para armazenamento e apresentação das informações obtidas após as atividades de manutenção preventiva, realizadas mensalmente, é emitido um relatório técnico utilizando o Microsoft Word. Nesse relatório são descritos todos os pontos analisados durante a inspeção visual, destacados os que apresentam inconformidades e são anexados registros fotográficos que evidenciam as atividades realizadas. Os resultados da inspeção são exibidos em uma tabela resumo, com o nome de cada equipamento e indicação do *status* do mesmo. Além disso, são apresentados por meio de tabelas os resultados da medição de emissão sonora dos transformadores e os níveis de tensão e corrente registrados no momento da inspeção.

Todas essas informações são apresentadas atualmente de maneira clara e objetiva, mas, por característica do modelo de relatório adotado, estão distribuídas ao longo de várias páginas,



o que dificulta a realização de uma análise global da planta. Ademais, para realizar um comparativo mês a mês é necessário analisar vários arquivos separadamente, alternando entre cada um. Dessa forma, surgiu o interesse em estudar uma alternativa para gerenciar esses dados de forma mais prática e visual, a fim de facilitar a análise dos dados obtidos durante as manutenções preventivas, seguindo as premissas da indústria 4.0.

No contexto da 4ª revolução industrial, a *big data* e análise de dados é o primeiro dos nove pilares da indústria 4.0 (Pereira, 2018). Esse conceito consiste na obtenção e armazenamento de uma grande quantidade de informações que servirão como fonte de dados para a utilização de mecanismos de análise, como *business intelligence*, a fim de otimizar a tomada de decisões que contribuam para aumentar a eficiência e produtividade do sistema.

Nesse sentido, Yu, Asif Ikbal e Rahman (2021) estudaram a aplicação de *big data* para melhorar a eficiência do monitoramento de uma subestação. O resultado foi uma redução de 40% a 49% no tempo necessário para a realização das operações analíticas, além de 34% a 40% de sobrecarga no armazenamento.

No cenário do gerenciamento de processos industriais, Carvalho (2022) estudou em sua monografia a utilização da ferramenta Power BI no gerenciamento de dados obtidos a partir da manutenção em subestações de alta tensão e sugeriu que trabalhos futuros aplicassem e validassem essa estratégia em uma planta real, além da utilização de *dashboards online*.

Diante disso, identificou-se a oportunidade de estudar a implementação dessa ferramenta em um contexto real de manutenção preventiva de uma subestação de alta tensão, a fim de analisar a sua aplicabilidade e impactos positivos na otimização do processo de gerenciamento quando comparado a alternativas convencionais.

## **1.2 Motivação**

Mostrou-se interessante para o enriquecimento do serviço de manutenção preventiva prestado à subestação estudada a implementação de uma abordagem de gestão de informações que permitisse uma visualização mais fácil e resumida, de forma que o cliente tenha uma melhor compreensão do laudo técnico.

Este trabalho é relevante no sentido da sua contribuição para o meio profissional, apresentando uma alternativa para a representação de informações técnicas que seja mais moderna, tecnológica e alinhada às diretrizes da 4ª revolução industrial quando comparado aos relatórios convencionais. O acesso aos dados de forma prática e de fácil compreensão pode

contribuir tanto para análises internas quanto para a comunicação com o cliente, seja ele leigo ou não.

### **1.3 Objetivos do Trabalho**

#### **1.3.1 Objetivo geral**

Estudar a aplicação da ferramenta de *business intelligence* para a apresentação de dados obtidos durante atividade de manutenção preventiva de uma subestação real de 69 kV, analisando as suas funcionalidades, seus benefícios e comparando-a com a ferramenta utilizada atualmente.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Comparar as principais ferramentas de BI disponíveis no mercado.
2. Estudar os processos de manutenção preventiva aplicados a uma subestação abrigada de alta tensão e outras tecnologias empregadas.
3. Desenvolver uma plataforma baseada em *business intelligence* por meio da ferramenta Power BI para disponibilização dos dados obtidos durante as inspeções mensais, seguindo a filosofia da Indústria 4.0.

### **1.4 Estrutura do trabalho**

Inicialmente, no Capítulo 1 será feita uma breve introdução sobre o tema do trabalho e apresentação da motivação geral, objetivos e estrutura do trabalho.

No Capítulo 2, será feito um comparativo entre as principais ferramentas de BI disponíveis no mercado.

No Capítulo 3, serão apresentadas as principais tecnologias empregadas na concepção de uma subestação de alta tensão, como a utilização de isolamento à gás para aumentar o aproveitamento do espaço físico.

No Capítulo 4, será desenvolvida a metodologia do trabalho e apresentado o estudo de caso da aplicação de *business intelligence* para gerir as informações obtidas durante o programa anual de manutenção preventiva de uma subestação de 69 kV.

Por fim, o Capítulo 5 será a conclusão do trabalho, discorrendo sobre os resultados obtidos e proposições de trabalhos futuros.

## 2 PRINCIPAIS FERRAMENTAS DE *BUSINESS INTELLIGENCE*

Segundo Turban et al., não é possível definir com precisão o que significa *Business Intelligence* (BI), uma vez que esse termo inclui vários elementos, como ferramentas, bancos de dados e estratégias. Dessa forma, o significado de BI pode mudar de acordo com o contexto no qual está inserido. Entretanto, o direcionamento da filosofia de BI é preciso: aprimorar a captação, compreensão e exploração dos dados para favorecer a tomada de decisões (Turban et al, 2009).

Neste capítulo serão apresentadas as principais ferramentas de BI disponíveis no mercado atualmente, descrevendo suas vantagens e limitações. Ao final do capítulo será apresentada a ferramenta escolhida, justificando o motivo da escolha.

### 2.1 Comparativo das ferramentas de BI

Atualmente existem várias ferramentas relevantes de BI, gratuitas ou não, cada uma com seus pontos positivos e negativos. Aqui serão analisadas as seguintes alternativas: Google Looker Studio, Qlik, Tableau e Power BI.

#### 2.1.1 *Google Looker Studio*

O Google Looker Studio, anteriormente chamado de Google Data Studio, é uma ferramenta de BI 100% *online*, que é utilizada diretamente pelo navegador. Produzido pela própria Google em 2016, o Looker Studio possui conexão com outros recursos da empresa, como o Google Analytics, o Google Ads e o Google Planilhas, além de permitir o compartilhamento de *dashboards* e relatórios com pessoas de dentro e fora da organização (Moraes, 2023).

Ele também conta com uma versão paga, o Looker Studio Pro, que é mais voltado para o ambiente de empresas, de forma que os relatórios e fontes de dados passam a ser propriedade da organização, e não de usuários individuais. Essa versão precisa estar vinculada a um projeto do Google Cloud e seu custo mensal é de US\$ 9,00 por usuário, por projeto (Google Cloud, 2023).

A Figura 1 exemplifica um *dashboard* produzido no Looker Studio.

Figura 1 – *Dashboard* gerado pelo Looker Studio



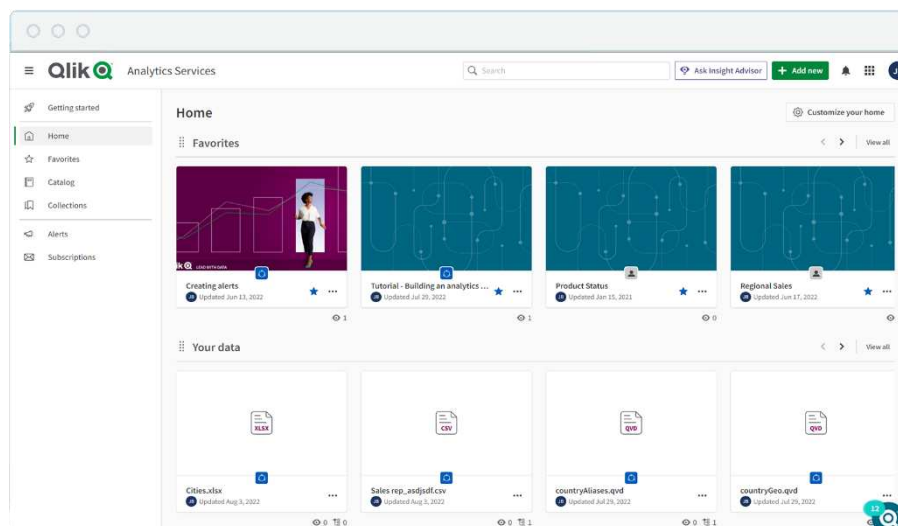
Fonte: Medium (2022)

### 2.1.2 Qlik

A Qlik é uma empresa sueca, fundada em 1993, cuja principal atuação é na área de BI. Após 3 anos da fundação, a empresa lançou o QlikView, que é utilizado até hoje, mas sua interface não é tão fácil de utilizar quanto a do seu sucessor, o Qlik Sense. Ele é capaz de conectar-se com diversas fontes de dados, mas suas ferramentas não são tão fáceis de utilizar quanto as de outros programas, como o Tableau e o Power BI (Costa; Pinto, 2020).

O custo mensal do Qlik Sense é de US\$ 30,00 por usuário e sua interface é ilustrada na Figura 2.

Figura 2 – Interface Qlik



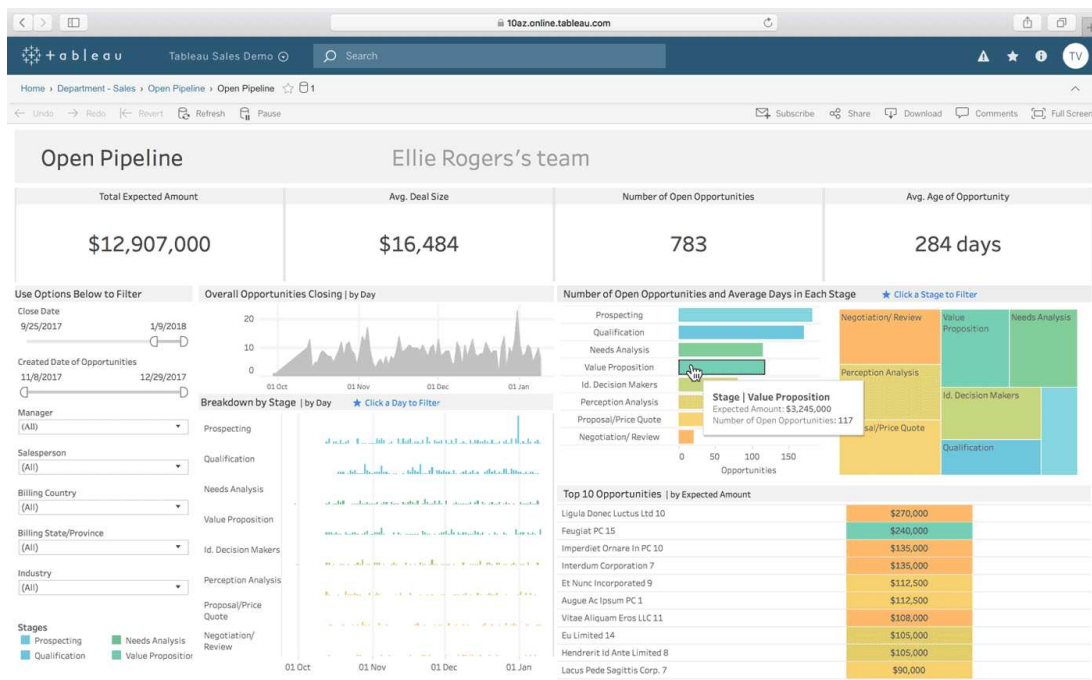
Fonte: Qlik (2023)

### 2.1.3 Tableau

O Tableau é uma ferramenta de BI fundada nos EUA, em 2003, que se destaca na manipulação de grandes bases de dados, apresentando fácil integração e facilidade para trabalhar com inúmeras plataformas. Entretanto, esse é um *software* mais voltado para analistas, dificultando a sua utilização para usuários inexperientes, além de apresentar um alto custo (Ferreira, 2020).

O Tableau conta com três versões diferentes, o Creator, Explorer e Viewer, cada um custando por mês US\$ 75,00, US\$ 42,00 e US\$ 15,00, respectivamente, e sendo necessário pelo menos um Tableau Creator por implantação (Tableau, 2023). A Figura 3 apresenta um exemplo de sua interface.

Figura 3 – Interface Tableau Viewer



Fonte: Tableau (2023)

### 2.1.4 Power BI

O Power BI é a ferramenta de BI da Microsoft, cujo uma das principais vantagens é a sua fácil interação com outras ferramentas da Microsoft, como o Excel e SQL Server, além de inúmeras outras fontes, como arquivos PDF, XML, Json e CSV. Além disso, ele possui integração com bancos de dados MySQL e Python (Ferreira, 2020).

Nesse sentido, de acordo com a Figura 4, a Microsoft, foi posicionada pelo 16º ano seguido como uma das empresas líderes no quadrante mágico de Gartner para plataformas de *analytics* e BI (Microsoft, 2023). Esse indicador é o principal produto do Gartner Group, uma organização renomada de consultoria para executivos do setor de tecnologia, criada em 1979.

Figura 4 – Quadrante Mágico de Gartner 2023

Figure 1: Magic Quadrant for Analytics and Business Intelligence Platforms

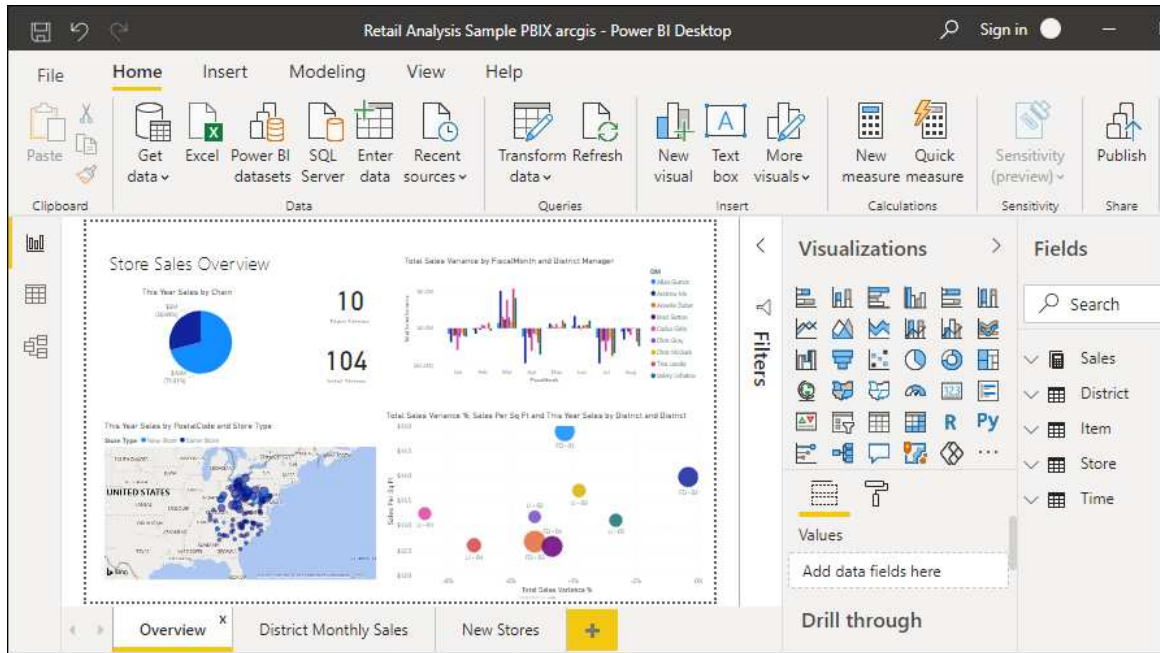


Source: Gartner

Fonte: Gartner (2023)

O Power BI para *desktop* é uma ferramenta gratuita, mas alguns recursos, como o compartilhamento de *dashboards* apenas para pessoas selecionadas, estão disponíveis apenas a partir da assinatura do Power BI Pro, que custa R\$ 64,00 (cerca de US\$ 13,00 na cotação atual) por mês, por usuário (Microsoft, 2023). A publicação de um *dashboard* na versão gratuita é possível apenas utilizando *links* públicos, de forma que qualquer pessoa de posse do *link* poderá acessá-lo. A interface do Power BI é ilustrada na Figura 5.

Figura 5 – Interface do Power BI



Fonte: Microsoft (2023)

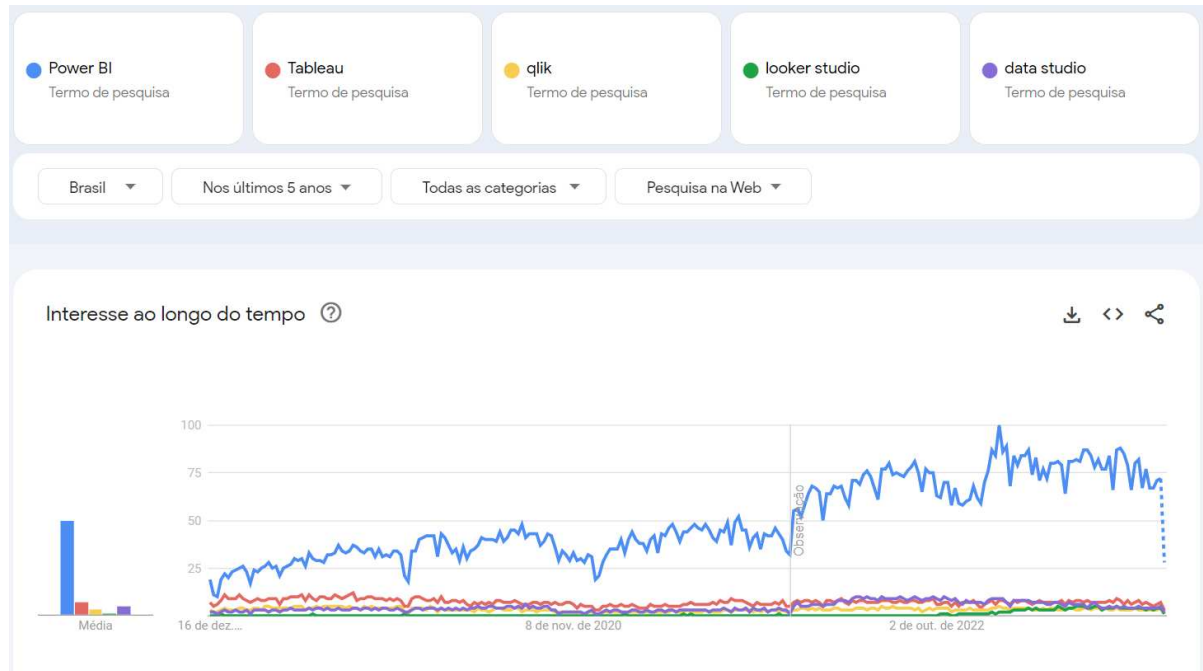
## 2.2 Escolha da ferramenta

Para escolher a ferramenta que será utilizada nesse estudo de caso deve-se analisar fatores como custo, relevância, curva de aprendizado, interatividade com outras plataformas ou usuários e popularidade. Como primeiro passo, pode-se investigar a popularidade dessas ferramentas no mercado.

Foi analisado a quantidade de busca por essas ferramentas nos últimos 5 anos no Brasil utilizando Google Trends e o resultado é mostrado na Figura 6. Considerando que o Looker Studio foi renomeado recentemente, optou-se por adicionar à pesquisa o seu nome anterior, Data Studio. O resultado da pesquisa indica que, no Brasil, o Power BI é bem mais popular que seus concorrentes, seguido pelo Tableau, depois o Looker Studio (Data Studio) e por último o Qlik. É importante destacar que esses dados são apenas uma referência para estimar a relevância de cada um desses *softwares* no mercado de BI no Brasil e podem não ser uma representação fiel da preferência dos usuários.



Figura 6 – Pesquisas pelas ferramentas de BI no Brasil nos últimos 5 anos



Fonte: Google Trends (2023)

Para o objetivo deste trabalho, o custo torna-se um dos fatores mais relevantes, visto que os recursos mais avançados, utilizados em grandes empresas, não são imprescindíveis. Nesse sentido, os candidatos mais promissores tornam-se as duas opções de *softwares* gratuitos: o Looker Studio e o Power BI.

Considerando a sua popularidade e o seu posicionamento de destaque em um dos mais conceituados indicadores do setor de BI, a ferramenta escolhida para a realização desse estudo de caso foi o Power BI.

### 3 PRINCIPAIS TECNOLOGIAS EMPREGADAS EM SUBESTAÇÕES DE ALTA TENSÃO

Neste capítulo serão apresentadas as principais tecnologias construtivas empregadas em subestações de alta tensão, bem como os procedimentos de manutenção aplicados a cada uma. Além disso, será feita uma comparação entre as alternativas descritas, sob o ponto de vista econômico e ao final do capítulo serão detalhados os processos de manutenção aplicados à tecnologia construtiva escolhida para o estudo de caso.

#### 3.1 Subestações isoladas a ar

Subestações isoladas a ar, também conhecidas como AIS (*Air Insulated Substation*), são consideradas o modelo convencional de subestações. Para evitar a ocorrência de curto-circuitos, os equipamentos elétricos da subestação devem ser separados por uma distância mínima, que aumenta de acordo com a classe de tensão, fazendo com que sejam necessárias grandes áreas para a implementação desse tipo de subestação (Tomazi, 2021).

Além disso, esse tipo de subestação pode ser ao tempo (Figura 7), exposta a Sol e chuva, ou abrigada em estrutura de alvenaria (Figura 8), como é o caso da planta estudada. O custo de implementação da solução abrigada é maior, por conta do aumento de mão de obra e materiais para construir a infraestrutura, mas os gastos com manutenção são reduzidos, já que a subestação está protegida contra chuvas e a incidência direta de raios solares.

Figura 7 – Subestação Independência, em Aparecida de Goiânia, GO



Fonte: TS Infraestrutura (2021)

Figura 8 – Subestação de 69 kV abrigada



Fonte: Fotografado pelo autor (2022)

Segundo Pereira (2020), os principais procedimentos de manutenção preventiva aplicados a subestações convencionais são:

1. Testes dos mecanismos de abertura e fechamento do disjuntor;
2. Verificação da existência de poeira, rachaduras ou danos às partes isolantes do disjuntor;
3. Ensaios elétricos do disjuntor: medição da resistência de isolamento e resistência de contato;
4. Limpeza e reaperto das conexões das chaves seccionadoras;
5. Limpeza e reaperto das conexões dos TC's;

### 3.2 Subestações isoladas a gás

A tecnologia GIS (*gas-insulated switchgear*) consiste na utilização de gás hexafluoreto de enxofre SF<sub>6</sub> como isolante elétrico para permitir que os componentes da subestação sejam agrupados e encapsulados em invólucros metálicos, reduzindo assim o espaço necessário para a implementação da subestação. Além do benefício da economia de espaço, há a redução da necessidade de manutenção, uma vez que os equipamentos elétricos da subestação GIS não estão expostos a intempéries, como chuvas e maresia (Pereira, 2020).

Figura 9 – Exemplo de subestação GIS



Fonte: TS Infraestrutura (2021)

O Quadro 1 apresenta o plano de manutenção para uma subestação com tecnologia GIS, descrevendo as condições para realização das mesmas e em quanto tempo elas acontecerão após implementação do sistema. Pode-se notar que os tempos são elevados, devido aos equipamentos estarem protegidos contra agentes externos (Tomazi, 2021).

Quadro 1 – Plano de manutenção para subestação GIS

<b>Atividade</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tempo (ano)</b>
Inspeção visual	Supervisão do gás SF <sub>6</sub>	5
Inspeção menor	Chave a prova de fogo pós-lubrificação da engrenagem sem-fim e 1.000 ciclos de operação.	10
Inspeção maior	Após 2.000 ciclos de operação dos disjuntores. Após 2.000 ciclos de comutação mecânica (interruptor e chave seccionadora). Chave a prova de fogo após 2.000 ciclos de operação.	25
Manutenção	Disjuntor após 10.000 ciclos de operação e após atingir a corrente de curto-circuito acumulada. Após 10.000 ciclos de comutação mecânica (interruptor e chave seccionadora) ou após atingir a corrente de comutação de curto-circuito acumulada. Chave a prova de fogo após 2.000 ciclos de operação ou após fechar uma corrente de curto-circuito ou após a conclusão de 100 ciclos de fechamento/ abertura por corrente induzida através de linhas paralelas.	<25

Fonte: Adaptado de Tomazi (2021)

### 3.3 Subestações híbridas

A subestação híbrida é um meio termo entre as subestações convencionais e a subestação GIS, na qual apenas alguns equipamentos são encapsulados, como o disjuntor, chave seccionadora, TC e TP (caso haja). Essa alternativa gera uma economia de espaço de cerca de 20% quando comparada à subestação convencional, proporcionando os benefícios da utilização do gás SF<sub>6</sub> como isolante elétrico, a um custo reduzido quando comparado à tecnologia GIS (Pereira, 2020). A Figura 10 exemplifica um módulo híbrido.

Figura 10 – SE Francisco Sá 3



Fonte: Cemig / Divulgação (2023)

A respeito das atividades de manutenção aplicadas a essa característica construtiva, recomenda-se a realização de ou duas inspeções visuais funcionais por ano, sem a necessidade de abrir os compartimentos que contém gás ou desligar a máquina. Nesse serviço devem ser observados os seguintes pontos:

1. Estado de conservação das buchas;
2. Densidade do SF<sub>6</sub>;
3. Registro da quantidade de interrupções;
4. Condição das juntas da porta da caixa de comando;
5. Indicadores de posição, conectores, cabos e circuito de aterramento.

A manutenção preventiva com desligamento do equipamento é recomendada pelos fabricantes após três ou cinco mil operações mecânicas, após quinze ou vinte anos de operação ou quando o número de operações por curtos-circuitos se aproxima dos valores ilustrados na Tabela 1 (Pereira, 2020). Essas consistem em:

1. Verificação de alarmes, *trips* e bloqueios relacionados à pressão do gás;
2. Aferição da umidade do gás nos encapsulamentos, utilizando higrômetro;
3. Inspeção da lubrificação dos mecanismos dos seccionadores e condições das conexões e demais componentes;
4. Inspeção visual e ensaio de resistência de contato do disjuntor;
5. Testes de abertura e fechamento do disjuntor e dos seccionadores;
6. Reaperto de parafusos e conexões.

Tabela 1 - Número de operações do disjuntor e correntes de curto-circuito correspondentes

Número de operações	3000	1200	160	40	20	10	8	5
Corrente (kA)	1,25	2	5	10	15	20	25	31,5

Fonte: Pereira, 2020

### 3.4 Comparativo das tecnologias construtivas

Em seu TCC, Tomazi (2021) realiza um estudo comparando as três tecnologias construtivas analisadas, considerando as vantagens e desvantagens de cada alternativa nas perspectivas de impactos socioambientais, necessidade de manutenção e custos de implementação. Sob o ponto de vista socioambiental, é evidente a vantagem da tecnologia GIS, uma vez que ocupa um espaço menor. Analisando o aspecto das manutenções a subestação GIS também é superior, pois a natureza dos equipamentos encapsulados proporciona maior durabilidade, pois não estão expostos à ação de agentes internos. Dessa forma, é importante compará-los sob o aspecto econômico, de modo a concluir sobre a viabilidade técnica dessas aplicações.

Para tal comparação, Tomazi (2021) considerou uma subestação de 15 MVA e 138,13,8 kV, com duas entradas de energia, a ser construída em espaço urbano, com uma área total de 2.256,70 m<sup>2</sup>. Foi considerado que a vida útil de uma AIS é de 30 anos, enquanto para GIS seria 50 anos e para a híbrida de 30 a 40 anos. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Custos totais para a implantação das subestações

<b>CUSTOS</b>	<b>AIS</b>	<b>HÍBRIDA</b>	<b>GIS</b>
Equipamentos	R\$ 8.000.000,00	R\$ 11.600.000,00	R\$ 24.700.000,00
Materiais elétricos	R\$ 2.400.000,00	R\$ 2.400.000,00	R\$ 3.800.000,00
Civil e montagem	R\$ 3.840.000,00	R\$ 4.600.000,00	R\$ 7.600.000,00
Gerenciamento e imprevistos	R\$ 1.760.000,00	R\$ 1.400.000,00	R\$ 1.900.000,00
<b>Custo da SE</b>	<b>R\$ 16.000.000,00</b>	<b>R\$ 20.000.000,00</b>	<b>R\$ 38.000.000,00</b>
Manutenção	R\$ 2.047.633,00	R\$ 1.269.532,00	R\$ 1.335.413,00
Área	R\$ 18.053.602,00	R\$ 11.247.250,00	R\$ 6.208.917,00
<b>Custo total</b>	<b>R\$ 36.101.235,00</b>	<b>R\$ 32.516.782,00</b>	<b>R\$ 45.544.330,00</b>

Fonte: Tomazi, 2021

Apesar dos claros benefícios da utilização da tecnologia GIS, o estudo sugere que o custo total de implantação dessa alternativa, considerando equipamentos, materiais, mão de obra, custos de manutenção e preço do metro quadrado, em um horizonte de 30 anos, é cerca de 26% maior que o de uma subestação convencional. Sob a mesma análise, a subestação híbrida mostra-se como a alternativa mais interessante do ponto de vista financeiro quando considerado um período de 30 anos. Entretanto, de acordo com a Tabela 3, quando considerado um horizonte de 50 anos (tabela), a subestação GIS, graças a seu custo de manutenção reduzido e maior vida útil, torna-se mais interessante também sob o aspecto econômico (Tomazi, 2021).

Tabela 3 - Comparativo de custos de implementação com vida útil no ano 30 e no ano 50

	<b>AIS</b>	<b>HÍBRIDA</b>	<b>GIS</b>
<b>Custo total no ano 30</b>	R\$ 36.101.235,00	<b>R\$ 32.516.782,00</b>	R\$ 45.544.330,00
<b>Custo total no ano 50</b>	R\$ 96.068.717,00	R\$ 133.542.529,00	<b>R\$ 50.809.411,00</b>

Fonte: Tomazi, 2021

Mesmo diante das desvantagens apresentadas, para a realização do estudo de caso foi escolhida uma subestação convencional abrigada pelo critério da acessibilidade, visto que essa é a alternativa mais comum no estado do Ceará.

### 3.5 Atividades de manutenção preventiva aplicadas à tecnologia construtiva escolhida

A planta escolhida para esse estudo de caso foi uma subestação de alta tensão, do tipo abrigada, com isolamento a ar, que possuiu duas entradas de linha, garantindo maior confiabilidade ao sistema, e potência de transformação nominal de 40 MVA, sendo dois transformadores de

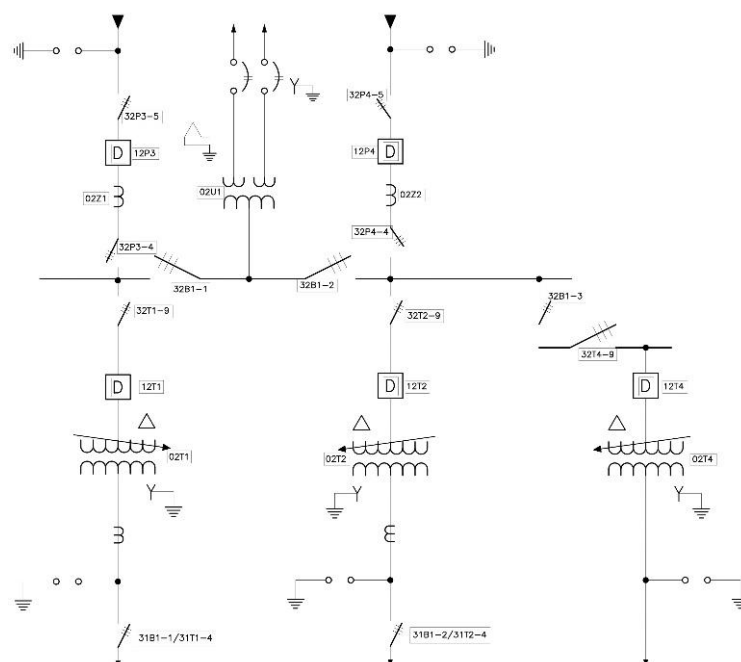
10 MVA e um de 20 MVA. Serão descritos os aspectos construtivos da subestação, com ênfase nas principais características e nos equipamentos elétricos que são supervisionados durante a atividade de manutenção preventiva mensal dessa subestação.

Ademais, será apresentado o escopo do serviço de manutenção preventiva, detalhando quais são as atividades realizadas e os aspectos importantes a serem observados para a aquisição de informações relevantes que possibilitem a especificação das condições dos equipamentos e das instalações no geral, de modo a permitir a elaboração de um relatório técnico assertivo, descrevendo as conclusões obtidas.

### 3.5.1 Apresentação da planta

A subestação abrigada de 69 kV, com isolamento a ar, conta com três transformadores de 69/13,8 kV, sendo um transformador de 10 MVA, localizado no primeiro bay, um transformador de 20 MVA, localizado no segundo bay e um terceiro transformador, de 10 MVA, que foi instalado no primeiro semestre de 2023 e fica localizado em um terceiro bay. Esse último bay possui espaço reservado para a instalação de um quarto transformador e é alimentado por um barramento conectado às duas entradas de linha da subestação. A Figura 11 ilustra o diagrama unifilar simplificado da subestação.

Figura 11 – Diagrama unifilar simplificado da subestação estudada



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)



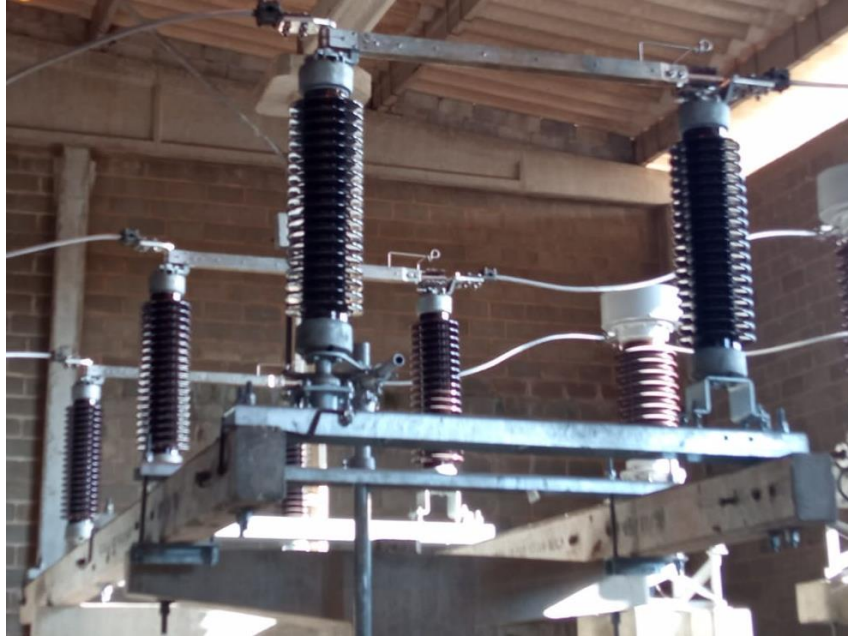
Em cada *bay* de entrada de linha estão instalados, na seguinte ordem, um conjunto de 3 para-raios de classe 72,5 kV, um conjunto de medição da Enel, conforme Figura 12, com TC's e TP's, uma chave seccionadora tripolar, de acordo com a Figura 13, um disjuntor tripolar de classe 72,5 kV isolado a gás SF<sub>6</sub> e outra chave seccionadora tripolar antes do barramento que interliga os dois *bays*. Esse aspecto construtivo com a utilização do barramento garante maior confiabilidade ao sistema, uma vez que há redundância na alimentação da subestação, de forma que, caso haja falha em uma das entradas de linha, a outra poderá alimentar a subestação. Além disso, existem duas chaves seccionadoras tripolares responsáveis pelo seccionamento do barramento, conforme Figura 14, de modo que haja a possibilidade de isolar eletricamente as duas entradas de linha.

Figura 12 – Conjunto de medição da Enel e para-raios instalados na SE estudada



Fonte: Fotografado pelo autor (2023)

Figura 13 – Chave seccionadora tripolar instalada na SE estudada



Fonte: Fotografado pelo autor (2023)

Figura 14 – Chave seccionadora do barramento de transição instalada na SE estudada



Fonte: Fotografado pelo autor (2023)

Para cada um dos dois primeiros *bays* de transformação, há, após o barramento, mais uma chave seccionadora tripolar, um disjuntor tripolar isolado a gás SF<sub>6</sub> e um transformador de potência de 69/13,8 kV, com isolação a óleo mineral, conforme Figura 15. Esse arranjo de chaves seccionadoras antes e depois do barramento possibilita que sejam realizadas manobras de forma a isolar alguns equipamentos elétricos da subestação, como o disjuntor tripolar e o transformador de potência, permitindo que seja realizada a limpeza e ensaios elétricos dos mesmos sem necessariamente desenergizar toda a subestação. Entretanto, para isso é necessário

que seja feita a realocação das cargas entre os transformadores, para que não haja interrupção prolongada dos processos produtivos do empreendimento.

Figura 15 – Transformador 69/13,8 kV de 20 MVA instalado na SE estudada



Fonte: Fotografado pelo autor (2023)

Após as buchas secundárias dos transformadores dos dois primeiros *bays* há um conjunto de TC's e para-raios seguidos de chaves seccionadoras tripolares. A partir desse ponto o circuito é composto por cabos isolados de média tensão, que seguem para os painéis de média tensão (PMT).

Para o terceiro *bay*, existem uma chave seccionadora que faz a ligação com o barramento e outra chave que interliga o transformador existente às instalações futuras. Após essa chave, há o disjuntor do transformador e o próprio transformador. Por fim, das buchas secundárias do transformador saem cabos isolados de média tensão que seguem para o PMT.

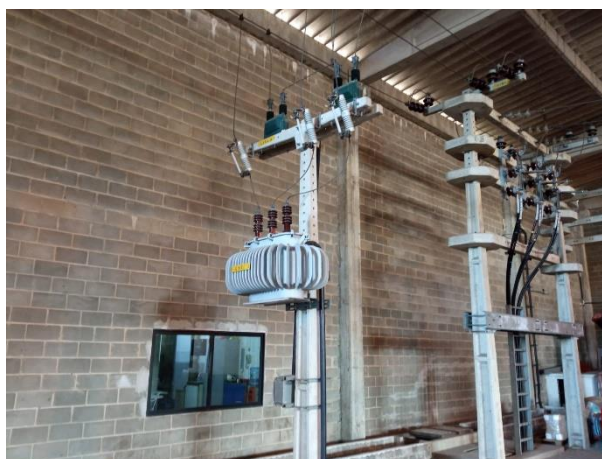
Figura 16 – Terceiro *bay* da SE estudada



Fonte: Fotografado pelo autor (2023)

Além disso, a subestação é dotada de um transformador de serviços auxiliares (TSA) de 13,8/0,38 kV com potência de 75 kVA, isolado à óleo mineral, de acordo com a Figura 17, e um conjunto de três TP's conectados ao barramento de transição.

Figura 17 – TSA da SE estudada



Fonte: Fotografado pelo autor (2023)

### ***3.5.2 Escopo da atividade de manutenção preventiva mensal***

Uma característica marcante do escopo da atividade de manutenção preventiva mensal realizada na planta estudada é que não é necessário desenergizar a subestação para realizar nenhum dos procedimentos, de modo que a programação da atividade se torna mais simples, uma vez que não há necessidade de agendar o desligamento da planta. Além disso, o caráter mensal do serviço permite a obtenção de mais informações ao longo do ano.

Diante disso, é designada uma equipe de no mínimo duas pessoas para realizar a inspeção visual e registro fotográfico de todos os equipamentos da subestação, além de verificar os níveis sonoros próximos aos transformadores e reunir os dados das medidas elétricas registradas pelos relés de proteção. Ademais, são verificadas, por meio de câmera com visor térmico, as temperaturas dos equipamentos elétricos e conexões. Por fim, é emitido relatório que evidencia as atividades desenvolvidas e apresenta o parecer técnico acerca das instalações.

#### ***3.5.2.1 Inspeção visual***

É realizada a inspeção visual de todos os equipamentos do pátio da subestação, desde o ponto de entrega até os cabos isolados dos alimentadores, com o objetivo de verificar o estado

de conservação dos mesmos. De acordo com o resultado das observações realizadas, o equipamento será caracterizado qualitativamente como “conforme” ou “não conforme”.

#### 3.5.2.1.1 Transformadores

Durante a inspeção visual dos transformadores de potência é observada a sua estrutura física, buscando por possíveis rachaduras na carcaça, corrosão ou vazamento de óleo isolante. Também é verificado, por meio do indicador de nível de óleo (Figura 18), se o nível de óleo mineral do transformador se encontra dentro da faixa indicada como adequada no próprio indicador. Da mesma forma, é feito o monitoramento do nível de óleo nos TC's de proteção e nos TP's de transição de barra.

Caso seja evidenciada qualquer inconformidade quanto aos aspectos citados, o equipamento será classificado como “não conforme”.

Figura 18 – Indicador do nível de óleo do transformador da SE estudada



Fonte: Fotografado pelo autor (2023)

#### 3.5.2.1.2 Disjuntores

Durante a atividade de inspeção, é observada a integridade dos isoladores dos disjuntores, verificando possível ocorrência de falhas na isolação, como arborização ou efeito corona. Por meio do indicador de nível de gás, ilustrado na Figura 19, são monitorados os níveis de gás SF<sub>6</sub> tanto dos disjuntores gerais de cada linha quanto dos disjuntores de cada transformador, a fim de verificar se os mesmos se encontram dentro dos parâmetros adequados.

Figura 19 – Indicador do nível de gás do disjuntor da SE estudada



Fonte: Fotografado pelo autor (2023)

### 3.5.2.2 *Nível de ruído*

Os níveis de ruído especificados pela fabricante WEG para os seus transformadores, novos, com potência nominal de 10 e 20 MVA são, respectivamente, 70 e 73 dB. Apesar do fabricante dos transformadores utilizados na SE estudada ser o mesmo, aqueles presentes na planta foram instalados na década de 90, de modo que os parâmetros da época podem divergir dos atuais, considerando a evolução tecnológica nesse intervalo de tempo. Conforme Figura 20, é utilizado um decibelímetro para verificar se o nível de ruído emitido pelo transformador está de acordo com as especificações do fabricante. Os valores aferidos são registrados e apresentados no relatório técnico.

Figura 20 – Medição do nível de ruído próximo ao transformador



Fonte: Fotografado pelo autor (2023)

### 3.5.2.3 Monitoramento de grandezas elétricas

São verificados e registrados os valores de tensão e corrente apresentados nos relés de proteção a fim de identificar possíveis anomalias e determinar o nível de carregamento dos transformadores.

#### 3.5.2.3.1 Nível de tensão

É verificado, por meio da IHM dos relés de proteção, se os valores de tensão em cada fase estão dentro dos parâmetros estabelecidos pela ANEEL. A mesma indica que a tensão não pode ultrapassar 105% da nominal e não deve ser inferior a 95% da tensão nominal (ANEEL, 2017).

#### 3.5.2.3.2 Nível de corrente

De maneira análoga, são verificados e registrados os níveis de corrente. Os valores obtidos serão utilizados para analisar se as correntes se encontram equilibradas e realizar o cálculo do carregamento dos transformadores.

#### 3.5.2.3.3 Nível de carregamento dos transformadores

A determinação do carregamento do transformador é importante para compreender as demandas da instalação e evitar que ele opere com baixo carregamento, visto que essa condição aumenta as perdas do transformador. Para o cálculo do carregamento é utilizada a potência do transformador trabalhando com ventilação forçada, o que corresponde a 125% da potência nominal, como ilustra a equação a seguir:

$$\text{Carregamento (\%)} = \frac{\sqrt{3} \cdot V \cdot I}{Pot} \quad (1)$$

Onde:

V = Tensão de fase média;

I = Corrente de fase média;

Pot = 125% da potência nominal do transformador;

#### 3.5.2.4 Termografia

É realizada a inspeção termográfica de todos os equipamentos elétricos, e suas conexões, presentes no pátio da subestação, com a intenção de verificar se as temperaturas estão dentro dos limites normais de funcionamento. Os valores considerados como pontos quentes são descritos por Santos (2017) no seu estudo sobre os procedimentos de termografia na manutenção dos sistemas elétricos. Caso algum equipamento apresente ponto quente, este será classificado como “não conforme” e será apontado no relatório.

O Quadro 2 indica os valores considerados como ponto quente e o tipo de intervenção a ser realizada dependendo da temperatura detectada quando o componente inspecionado é uma conexão ou emenda.

Quadro 2 – Temperatura para conexões e emendas

<b>Temperatura</b>	<b>Tipo de intervenção</b>
50 °C à 99 °C	Manutenção programada
100 °C à 160° C	Manutenção de urgência
Acima de 160 °C	Manutenção de emergência

Fonte: Adaptado de Santos, 2017

O Quadro 3 indica as temperaturas consideradas como ponto quente e o tipo de intervenção a ser realizada quando o equipamento inspecionado é um disjuntor, religador ou uma chave à óleo.

Quadro 3 – Temperatura para conexões e emendas

<b>Temperatura</b>	<b>Tipo de intervenção</b>
45 °C à 99 °C	Manutenção programada
100 °C à 160 °C	Manutenção de urgência
Acima de 160 °C	Manutenção de emergência

Fonte: Adaptado de Santos, 2017



#### 3.5.2.4.1 Equipamento utilizado

Existem várias marcas e modelos de câmera termográfica, que apresentam características distintas, como campo de visão, resposta espectral e intervalo de temperatura (Santos, 2017).

O equipamento utilizado para realizar a inspeção termográfica dessa planta é a câmera termográfica da FLIR, modelo FLIR E4 (Figura 21). A mesma apresenta resolução térmica de 4.800 pixels, teste de queda de 2 metros e grau de proteção IP54 (Teledyne FLIR, 2023).

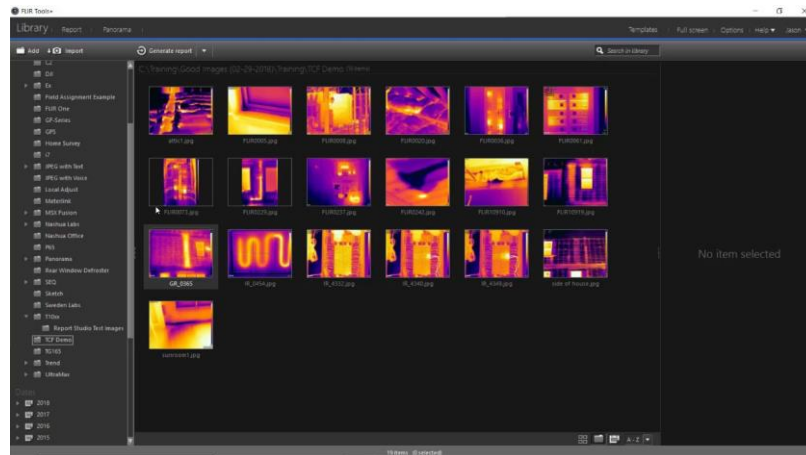
Figura 21 – Câmera termográfica FLIR E4



Fonte: Teledyne FLIR (2023)

#### 3.5.2.4.2 Relatório termográfico

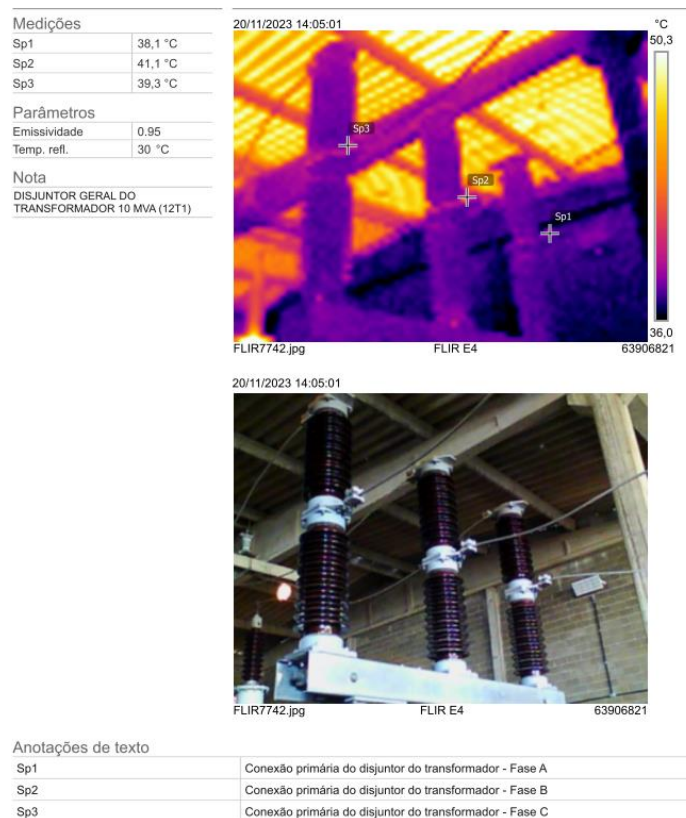
Após a obtenção em campo do registro fotográfico das temperaturas dos equipamentos da subestação, por meio da câmera termográfica, é feito o *upload* das imagens no *software* dedicado da câmera, o FLIR Tools. Então, por meio do *software*, serão adicionados às imagens os indicadores de temperatura nos pontos de interesse, como nas conexões e nos radiadores dos transformadores. Também é possível inserir uma descrição para o equipamento analisado e legendas para os indicadores de temperatura, designando qual fase do equipamento eles representam, por exemplo. A Figura 22 ilustra a interface desse *software*.

Figura 22 – Interface do *software* FLIR Tools

Fonte: Teledyne FLIR (2018)

Após a adição de todos os elementos necessários para designar os pontos observados e identificar as temperaturas a serem analisadas, é emitido, no próprio *software*, um relatório com todos os elementos relevantes para a identificação de possíveis pontos quentes, conforme Figura 23. Esse documento é anexado ao relatório técnico que contém a descrição e resultados detalhados da atividade de manutenção preventiva mensal.

Figura 23 – Relatório gerado no FLIR Tools



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

## 4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a produção desse trabalho foi o estudo de caso da utilização da ferramenta Power BI para gerenciar as informações adquiridas a partir de um plano anual de manutenção preventiva realizado em uma subestação abrigada de 69 kV, a fim de otimizar a interpretação dos dados e a tomada de decisões.

A primeira etapa do estudo foi a reunião, em uma planilha do Microsoft Excel, de todos os dados obtidos, de forma experimental, durante as atividades de manutenção preventiva realizadas na planta estudada, ao longo do ano de 2023, de forma mensal. Estes dados podem ser divididos entre qualitativos e quantitativos, de forma que os qualitativos se referem ao *status* dos equipamentos elétricos e os quantitativos representam grandezas de medidas.

As informações obtidas a partir da inspeção visual, como nível de óleo isolante dos transformadores e nível de gás SF<sub>6</sub> dos disjuntores, e da termografia serão utilizadas para análise qualitativa dos equipamentos, de forma a defini-los como “conforme” ou “não conforme”. Caso um equipamento seja classificado como “não conforme”, este ainda será categorizado quanto ao tipo de manutenção necessária para a correção do problema, entre manutenção de urgência e de emergência.

As medições de ruídos e das grandezas elétricas serão classificadas como quantitativas, de forma a serem apresentadas no *dashboard* gerado pelo Power BI como valores numéricos.

A segunda etapa do estudo foi a utilização da ferramenta Power BI para representação gráfica dos dados e análise dos mesmos, com o intuito de obter conclusões acerca das informações adquiridas durante a atividade de manutenção preventiva mensal.

### 4.1 Estruturação do *dashboard*

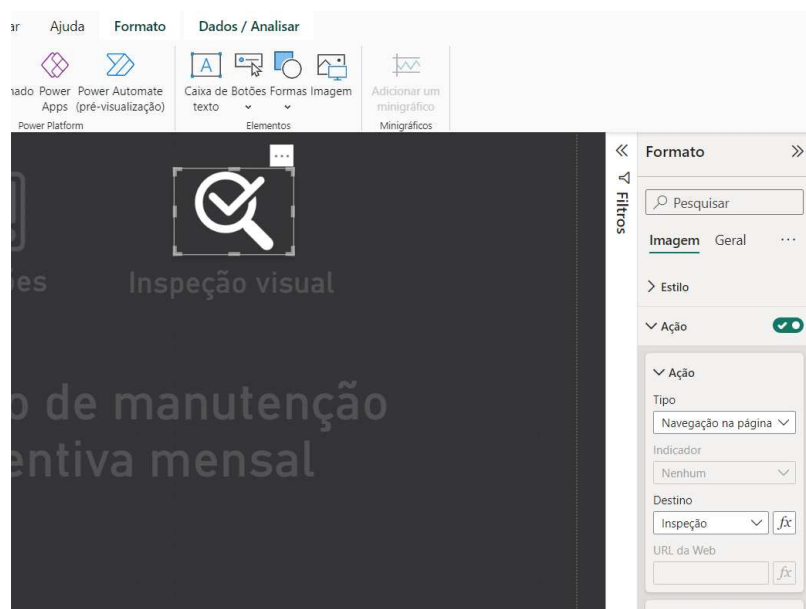
Foram construídas três telas para a apresentação dos dados, sendo uma para avaliar as informações qualitativas acerca do estado de conservação dos equipamentos, outra para apresentar os dados quantitativos obtidos em cada mês e uma terceira para avaliar a variação dos valores de tensão e corrente ao longo do ano.

Para isso, utilizou-se vários visuais para a construção dessas interfaces, de acordo com cada dado e com qual informação seria analisada, como gráficos de linhas, colunas, segmentação de dados, ícones interativos e o indicador conhecido popularmente como “velocímetro”.

### 4.1.1 Tela inicial

Para enriquecer o *dashboard*, optou-se por criar também uma tela inicial, onde é apresentado o tema e o nome do autor. Além disso, são utilizados ícones interativos para realizar a navegação entre as telas. Para isso, basta inserir uma imagem, habilitar a opção “Ação”, escolher o tipo “Navegação na página” e, por fim, selecionar na seção “Destino” qual tela ficará relacionada ao ícone, como mostra a Figura 24.

Figura 24 – Como transformar imagem em botão de navegação



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

### 4.1.2 Resultados da inspeção visual

O objetivo dessa tela é mostrar quais equipamentos foram classificados como “não conforme” após a inspeção visual. Para isso foram utilizadas as informações de tipo de equipamento, código do equipamento, se ele está “conforme” ou “não conforme” e a descrição breve da possível inconformidade, além da data da inspeção e o nome da pessoa responsável pela atividade, de acordo com a Figura 25. É importante ressaltar que, especificamente para essa tela, foram utilizadas informações fictícias, apenas para ilustrar as funcionalidades do Power BI, de forma que os nomes dos responsáveis e inconformidades apresentadas não correspondem à realidade.

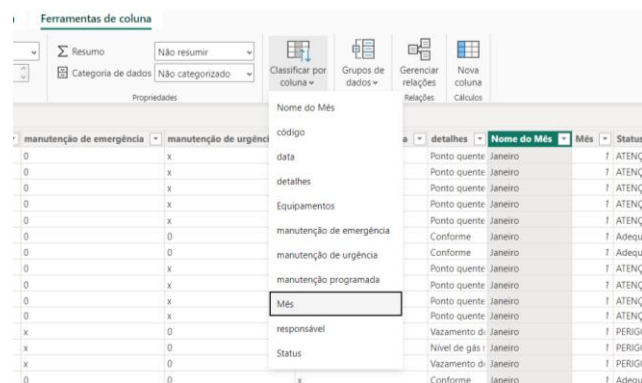
Figura 25 – Informações necessárias para construir a tela de inspeção visual

data	responsável	Equipamentos	código	manutenção de emergência	manutenção de urgência	manutenção programada	detalhes
12/01/2023	João	Chave Seccionadora	32P3-5	0	x	0	Ponto quente
12/01/2023	João	Chave Seccionadora	32T1-9	0	x	0	Ponto quente
12/01/2023	João	Chave Seccionadora	31B1-1	0	x	0	Ponto quente
12/01/2023	João	Chave Seccionadora	32P4-5	0	x	0	Ponto quente
12/01/2023	João	Chave Seccionadora	32P4-4	0	x	0	Ponto quente
12/01/2023	João	Chave Seccionadora	31T1-4	0	0	x	Conforme
12/01/2023	João	Chave Seccionadora	31T2-4	0	0	x	Conforme
12/01/2023	João	Chave Seccionadora	32T2-9	0	x	0	Ponto quente
12/01/2023	João	Chave Seccionadora	31B1-2	0	x	0	Ponto quente
12/01/2023	João	Chave Seccionadora	32P3-4	0	x	0	Ponto quente
12/01/2023	João	Disjuntor Geral da Linha	12P3	0	x	0	Ponto quente
12/01/2023	João	Transformador 10MVA	02T1	x	0	0	Vazamento de
12/01/2023	João	Disjuntor Geral da Linha	12P4	x	0	0	Nível de gás r
12/01/2023	João	Transformador 20MVA	02T2	x	0	0	Vazamento de
12/01/2023	João	Transformador de Corrente	02Z1	0	0	x	Conforme
12/01/2023	João	Disjuntor Geral do Transform.	12T1	0	0	x	Conforme
12/01/2023	João	Transformador de Corrente	02Z2	0	0	x	Conforme
12/01/2023	João	Disjuntor Geral do Transform.	12T2	0	0	x	Conforme
12/01/2023	João	Transformador de Potencial	02U1	0	0	x	Conforme
17/02/2023	Maria	Chave Seccionadora	31T1-4	0	x	0	Ponto quente
17/02/2023	Maria	Chave Seccionadora	32P3-5	0	0	x	Conforme
17/02/2023	Maria	Chave Seccionadora	32P3-4	0	0	x	Conforme
17/02/2023	Maria	Chave Seccionadora	31B1-1	0	0	x	Conforme
17/02/2023	Maria	Chave Seccionadora	32P4-5	0	0	x	Conforme
17/02/2023	Maria	Chave Seccionadora	32P4-4	0	0	x	Conforme
17/02/2023	Maria	Chave Seccionadora	31B1-2	0	0	x	Conforme
17/02/2023	Maria	Chave Seccionadora	31T2-4	0	0	x	Conforme

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Foi utilizado o visual “Segmentação de Dados” para filtrar as informações, com apenas um *click*, pelas datas em que foram realizadas. Primeiramente, é necessário acessar o editor de Power Query, na opção de “Transformar dados”, para criar uma nova coluna que contenha apenas o nome do mês correspondente a cada data. Entretanto, o Power BI, por padrão, ordena os meses em ordem alfabética, e não da maneira convencional. Para contornar essa situação, pode-se usar a coluna de datas para criar uma nova coluna que contenha apenas o número correspondente a cada mês. Por fim, na aba “Ferramentas de coluna”, basta selecionar a coluna com os nomes dos meses, procurar a opção “Classificar por coluna” e selecionar a opção correspondente à coluna que contém o número do mês, conforme Figura 26. Dessa forma, o Power BI irá associar janeiro como o primeiro mês, fevereiro como o segundo, e assim sucessivamente.

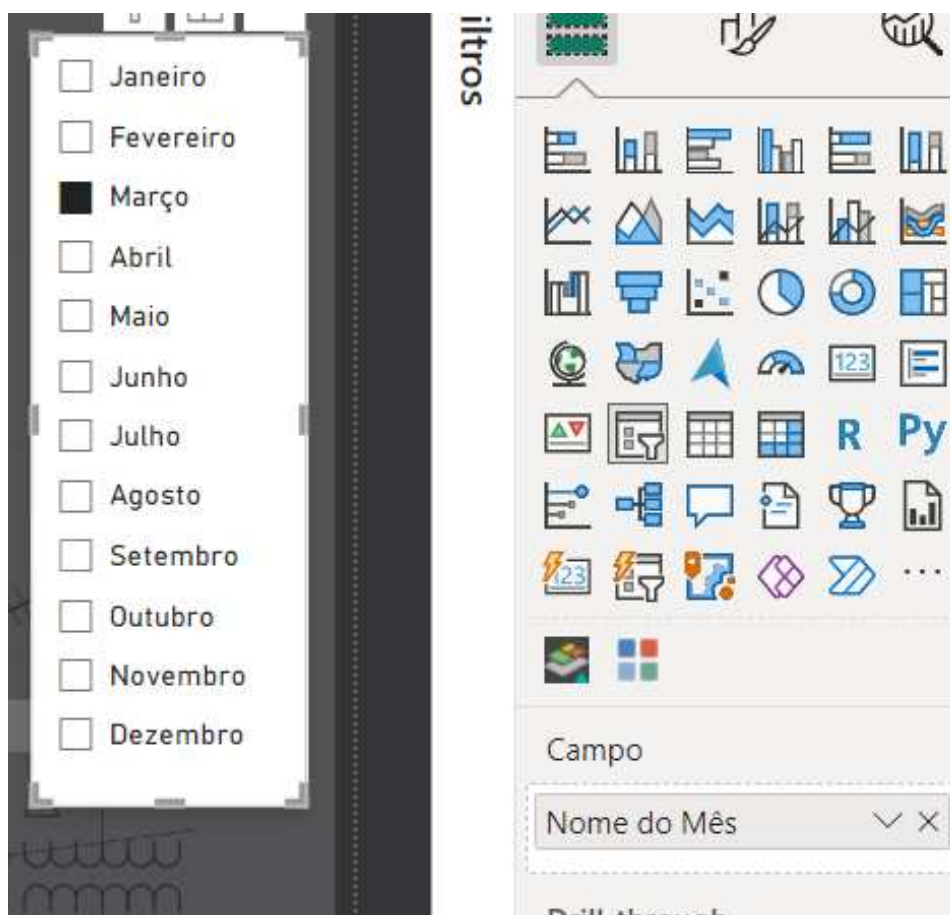
Figura 26 – Como ajustar o ordenamento dos nomes dos meses



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Após a resolução desse contratempo, basta inserir na segmentação de dados a informação que deseja ser filtrada, conforme Figura 27. O filtro pode ser representado em lista vertical, como mostrado na figura, em lista suspensa ou até na forma de botões. Também é possível configurar se mais de uma opção pode ser selecionada simultaneamente.

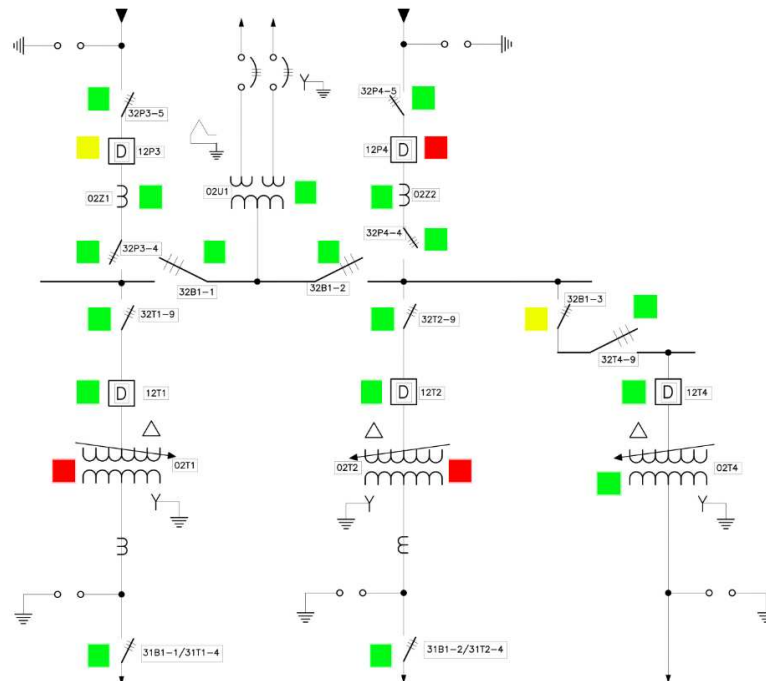
Figura 27 – segmentação de dados



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A principal ideia utilizada na confecção dessa interface foi a utilização de indicadores associados ao diagrama unifilar simplificado apresentado na Figura 11, de forma que os equipamentos que apresentaram inconformidades podem ser identificados visualmente. Assim, foi utilizado o artifício dos cartões, visto que eles aceitam formatação condicional, para representar *flags* que mudam de cor de acordo com o *status* do equipamento, conforme Figura 28. Para utilizar a formatação condicional foi necessário criar uma nova coluna, dentro do editor Power Query, que representasse o *status* do equipamento. Também foi necessário filtrar cada cartão individualmente pelo código do equipamento, para representar o equipamento correto.

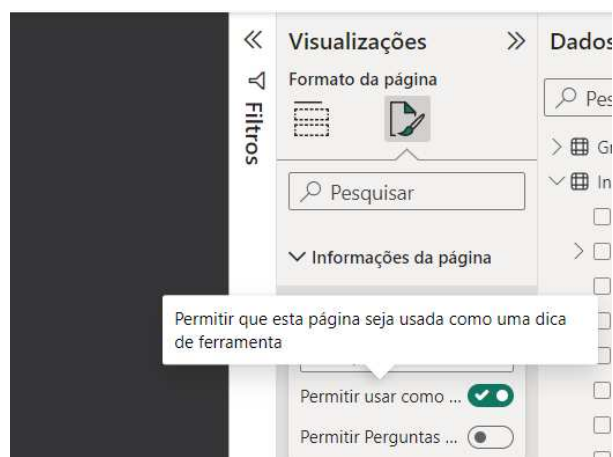
Figura 28 – Associação de indicadores ao diagrama unifilar simplificado



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Outro recurso empregado foi o das “Dicas de ferramentas”, ou “*Tooltips*”, cuja funcionalidade é gerar um menu flutuante quando o leitor passar o cursor por cima do indicador. Para utilizar essa funcionalidade é preciso criar outra tela, que contém o conteúdo mostrado no menu flutuante, e habilitá-la como *tooltip*, conforme Figura 29.

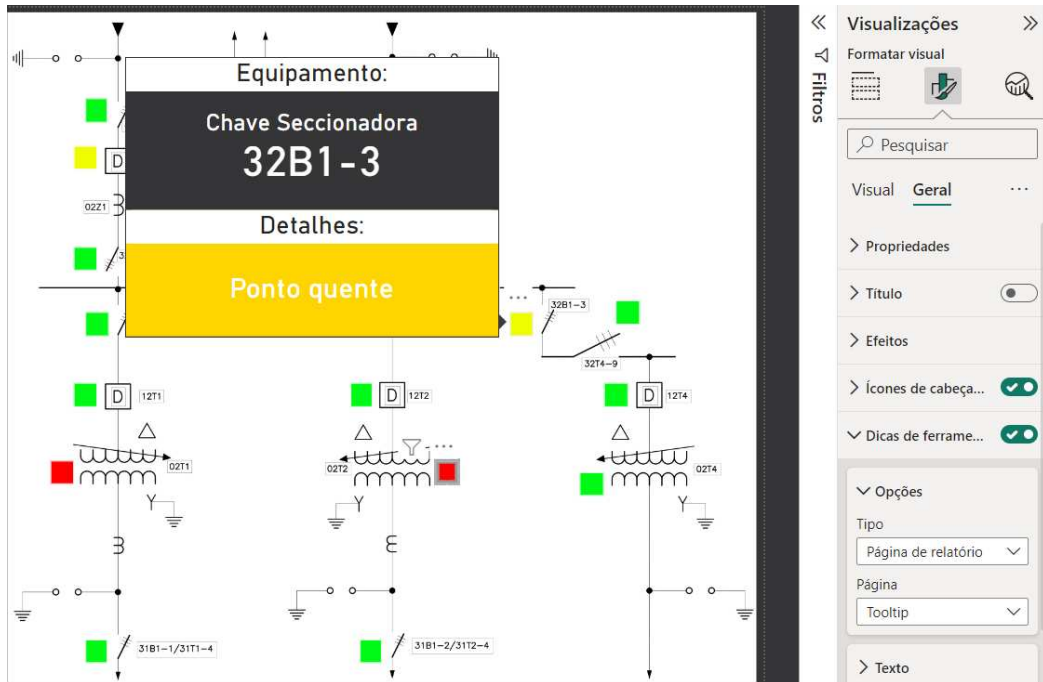
Figura 29 – Como habilitar as Dicas de ferramentas



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Por fim, basta selecionar o cartão utilizado como indicador, habilitar a opção de Dicas de ferramentas e marcar a página que foi configurada como *tooltip*, de acordo com a Figura 30.

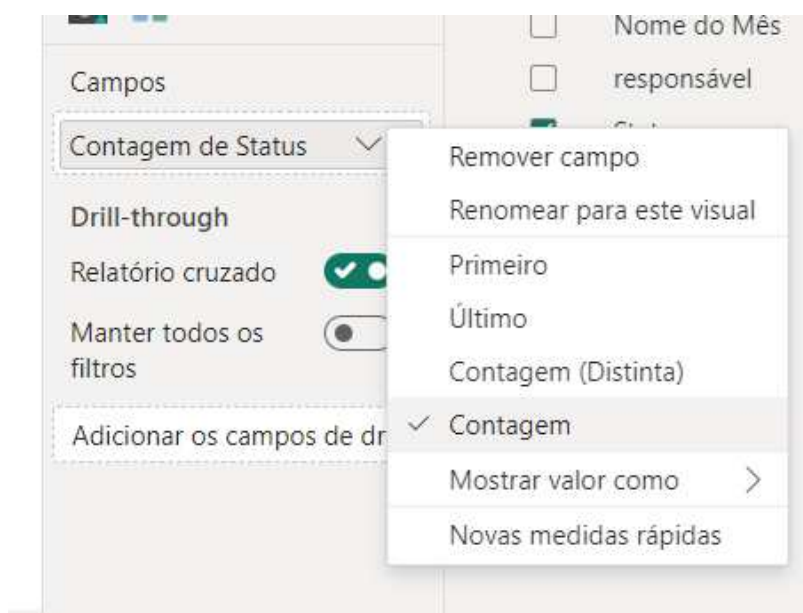
Figura 30 – Utilização das dicas de ferramentas



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Para finalizar a construção dessa interface, foram adicionados cartões indicando a data da manutenção, quantos equipamentos foram classificados como manutenção de urgência ou emergência e qual o nome do responsável pela atividade. Um detalhe importante é classificar a exibição dos valores de status como “Contagem”, conforme Figura 31.

Figura 31 – Como alterar o modo de exibição do valor



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)



### 4.1.3 Dados quantitativos mês a mês

Essa interface foi construída com o objetivo de mostrar, utilizando recursos gráficos, as informações obtidas durante a manutenção preventiva, a fim facilitar a elaboração do parecer técnico. Os dados utilizados foram os valores de tensão e corrente, em cada fase, para cada transformador, bem como a potência de cada um e as datas das inspeções, conforme Figura 32. Há também a possibilidade de inserir os valores de tensão e corrente médios e carregamento do transformador previamente calculados, ou obtê-los com ajuda do editor Power Query.

Figura 32 – Informações necessárias para construir a tela de dados quantitativos mensais

data	transformador	pot. Trafo	tensão fase a	tensão fase b	tensão fase c	tensão média	corrente fase a	corrente fase b	corrente fase c	corrente média	carregamento
12/01/2023	02T1	10	71,6	71,2	71,0	71,3	23,1	23,9	22,5	23,2	22,8
12/01/2023	02T2	20	71,6	71,2	70,0	70,9	14,8	15,7	13,8	14,8	7,2
17/02/2023	02T1	10	70,6	70,8	70,7	70,7	2,1	2,4	1,6	2	1,9
17/02/2023	02T2	20	71,1	70,7	70,5	70,8	12,2	13,2	13,5	13	6,3
23/03/2023	02T1	10	71,6	71,2	71,1	71,3	2	2,3	1,6	2	1,9
23/03/2023	02T2	20	71,6	71,1	71,1	71,3	12,1	12,1	11,2	11,8	5,8
18/04/2023	02T1	10	70,7	70,5	70,2	70,5	53,8	57,3	53,7	54,9	53,6
18/04/2023	02T2	20	70,6	70,3	70,0	70,3	10,3	11,2	9,2	10,2	4,9
18/04/2023	02T4	10	70,7	70,4	70,1	70,4	0	0	0	0	0,0
12/05/2023	02T1	10	71,3	70,9	70,8	71,0	0	0	0	0	0,0
12/05/2023	02T2	20	71,2	70,9	70,8	71,0	11,9	12,3	11,1	11,8	5,7
12/05/2023	02T4	10	71,1	70,8	70,7	70,9	2,3	2,4	1,9	2,2	2,1
16/06/2023	02T1	10	71,3	70,9	70,8	71,0	0	0	0	0	0,0
16/06/2023	02T2	20	71,2	70,9	70,8	71,0	46,3	48,1	45,5	46,6	22,9
16/06/2023	02T4	10	71,1	70,8	70,7	70,9	0	0	0	0	0,0
14/07/2023	02T1	10	70,8	70,5	70,3	70,5	26,9	27,7	26,3	27	26,3
14/07/2023	02T2	20	70,9	70,5	70,3	70,6	0	0	0	0	0,0
14/07/2023	02T4	10	70,7	70,3	70,1	70,4	4,9	4,7	3,6	4,4	4,2
07/08/2023	02T1	10	70,5	69,9	69,7	70,0	31,4	31,6	29,9	31	30,0
07/08/2023	02T2	20	70,5	70,0	69,8	70,1	12	12,2	11,8	12	5,8
07/08/2023	02T4	10	70,5	70,0	69,8	70,1	2,5	2,5	2	2,3	2,2
12/09/2023	02T1	10	70,6	70,8	70,7	70,7	26,9	27,7	26,3	27	26,4
12/09/2023	02T2	20	70,6	70,3	70,0	70,3	12,2	13,2	13,5	13	6,3
12/09/2023	02T4	10	71,1	70,8	70,7	70,9	4,9	4,7	3,6	4,4	4,3
19/10/2023	02T1	10	70,8	70,4	70,1	70,4	1,7	2	0	1,2	1,2
19/10/2023	02T2	20	70,8	70,4	70,2	70,5	12,8	13,4	12,6	12,9	6,3
19/10/2023	02T4	10	70,9	70,5	70,3	70,6	3,2	2	2	2,4	2,3

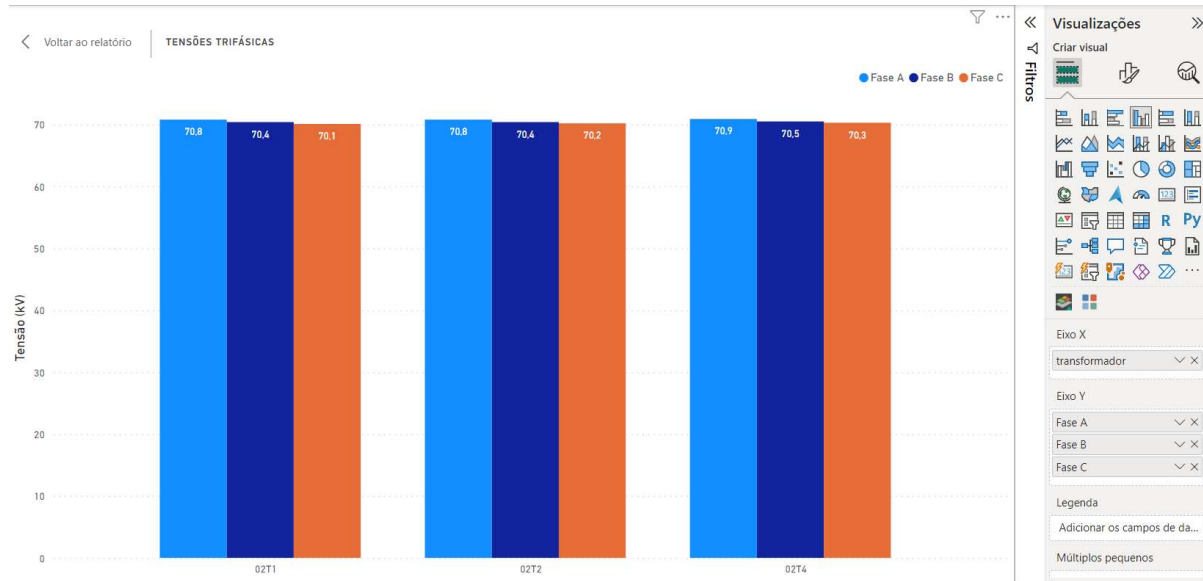
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Para alternar os valores entre os meses, foi novamente utilizada a segmentação de dados em lista vertical.

#### 4.1.3.1 Leituras de tensão

O intuito de analisar as tensões trifásicas dos transformadores é verificar se as mesmas estão de acordo com o parâmetro estabelecido pelo ANEEL. Para isso foi utilizado um gráfico de colunas verticais, de acordo com a Figura 33.

Figura 33 – Tensões trifásicas para cada transformador

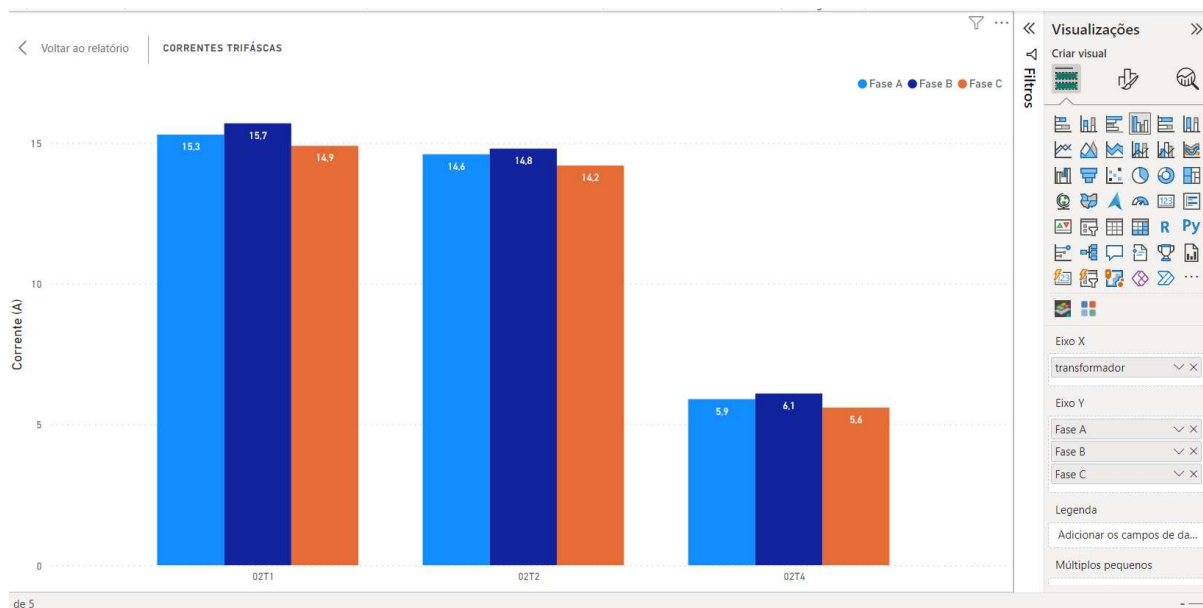


Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### 4.1.3.2 Leituras de corrente

Para analisar os valores de corrente registrados para cada transformador também foram utilizados gráficos de colunas, conforme Figura 34, mas dessa vez o objetivo é identificar se as correntes em cada fase se encontram equilibradas entre si.

Figura 34 – Correntes trifásicas para cada transformador

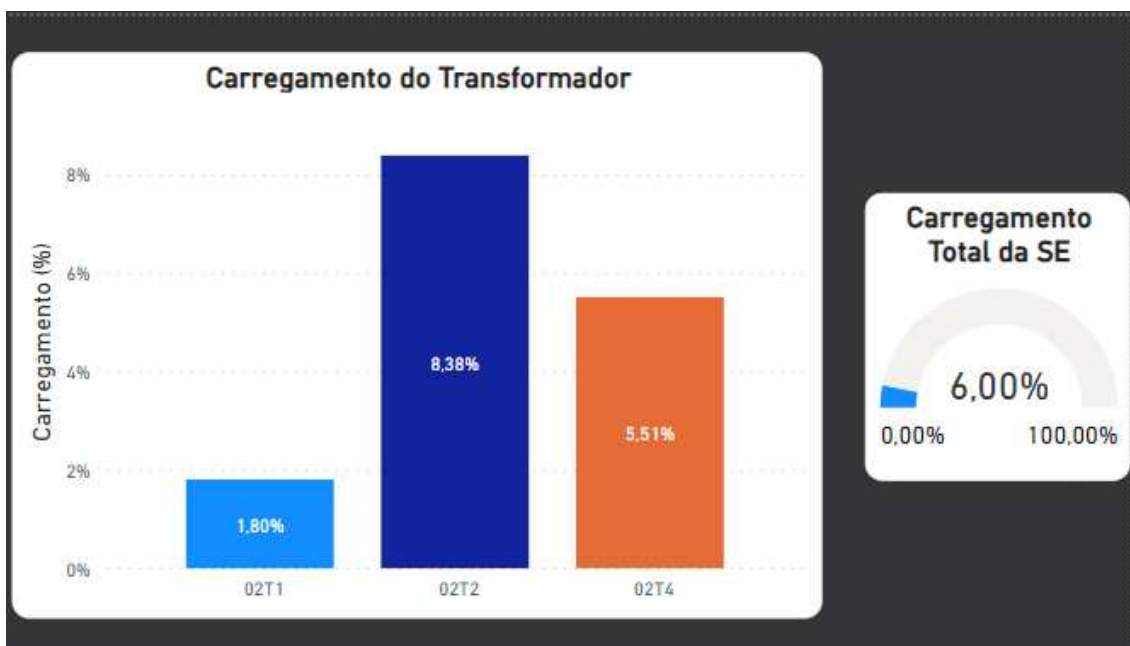


Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### 4.1.3.3 *Nível de carregamento*

A fim de evitar as perdas causadas pelo baixo carregamento dos transformadores, mostrou-se interessante a elaboração dos gráficos apresentados na Figura 35 para ilustrar os carregamentos dos transformadores, de forma individual, e da subestação como um todo. Para tal foi necessário manipular os dados de tensão e corrente dentro do Power BI para calcular a potência de transformação total da subestação e a potência utilizada no momento da inspeção.

Figura 35 – Carregamento dos transformadores e da subestação



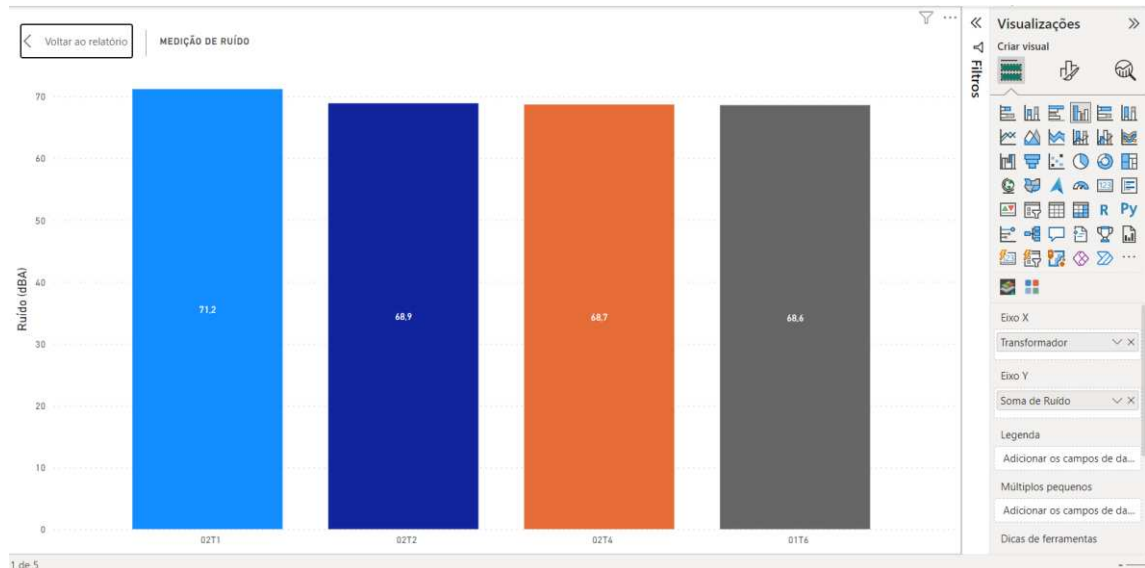
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### 4.1.3.4 *Nível de ruído*

O objetivo da construção do gráfico mostrado na Figura 36 é avaliar se os níveis de ruído medidos estão coerentes com os parâmetros especificados pelo fabricante dos transformadores.

De forma semelhante ao que foi feito com os nomes dos meses, foi necessário usar um artifício para que o Power BI interpretasse o TSA (01T6) como o quarto transformador.

Figura 36 – Nível de ruído para cada transformador

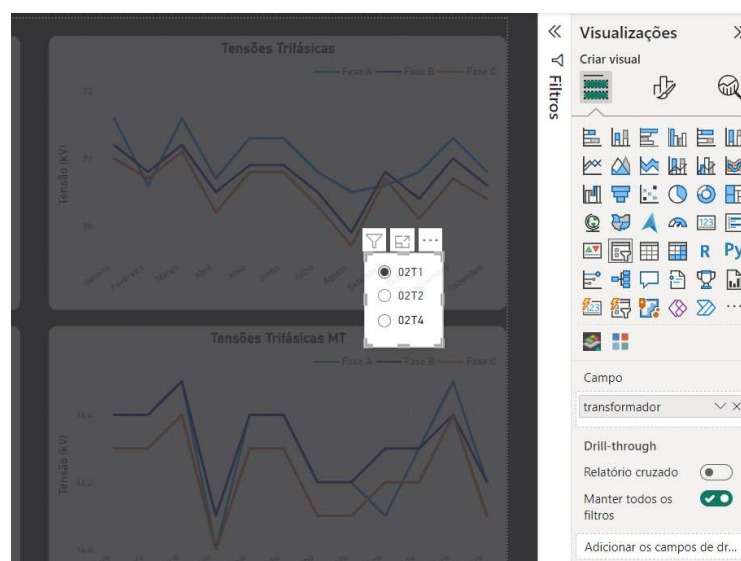


Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

#### 4.1.4 Dados quantitativos ao longo do ano

Por último, foi elaborada uma tela que exibisse os parâmetros elétricos da subestação do logo do ano, com o objetivo de proporcionar uma análise histórica da planta. A principal diferença entre essa tela e a anterior é a adição dos valores de tensão trifásica em média tensão, possibilitando calcular a relação de transformação dos transformadores de 69/13,8 kV. Além disso, o parâmetro filtrado passou a ser o transformador, como ilustra a Figura 37.

Figura 37 – Segmentação de dados utilizando o parâmetro do transformador



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

## 4.2 Resultado final

Nesta seção serão apresentadas todas as interfaces construídas, descrevendo brevemente cada uma delas.

A tela inicial, exibida na figura Figura 38, é composta pelo tema do *dashboard*, o nome do autor e por ícones interativos que permitem o acesso às demais telas.

Figura 38 – Tela inicial



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A interface que ilustra os resultados da inspeção visual apresenta uma imitação do diagrama unifilar da subestação, no qual estão inseridos indicadores que simbolizam o estado de conservação de cada elemento da planta, variando sua cor de acordo com a categoria na qual o equipamento elétrico se enquadra, entre manutenção programada (verde), manutenção de urgência (amarelo) e manutenção de emergência (vermelho). Além disso, quando o visualizador posiciona o cursor em cima desses elementos visuais, o *dashboard* fornece mais informações, utilizando um menu suspenso, como o tipo do equipamento, o seu código e uma breve descrição dos possíveis problemas identificados na atividade de manutenção preventiva.

Essa tela também conta com um menu que permite alternar rapidamente as informações exibidas entre os meses, cartões que especificam a data em que a inspeção foi realizada e o nome da pessoa responsável pela mesma, além da quantidade de não conformidades registradas para cada mês. Por fim, foi inserido também um ícone interativo, e intuitivo, que permite ao leitor retornar para a tela inicial. Os aspectos citados são evidenciados na Figura 39.

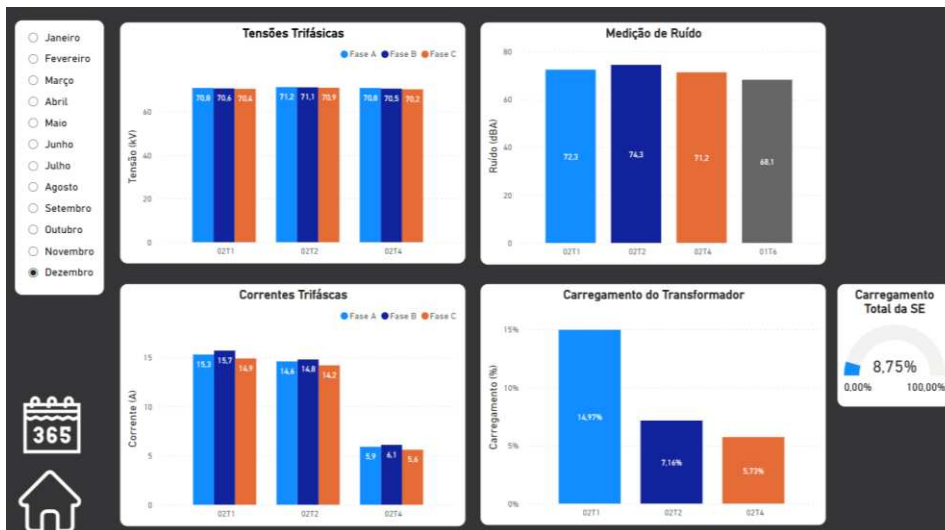
Figura 39 – Resultados da inspeção visual



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A tela ilustrada na Figura 40 refere-se às medições de tensão, corrente, carregamento e ruídos, registradas mensalmente, permitindo verificar se as condições normatizadas são satisfeitas. Há um menu que proporciona ao usuário a troca dos filtros de maneira rápida e fácil, além de um botão para acessar a próxima tela e outro para retornar à tela inicial.

Figura 40 – Medições mensais

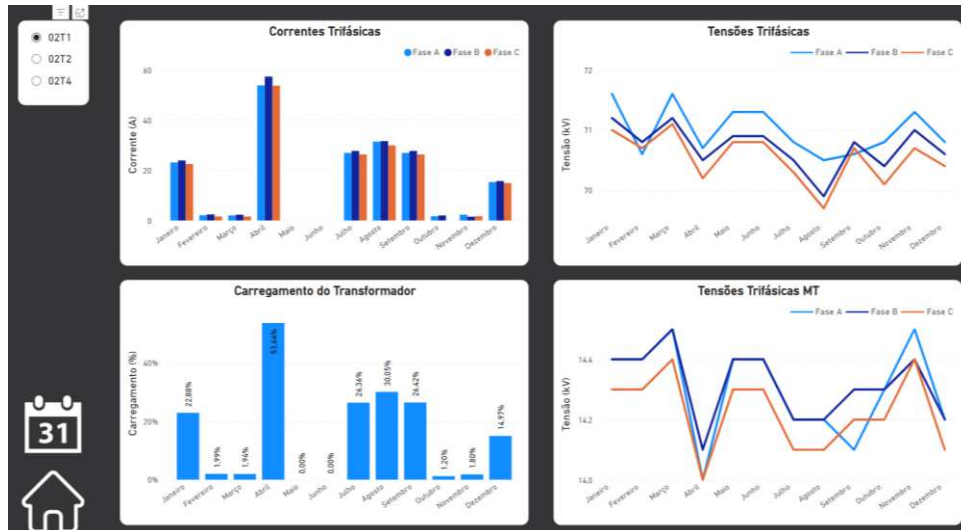


Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A última tela apresenta gráficos de linha que ilustram os níveis de alta e média tensão registrados em cada atividade de manutenção preventiva ao longo do ano de 2023., além dos gráficos de colunas que permitem ao observador analisar se as correntes se mantiveram

equilibradas. Há também uma lista de seleção que possibilita ao usuário alternar entre cada transformador e botões para retornar à análise mensal ou à tela inicial, conforme Figura 41.

Figura 41 – Medições ao longo do ano



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O principal diferencial da aplicação de Power BI frente à ferramenta tradicional foi a utilização do recurso do mímico da subestação para resumir os resultados da inspeção visual de modo simples e prático. O relatório técnico desenvolvido atualmente por meio da plataforma Microsoft Word apresenta uma tabela resumo que classifica os dispositivos em “conforme” ou “não conforme”, utilizando o código do equipamento como identificação, conforme exemplificado no Quadro 4. Entretanto, a forma como a ferramenta de BI executa a mesma tarefa mostra-se superior, pois, ao utilizar um recurso visual, dispensa a necessidade de conhecer o código do equipamento.

Quadro 4 – Quadro resumo adaptado


Equipamentos	Código dos equipamentos	Manutenção de emergência	Manutenção de urgência	Manutenção programada
Chave seccionadora	32P3-5			C
Disjuntor Geral da Linha	12P3	NC		
Transformador de Corrente	02Z1			C
Chave seccionadora	32P3-4		NC	
Chave seccionadora	32T1-9			C

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Considerando a apresentação das leituras de tensão e corrente, no relatório convencional isso é realizado utilizando-se duas tabelas, uma para cada grandeza elétrica, de forma que essas informações ocupam mais de uma página, dificultando a análise dos dados.

Sob o aspecto do registro e utilização dos valores de tensão e corrente para calcular o carregamento do transformador, o Power BI apresentou resultado satisfatório, por utilizar fórmulas de maneira mais prática. Também é possível utilizar fórmulas em tabelas no Word, conforme Figura 42, mas é necessário que os dados estejam na mesma tabela, o que inviabiliza essa aplicação, pois a tabela ficaria muito poluída

Figura 42 – Exemplo de fórmula no Word



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Por fim, o Power BI permite a visualização de várias informações em uma só tela, facilitando a análise dos dados. Comparando com a alternativa convencional, seria necessário abrir vários arquivos diferentes para realizar qualquer tipo de comparação entre diferentes meses, enquanto o mesmo pode ser feito no Power BI, em uma única tela, utilizando apenas alguns *clicks*.

### 4.3 Publicação online

Seguindo a sugestão de Carvalho (2022), esse *dashboard* foi publicado *online* e está disponível nas referências desse trabalho.



## 5 CONCLUSÃO

No contexto atual, a modernização dos equipamentos e processos industriais seguindo a filosofia da indústria 4.0 torna-se um assunto cada vez mais relevante. Diante disso, mostrou-se interessante a utilização de técnicas de *business intelligence* para otimizar o gerenciamento de informações e tomada de decisões.

Portanto, esse trabalho foi motivado pelo objetivo de analisar a aplicabilidade dos recursos de BI na otimização da gestão de dados obtidos a partir de atividades de manutenção preventiva. Diante das informações obtidas, foram criados *dashboards* interativos, utilizando o Power BI, para apresentar os dados de maneira mais clara e objetiva, facilitando o processo decisório.

Para ilustrar os dados obtidos durante a inspeção visual, optou-se pela utilização de um recurso gráfico que imita o diagrama unifilar da planta. Foram utilizados os cartões como artifício para representar indicadores que mudam de cor de acordo com o *status* do equipamento analisado. Além disso, é utilizado o visual de segmentação de dados, em linha vertical, para alternar entre os meses com apenas um *click*.

Na análise mensal foram usados majoritariamente gráficos de colunas verticais, com os valores de interesse no eixo y e a identificação dos transformadores no eixo x, para comparar tanto os valores entre as fases de cada transformador quanto os valores entre os transformadores. Para essa interface também foi utilizado o visual de segmentação de dados em linha vertical.

Por fim, para analisar os registros de tensões e correntes obtidos durante as manutenções em forma de linha temporal, foram empregados gráficos de linhas para verificar se os níveis de tensão estão de acordo com o estabelecido pelo ANEEL e gráficos de barras para observar o equilíbrio das correntes.

De modo geral, o Power BI mostrou-se superior à tecnologia convencional em vários aspectos, desde a reunião das informações da manutenção preventiva em uma fonte única até a utilização de recursos visuais modernos, como as dicas de ferramenta. A implementação do mímico da subestação com indicadores coloridos foi uma grande evolução comparado à tabela resumo usada anteriormente, visto que para compreender a tabela era necessário conhecer os códigos dos equipamentos.

Devido ao fator tempo, não foi possível aplicar os conceitos de *design* de interface e recursos mais avançados do Power BI para produzir *dashboards* de alta performance.

Como trabalhos futuros recomenda-se:

1. Inclusão de rotina de IA para interpretação dos dados.
2. Ampliação da quantidade de relatórios gerados, contemplando aspectos como ensaios elétricos.
3. Aplicar as ferramentas de BI em uma base de dados maior.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. NBR 5462:1994. Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

CARVALHO, Matheus Torres. Aplicação de Business Intelligence para gerenciamento da manutenção de subestações de alta tensão. 2022.

COSTA, Larissa dos Santos; PINTO, Natália Fernandes. Estudo de caso: Automação de processos administrativos em uma empresa ferroviária utilizando a ferramenta Qlik Sense. 2020.

DE DISTRIBUIÇÃO, Procedimentos. Módulo 8–qualidade da energia elétrica. Agência Nacional de Energia Elétrica–ANEEL, 2010.

FERREIRA, Guilherme Henrique. Limpeza de dados utilizando ferramentas Power BI e Tableau. 2020. Trabalho de Graduação (Curso superior em Análise de Desenvolvimento de Sistema). Faculdade de Tecnologia " Dr. Thomaz Novelino", Franca, 2020.

FLIR E4. Teledyne FLIR, 2023. Disponível em: <https://www.flir.com.br/products/e4/?vertical=condition+monitoring&segment=solutions> Acesso em: 12 de dezembro de 2023.

Institute of Electrical and Electronics Engineers. IEEE std 902: IEEE Guide for Maintenance, Operation, and Safety of Industrial and Commercial Power Systems (Yellow Book). New York, 1998.

LOOKER Studio. Google Cloud. Disponível em: <https://cloud.google.com/looker-studio?hl=pt-BR>

MANIS, Kim. Microsoft named a Leader in the 2023 Gartner Magic Quadrant for Analytics and BI Platforms. Microsoft Corporation, 2023. Disponível em: <https://powerbi.microsoft.com/en-my/blog/microsoft-named-a-leader-in-the-2023-gartner-magic-quadrant-for-analytics-and-bi-platforms/>. Acesso em: 12 dez. 2023.

MORAES, Guilherme Gutierrez. Google looker studio: a experiência de implementação em uma empresa de compliance. 2023.

PEREIRA, Adriano; DE OLIVEIRA SIMONETTO, Eugênio. Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, v. 16, n. 1, 2018.

PEREIRA, Yasmim da Silva. Módulos híbridos em subestações de alta tensão: uma análise sob o ponto de vista da manutenção e comparação com tecnologias convencionais. 2020. 85 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

PREÇOS do Power BI. Microsoft. Disponível em: <https://powerbi.microsoft.com/pt-br/pricing/>

PREÇOS do Tableau. Tableau. Disponível em: <https://www.tableau.com/pt-br/pricing/teams-orgs>

SANTOS, Tiago Pereira dos Santos. O estudo do estado da arte dos procedimentos de termografia na manutenção dos sistemas elétricos. 2017. 94 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, 2017.

SOUZA, Luís Felipe dos Santos. Relatório de manutenção preventiva mensal. 2023 Disponível em:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYjYzMjVhYTgtZGI0Ny00ZDU3LTkyMmUtY2E2YzU2MzE0YzQzIiwidCI6IjU2YTM0NGQxLWQwYjktNDFhZi04YzQyLTg1MTczNGEzNmUxZSJ9&pageName=ReportSection3ef777c6e15f12349dd0>

TOMAZI, Kamila Oswski. Análise comparativa de diferentes subestações de alta tensão: tecnologia convencional, híbrida e gis abrigada. 2021. 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

TURBAN, Efraim et al. Business intelligence: um enfoque gerencial para a inteligência do negócio. Bookman Editora, 2009.

YU, Ruiling; ASIF IKBAL, Mohammad; RAHMAN, Abdul. Improvement of substation monitoring aimed to improve its efficiency with the help of big data analysis. Journal of Intelligent Systems, v. 30, n. 1, p. 499-510, 2021.