



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

André Gil de Oliveira

Desenvolvimento de programa em Python para análise de qualidade de energia elétrica: análise direcionada pelos procedimentos de rede do ONS

Florianópolis
2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Oliveira, André Gil de

Desenvolvimento de programa em Python para análise de qualidade de energia elétrica : análise direcionada pelos procedimentos de rede do ONS / André Gil de Oliveira ; orientador, Cristian Franzoi Mazzola, 2024.

72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica. 2. Qualidade de Energia. 3. Procedimentos de Rede. 4. Desenvolvimento Python. 5. Application Programming Interface. I. Mazzola, Cristian Franzoi. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

André Gil de Oliveira

Desenvolvimento de programa em Python para análise de qualidade de energia elétrica: análise direcionada pelos procedimentos de rede do ONS

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.
Orientador: Eng. Cristian Franzoi Mazzola, MSc.

Florianópolis
2024

André Gil de Oliveira

Desenvolvimento de programa em Python para análise de qualidade de energia elétrica: análise direcionada pelos procedimentos de rede do ONS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Elétrica” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

Florianópolis, 15 de agosto de 2024.

Prof. Miguel Moreto, Dr.
Coordenador do Curso de Graduação em
Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

Eng. Cristian Franzoi Mazzola, MSc.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Renato Lucas Pacheco, PhD.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Mauricio V. Ferreira da Luz, Dr.
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho a todos aqueles que me ajudaram em
minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus amigos Miguel, Daniel, Mateus Carvalho, Matheus Wagner, Vitor Hugo e outros pelo companheirismo durante todo o curso. Sem eles o caminho teria sido muito mais difícil e a desistência muito mais cobiçável.

Aos meus familiares pelo apoio ao longo dos anos, por acreditarem em mim e incentivarem meu crescimento.

Aos diversos professores da UFSC, que fizeram mais do que o necessário para formar os melhores profissionais. Eles conseguiram cumprir seu papel independente da situação do mundo, como a pandemia mostrou.

Aos meus colegas na Way2, que me ensinaram tanto em tão pouco tempo sobre o mercado de energia, sobre o que é ser um profissional e muito mais. Ainda, agradeço imensamente pelos recursos usados no desenvolvimento deste trabalho, que permitiram a conclusão desta importante etapa na minha vida.

“Os homens fazem sua própria história, mas não a fazem como querem; não a fazem sob circunstâncias de sua escolha e sim sob aquelas com que se defrontam diretamente, legadas e transmitidas pelo passado”
(Karl Marx, "O 18 de Brumário de Luís Bonaparte", 1852)

RESUMO

O objetivo deste trabalho é desenvolver e implementar um programa escrito em linguagem *Python* que faça a análise de qualidade de unidades de geração centralizada, baseando-se nos requisitos e regulamentos estabelecidos nos módulos relacionados à qualidade da energia elétrica dos Procedimentos de Rede do Operador Nacional do Sistema. O programa atende à demanda de disponibilização de dados de qualidade da energia na execução das campanhas de medição de tensão. A fundamentação teórica apresentada aborda os requisitos técnicos para a medição adequada, as grandezas aferidas e sua importância para o funcionamento do Sistema Interligado Nacional. As etapas de desenvolvimento do programa são explicadas e discutidas em conjunto com os testes realizados, utilizando dados de uma usina fictícia para validar o bom funcionamento do programa e sua conformidade com as normas vigentes. Em conclusão, o programa cumpriu sua funcionalidade, garantindo maior eficiência e confiabilidade na análise da qualidade de energia, e poderá ser aplicado em casos reais futuros.

Palavras-chave: Qualidade de Energia. Procedimentos de Rede. Desenvolvimento Python. *Application Programming Interface*.

ABSTRACT

The aim of this paper is to describe the development of a program written in Python that analyzes the power quality of centralized power generators, focusing on the requirements and regulations proposed in the modules related to power quality of the Network Procedures of the National Electricity System Operator. This program meets the demand for power quality data during voltage measurement campaigns. A theoretical foundation is presented on the technical requirements for proper measurement, which quantities are measured and their importance for the operation of the National Interconnected System. Regarding the program, the development stages are explained and discussed together with the tests carried out using data from a fictional power plant to validate the program's proper functioning and its compliance with current regulations. In conclusion, the program successfully fulfilled its function, ensuring greater efficiency and reliability in power quality analysis and could be applied in real cases in the future.

Keywords: Power Quality. Grid Procedures. Python development. Application Programming Interface.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelo organizacional do sistema elétrico brasileiro.	29
Figura 2 – Fluxograma de funcionamento do programa.	43
Figura 3 – Comparação entre os formatos de dados JSON e XML.	45
Figura 4 – Exemplo de requisição feita na API do PIM.	46
Figura 5 – Formato padrão do arquivo <i>.json</i> inicialmente gerado.	47
Figura 6 – Exemplo da aplicação da função de pivotamento.	49
Figura 7 – Exemplo de aba oito preenchida pelo programa.	50
Figura 8 – Exemplo de aba nove preenchida pelo programa.	50
Figura 9 – Exemplo de aba dez preenchida pelo programa.	51
Figura 10 – Interface de usuário indicando o resultado da análise dos dados.	51
Figura 11 – Interface inicial do programa.	52
Figura 12 – Interface de usuário indicando o resultado da análise dos dados.	52
Figura 13 – Lista de medidores permitidos pelo ONS a participar de campanhas de medição.	61
Figura 14 – Primeira aba da planilha modelo do ONS.	63
Figura 15 – Segunda aba da planilha modelo do ONS.	63
Figura 16 – Terceira aba da planilha modelo do ONS.	64
Figura 17 – Quarta aba da planilha modelo do ONS.	64
Figura 18 – Quinta aba da planilha modelo do ONS.	65
Figura 19 – Sexta aba da planilha modelo do ONS.	65
Figura 20 – Sétima aba da planilha modelo do ONS.	66
Figura 21 – Oitava aba da planilha modelo do ONS.	66
Figura 22 – Nona aba da planilha modelo do ONS.	67
Figura 23 – Décima aba da planilha modelo do ONS.	68
Figura 24 – Parte 1 do Quadro de Módulos e Submódulos dos Procedimentos de Rede.	69
Figura 25 – Parte 2 do Quadro de Módulos e Submódulos dos Procedimentos de Rede.	70
Figura 26 – Parte 3 do Quadro de Módulos e Submódulos dos Procedimentos de Rede.	71
Figura 27 – Parte 4 do Quadro de Módulos e Submódulos dos Procedimentos de Rede.	72
Figura 28 – Parte 5 do Quadro de Módulos e Submódulos dos Procedimentos de Rede.	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Limites globais inferiores para os indicadores DTHT95% e DTHI95%.	38
Quadro 2 – Limites globais superiores para os indicadores DTHT95% e DTHI95%.	39
Quadro 3 – Limites individuais para os indicadores DTHT95% e DTHI95%.	39
Quadro 4 – Limites globais para os indicadores de flutuação de tensão.	40
Quadro 5 – Fatores de transferência em função da tensão do barramento.	41
Quadro 6 – <i>dataframe</i> do arquivo <i>.json</i> inicial.	48
Quadro 7 – Tempos de funcionamento em segundos do programa por etapa e por execução.	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulado
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo
API	<i>Application Programming Interface</i>
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CSV	<i>Comma-Separated Values</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
MPO	Manual de Procedimentos da Operação
ONS	Operador Nacional do Sistema
PAC	Ponto de Acoplamento Comum
PIM	Plataforma Integrada de Medição
PLD	Preço de Liquidação de Diferenças
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
VPN	<i>Virtual Private Network</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	MOTIVAÇÃO	26
1.2	OBJETIVOS	26
1.2.1	Objetivos metodológicos	27
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	27
2	ESTRUTURA E NORMATIZAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO	29
2.1	INSTITUIÇÕES DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO E SUAS COMPE- TÊNCIAS	29
2.1.1	Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)	30
2.1.2	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE)	30
2.1.3	Empresa de Pesquisa Energética (EPE)	30
2.1.4	Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)	30
2.1.5	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)	30
2.1.6	Agentes de Distribuição, Transmissão, Geração e Comercialização de Energia	31
2.1.7	Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)	31
2.2	PROCEDIMENTOS DE REDE	31
3	CAMPANHAS DE MEDIÇÃO	33
3.1	PLANILHA DE RESULTADOS DA CAMPANHA DE MEDIÇÃO	33
3.1.0.1	Quantis de Medição	35
3.2	MEDIDORES DE ENERGIA	36
3.3	AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DA CAMPANHA DE MEDIÇÃO DE TENSÃO	36
3.4	GRANDEZAS DE QEE DAS CAMPANHAS DE MEDIÇÃO	37
3.4.1	Harmônicas de tensão	37
3.4.2	Flutuação de tensão	39
3.4.3	Desequilíbrio de tensão	41
4	DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA	43
4.1	PARÂMETROS DE ENTRADA	44
4.2	O PIM - PLATAFORMA INTEGRADA DE MEDIÇÃO	44
4.2.1	API	45
4.3	AQUISIÇÃO DOS DADOS	46
4.4	TRANSFORMAÇÃO DOS DADOS	48
4.5	GERAÇÃO DO ARQUIVO EXCEL	49
4.6	ANÁLISE DOS DADOS	51
4.7	INTERFACE GRÁFICA	52

5	VALIDAÇÃO DO PROGRAMA	53
5.1	CENÁRIO DE TESTE	53
5.2	DESEMPENHO DO PROGRAMA	53
6	CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .	55
	REFERÊNCIAS	57
	ANEXO A – LISTA DE MEDIDORES HOMOLOGADOS PELO	
	ONS PARA CAMPANHAS DE MEDIÇÃO	61
	ANEXO B – IMAGENS DAS ABAS DA PLANILHA MODELO	
	DO ONS	63
	ANEXO C – QUADRO DE MÓDULOS E SUBMÓDULOS DOS	
	PROCEDIMENTOS DE REDE	69

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o mundo como um todo está passando por um período de transição energética, onde tecnologias de geração de energia elétrica por meio de fontes renováveis estão em ascensão, enquanto que as fontes não renováveis estão começando a ser desconsideradas em projetos de expansão de geração em países desenvolvidos, em sua maioria (DONG *et al.*, 2022). Esse fenômeno de mudança está sendo impulsionado principalmente pela emergência climática que paira o cenário mundial e que está cada vez mais presente no cotidiano das populações pelo mundo, seja por secas mais severas que o normal, episódios de chuvas torrenciais fora de época ou outros fenômenos climáticos.

O Brasil possui hoje uma matriz energética predominantemente renovável, contando com a maior parte de sua geração proveniente de fontes hidroelétricas (GALBIATTI-SILVEIRA, 2018). Contudo, isso não impediu o rápido crescimento de outras fontes renováveis de energia, como a energia eólica e a solar. Essas duas novas fontes diferem das tradicionalmente utilizadas no país pela sua disponibilidade e previsibilidade. Uma usina solar gera energia apenas de dia e fica à mercê de fenômenos climáticos favoráveis. Enquanto isso, usinas eólicas têm capacidade de funcionamento a qualquer hora do dia, dependendo da disponibilidade e da velocidade do vento na região. Uma das consequências do aumento da presença destas novas fontes de energia dentro do Sistema Interligado Nacional (SIN) é a necessidade de um maior controle sobre a rede e de um monitoramento contínuo sobre a geração de energia de cada ponto do país. Historicamente, foi necessário monitorar as características do SIN para garantir a continuidade do abastecimento de energia. Porém, está cada vez mais imperativo monitorar pontos estratégicos do SIN, assim como prever o comportamento da rede com o acoplamento de novos geradores à rede básica.

O órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração/transmissão e pela otimização da operação do sistema eletroenergético do SIN é o Operador Nacional do Sistema (ONS) (UNIÃO, 1998). Criado em 1998, o ONS atua em diversas frentes conjuntamente com entidades públicas e privadas dos setores de geração, transmissão, distribuição e consumidores de energia no Brasil. Para ordenar e regulamentar as diversas tarefas de cada agente do setor de energia, foram criados pelo ONS os Procedimentos de Rede, um conjunto de normas e diretrizes que versam desde o relacionamento entre os agentes do setor, até indicadores de desempenho relacionados à segurança elétrica do SIN.

Neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) são abordados os seguintes aspectos: a Qualidade de Energia Elétrica (QEE) conforme descrito nos Procedimentos de Rede; os desafios impostos aos geradores na regulamentação de novos empreendimentos de geração de energia; e o desenvolvimento de um programa para solucionar tais desafios.

1.1 MOTIVAÇÃO

Para que novos empreendimentos de geração de energia eólica ou solar possam regularizar seu funcionamento perante o ONS, é necessário o envio de dados de medição de QEE. Essa necessidade de envio de dados está descrita dentro dos Procedimentos de Rede e adota o nome de "Campanhas de Medição". Caso os dados enviados contenham indicadores de que a qualidade de energia elétrica no Ponto de Acoplamento Comum (PAC) esteja fora dos limites definidos nos procedimentos de rede, o agente gerador deverá aplicar medidas corretivas para adequar os indicadores de QEE no ponto que conecta o agente gerador ao agente transmissor de energia.

A tarefa de envio dos dados é de responsabilidade dos geradores de energia e os dados precisam satisfazer os requisitos descritos nos Procedimentos de Rede para que sejam aceitos formalmente. Entre os requisitos estão: incluir os números de série do medidor e dos transformadores de corrente/tensão utilizados, identificar a usina em questão e usar o modelo de relatório fornecido pelo ONS. Esses e outros requisitos são detalhados no Capítulo 2. Atualmente, o processo de criação do relatório de indicadores de QEE pode ser feito usando uma planilha automatizada do Excel[®]. Contudo, esse método requisita cerca de oito minutos para ser executado, o que é considerado um tempo relativamente longo. Existe também a possibilidade de criar o relatório manualmente, mas, dessa forma, é preciso extrair os dados da *internet* usando arquivos secundários, o que pode acarretar um aumento no esforço operacional.

Diante da necessidade de coleta, armazenamento e transmissão dos dados de QEE por empresas no setor de energia, surge a Way2. Para criar o relatório, são necessárias 157 grandezas, cada uma com 1008 registros de medição associados a diferentes carimbos de data e hora, totalizando 158.256 registros de medição por relatório. Além disso, alguns geradores de energia têm mais de um PAC sob sua responsabilidade, o que exige a geração de múltiplos relatórios de QEE. Com isso, os agentes do setor elétrico são atendidos em diversas frentes, principalmente na conformidade das operações dos agentes de acordo com as regulações vigentes.

Uma das atribuições do autor deste TCC na Way2 é a geração dos relatórios de QEE para os agentes geradores. Portanto, a fim de agilizar e simplificar sua rotina de trabalho, foi idealizado pelo autor um programa computacional capaz de gerar as planilhas de forma mais automatizada e veloz do que a planilha do Excel[®].

1.2 OBJETIVOS

O Objetivo principal deste trabalho é desenvolver um programa para automatizar a extração e análise de dados de qualidade de energia elétrica de agentes geradores em relação às normas vigentes. Assim, é esperado que se obtenha uma maior eficiência na confecção dos relatórios de QEE, exigidos pelo ONS para se averiguar a conformidade de

determinados pontos de conexão com o SIN.

1.2.1 Objetivos metodológicos

Os objetivos metodológicos deste trabalho são:

1. Realizar uma revisão bibliográfica sobre o tema e apresentar o modelo organizacional do sistema elétrico brasileiro, bem como situar neste contexto os aspectos principais dos Procedimentos de Rede adotados pelo ONS e as exigências impostas para a criação dos relatórios de QEE;
2. Desenvolver e implementar um programa computacional para automatizar o processo de geração dos relatórios de QEE das campanhas de medição;
3. Validar o programa computacional implementado.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho divide-se nos seguintes capítulos:

Capítulo 1: Breve introdução sobre o TCC e seus objetivos.

Capítulo 2: Revisão da estrutura organizacional do sistema elétrico brasileiro e dos Procedimentos de Rede.

Capítulo 3: Revisão das campanhas de medição de tensão, grandezas de qualidade de energia elétrica e da planilha padrão do ONS.

Capítulo 4: Desenvolvimento do programa em *Python*.

Capítulo 5: Validação do programa desenvolvido.

Capítulo 6: Conclusão do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

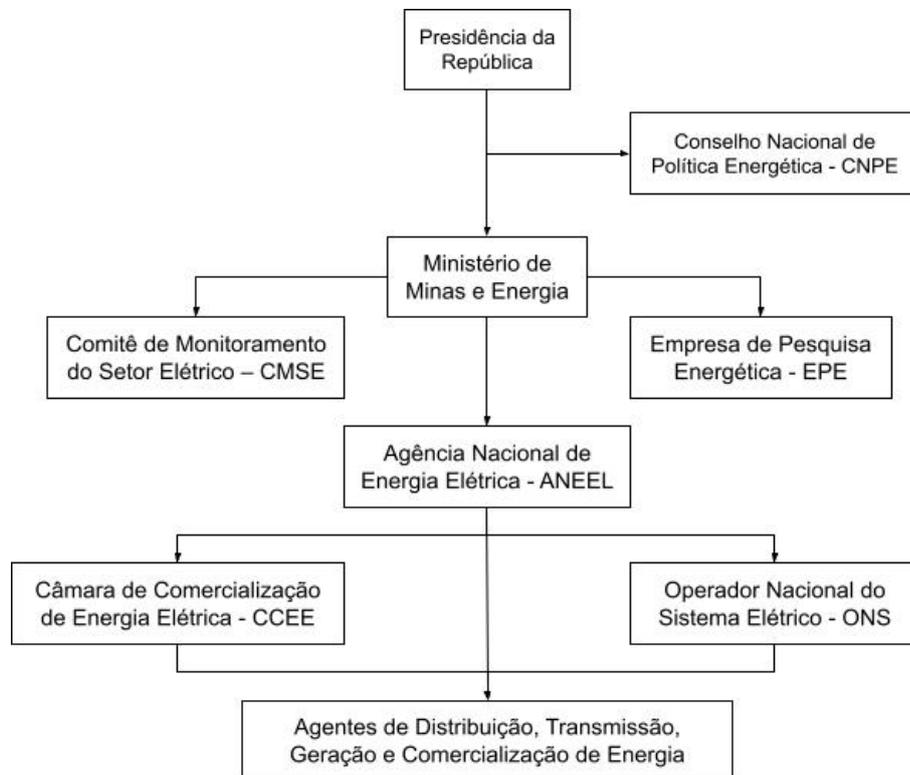
2 ESTRUTURA E NORMATIZAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

Neste capítulo, discorre-se acerca do sistema elétrico brasileiro e das entidades envolvidas em sua operação, desenvolvimento, regulamentação e normatização.

2.1 INSTITUIÇÕES DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO E SUAS COMPETÊNCIAS

O modelo organizacional do sistema elétrico brasileiro é estruturado conforme mostra a Figura 1. Observa-se que a Presidência da República é a entidade suprema, seguida pelo Ministério de Minas e Energia (MME), que também é um órgão de estado. Ambas as entidades possuem obrigações e atribuições ligadas ao SIN, com um enfoque mais político do que técnico. Por outro lado, as demais instituições possuem atribuições mais técnicas e estão ligadas diretamente ao sistema elétrico brasileiro. São elas: Conselho Nacional de Política Energética (CNPE); Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE); Empresa de Pesquisa Energética (EPE); Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE); Agentes de Distribuição, Transmissão, Geração e Comercialização de Energia; Operador Nacional do Sistema (ONS).

Figura 1 – Modelo organizacional do sistema elétrico brasileiro.



Fonte: elaborado pelo autor.

2.1.1 Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)

O CNPE tem a responsabilidade de auxiliar a Presidência da República nas seguintes tarefas: formulação de diretrizes e planejamentos que visem promover o uso devido dos recursos energéticos do Brasil; assegurar o suprimento dos insumos energéticos dentro do território brasileiro; monitorar as matrizes energéticas nas regiões do país; definir a metodologia a ser seguida em políticas de integração do SIN às redes eletro energéticas de países vizinhos e outras correlatas. O CNPE é composto por ministros de estado (como o Ministro de Minas e Energia), representantes das unidades federativas e representantes da sociedade civil (UNIÃO, 2000).

2.1.2 Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE)

O CMSE tem por objetivo o monitoramento da continuidade e a segurança do suprimento eletro energético dentro do Brasil e é responsável por acompanhar os níveis de abastecimento dentro do mercado de energia elétrica, gás natural e petróleo e seus derivados. O CMSE é composto por representantes do MME, ANEEL, Agência Nacional do Petróleo (ANP), CCEE, EPE e ONS (UNIÃO, 2004b).

2.1.3 Empresa de Pesquisa Energética (EPE)

A EPE é uma instituição vinculada ao Ministério de Minas e Energia que foi criada com as seguintes finalidades: realizar estudos ligados ao setor energético; identificar os potenciais energéticos dentro do Brasil e dar suporte ao MME na formulação de políticas públicas ligadas ao setor energético (UNIÃO, 2004d). Hoje, a EPE possui um papel muito importante na pesquisa em sistemas de potência no Brasil e serve como uma fonte de dados para o governo brasileiro.

2.1.4 Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)

A ANEEL é uma entidade que responde diretamente ao MME e tem como objetivo principal a regulação e fiscalização da geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no Brasil (UNIÃO, 1996).

2.1.5 Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)

A CCEE é uma entidade jurídica privada sem fins lucrativos que está subordinada e regulamentada pela ANEEL. Suas funções são as seguintes: promover a comercialização de energia no Brasil; manter registros dos contratos de energia dentro do Ambiente de Contratação Livre (ACL) e do Ambiente de Contratação Regulado (ACR); fazer a apuração do Preço de Liquidação de Diferenças (PLD) para os submercados de energia e outras funções correlatas (UNIÃO, 2004c).

2.1.6 Agentes de Distribuição, Transmissão, Geração e Comercialização de Energia

Os agentes do setor elétrico são as entidades responsáveis por prestar os serviços ligados à energia elétrica. As distribuidoras ficam responsáveis por fazer a distribuição da energia elétrica, principalmente nos centros urbanos e rurais do Brasil, em níveis de média e baixa tensão. Os geradores transformam as energias solar, térmica, nuclear e potencial gravitacional em energia elétrica usando diferentes métodos. A usina de Itaipu é um exemplo de usina hidrelétrica. Ainda, existem as transmissoras de energia, responsáveis por fazer a ligação entre os pontos de geração e os pontos de distribuição. Isso é feito geralmente em altos níveis de tensão. Uma empresa classificada como transmissora de energia é a Taesa. Por fim, existem as comercializadoras de energia elétrica, que auxiliam os consumidores a contratarem os serviços de fornecimento de energia disponíveis no mercado. Um representante do setor de comercialização é a Auren.

2.1.7 Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS)

Assim como a CCEE, o ONS também é uma pessoa jurídica privada sem fins lucrativos que está subordinada a ANEEL. Suas duas principais funções são: coordenar e controlar a geração e transmissão de energia dentro do SIN e prever a carga exercida dentro do sistema elétrico. Ainda, são também responsabilidades do ONS: planejar a operação dos sistemas elétricos isolados dentro do Brasil; a contratação e gestão dos sistemas de distribuição de energia e a proposição de regras para a operação de instalações de transmissão da Rede Básica do SIN por meio dos Procedimentos de Rede (UNIÃO, 2004a).

2.2 PROCEDIMENTOS DE REDE

Os Procedimentos de Rede são um conjunto de normatizações propostas pelo ONS para coordenar e controlar a geração e a transmissão de energia elétrica no Brasil. Estas normas determinam os indicadores de QEE que devem ser mensurados pelos agentes geradores e ditam os procedimentos que devem ser adotados pelos agentes geradores e transmissores a fim de garantir a estabilidade do SIN. Em dezembro de 2020, os Procedimentos de Rede sofreram uma alteração na sua estrutura. Anteriormente, ele era composto por 25 módulos. Cada um desses módulos versava sobre assuntos específicos, como: requisitos de operação mínimos para linhas de transmissão; planejamento da operação elétrica com horizonte quadrimestral; estudos para segurança operacional elétrica; coleta de dados de medição para faturamento e outros. Hoje, dentro da nova estrutura, os Procedimentos de Rede estão organizados em nove módulos e cada módulo possui submódulos. Além disso, foi estabelecido um sistema de classificação dos documentos que compõem os módulos dos Procedimentos de Rede. Cada documento pode ser classificado como um dos seguintes tipos: Definição, Critérios, Requisitos, Responsabilidades, Procedimental, Metodologia,

Indicadores, Operacional e Manual de Procedimentos da Operação (MPO). Essa classificação busca distinguir a finalidade de cada documento, ou seja, se um documento existe para apresentar procedimentos operacionais sobre determinado assunto ou se ele existe para determinar as responsabilidades sobre algum agente do sistema elétrico. Além disso, essa classificação ajuda a dividir a responsabilidade sobre a aprovação de modificações nos documentos. Fica a cargo do ONS aprovar modificações nos documentos do tipo Operacional e MPO. Por outro lado, a ANEEL se responsabiliza pelos outros tipos. No Anexo C estão listados todos os módulos, submódulos, nomes dos submódulos dos Procedimentos de Rede, os tipos de documentos existentes em cada submódulo e a entidade responsável pelo documento.

Um dos assuntos abordados dentro dos Procedimentos de Rede é a qualidade da energia elétrica. O tema de QEE está presente principalmente nos módulos 2 (Critérios e Requisitos), 6 (Avaliação da Operação), 7 (Integração de Instalações) e 9 (Indicadores). Esses módulos descrevem o principal conceito que define o objetivo deste trabalho, que é a campanha de medição de tensão. Ainda, eles tratam sobre: os tipos de grandezas elétricas de QEE presentes nas campanhas de medição; os tipos de medidores de energia elétrica que podem ser usados para medir as grandezas de QEE; os indicadores de desempenho de QEE e como as instalações geradores de energia serão avaliadas por meio das campanhas de medição. Tais conceitos são abordados com maior ênfase no próximo capítulo.

3 CAMPANHAS DE MEDIÇÃO

Para que um novo empreendimento de geração de energia seja conectado ao SIN, procedimentos devem ser seguidos. O ONS lista nos Procedimentos de Rede os procedimentos e as exigências que os geradores devem cumprir. Um desses procedimentos é a campanha de medição de tensão.

A campanha de medição de tensão é descrita em várias partes dos Procedimentos de Rede e tem a finalidade de fornecer ao ONS os dados de medição de QEE que foram medidos no PAC entre o gerador e o transmissor de energia. Isso porque, com a inserção de elementos não lineares na rede elétrica, é preciso assegurar o manutenção dos padrões aceitáveis de operação do SIN quanto aos indicadores de QEE. Portanto, os Procedimentos de Rede listam os passos para que sejam realizadas tais campanhas de medição e como avaliar a conformidade do parque gerador em relação aos indicadores de QEE.

As campanhas de medição devem ocorrer antes e após o acoplamento do empreendimento ao SIN por meio do PAC. Cada campanha tem duração de sete dias consecutivos. Dentro deste período, são necessárias 1008 medições espaçadas em dez minutos. Isso se aplica para cada uma das 157 grandezas presentes nas campanhas de medição. Existem 150 grandezas harmônicas, seis grandezas de flutuação de tensão e uma grandeza de desequilíbrio de tensão. No caso de usinas solares e eólicas, pode ser necessário prolongar o período de tais campanhas, pois seu regime de geração intermitente pode mascarar os possíveis impactos de seu acoplamento ao sistema (ONS, 2022).

As grandezas a serem medidas durante as campanhas de medição são as distorções harmônicas, flutuações de tensão e o desequilíbrio de tensão. Tais medições precisam ser organizadas e colocadas dentro de uma planilha do Excel[®] padronizada pelo ONS e enviadas para o ONS. Caso os indicadores de QEE, que são calculados por meio das medições, estejam dentro dos limites impostos pela norma, o empreendimento receberá um parecer positivo para seguir com o seu funcionamento. Caso os indicadores mostrem alguma anormalidade, pode ser solicitado um monitoramento contínuo do PAC do empreendimento, ou seja, mais campanhas de medição deverão ser realizadas. Em casos graves de inconformidade, medidas corretivas são adotadas, como a inserção de bancos de capacitores, por exemplo.

3.1 PLANILHA DE RESULTADOS DA CAMPANHA DE MEDIÇÃO

A forma como os dados de medição devem ser repassados ao ONS é por meio de uma planilha modelo feita no Excel[®], que é fornecida pelo próprio ONS. No Anexo B é apresentado o *layout* das abas de uma planilha modelo do ONS. A planilha possui dez abas, conforme listado a seguir:

1. Introdução: apresenta instruções gerais sobre o propósito da planilha e instruções

sobre seu uso.

2. Gerais: esta aba elenca informações cadastrais sobre a campanha de medição que precisam ser preenchidas pelo agente gerador. As informações são: data e hora de início e fim da campanha de medição; código identificador do agente gerador dentro dos sistemas do ONS; código identificador da subestação a qual o empreendimento gerador está conectado; identificador da pessoa responsável pela planilha; por fim existe um campo de descrição que pode ser preenchido livremente com alguma informação complementar.
3. Cadastro medidor: nesta aba precisam ser adicionadas as informações sobre os medidores de energia utilizados na aquisição dos dados de QEE. Cada tipo de grandeza (harmônicas de tensão, flutuação de tensão e desequilíbrio de tensão) pode ser medido usando um medidor para cada ou o mesmo medidor. As informações requisitadas são: nome do fabricante do medidor; tipo do medidor; modelo do medidor; número de série do medidor e código identificador do medidor.
4. Cadastro transdutor: de forma similar à terceira aba, a quarta aba exige o preenchimento de dados cadastrais dos transdutores utilizados nas medições, como: nome do fabricante do medidor; tipo do medidor; modelo do medidor; número de série do medidor e código identificador do medidor.
5. Des Estat: nesta aba é apresentado o único indicador de desequilíbrio de tensão que foi calculado usando os dados inseridos na oitava aba.
6. Flu Estat: nesta aba são apresentados os seis indicadores de flutuação de tensão, que foram calculados usando os dados inseridos na nona aba.
7. Har Estat: nesta aba são apresentados os 150 indicadores de harmônicas de tensão, que foram calculados usando os dados inseridos na nona aba.
8. Deseq: a oitava aba possui uma tabela com duas colunas que devem ser preenchidas. A primeira coluna representa os carimbos de tempo (do inglês *timestamp*) e a segunda representa as medições feitas para a grandeza de desequilíbrio de tensão. Sendo assim, cada uma das 1008 linhas da tabela é composta por uma medição e o momento designado para esta medição. Após as 1008 linhas de medições, começam as linhas de cálculos dos indicadores. Para cada um dos sete dias de medição, existe o cálculo do indicador correspondente para este dia. Ainda, existe uma última linha que realiza o cálculo usando como base os outros sete valores calculados de cada dia. Isso totaliza oito linhas de cálculo de indicadores para uma grandeza.
9. Flutu: de forma muito similar a aba anterior, na nona aba também existe a coluna de carimbo de data e as oito linhas de cálculo de indicadores. Porém, nesta aba são

inseridas as medições das seis grandezas de medição de tensão. O que significa que se tem uma coluna para cada uma das grandezas, totalizando sete colunas. Ainda, como existem seis grandezas a serem preenchidas, também existem seis indicadores que são calculados nesta aba.

10. Harmo: na décima e última aba devem ser inseridos os dados de medição das 150 grandezas de harmônicas de tensão. De forma similar à aba anterior, existe aqui também uma coluna de carimbo de tempo e as oito linhas de cálculo de indicadores. Porém, nesta aba existem ainda 150 colunas de grandezas de medição.

3.1.0.1 Quantis de Medição

A planilha realiza um cálculo sobre os dados de medição para obter o indicador respectivo de cada grandeza. Esse cálculo é feito utilizando quantis. Quantis são uma medida estatística que segmenta um conjunto de dados em intervalos contínuos com igual frequência. Em outras palavras, um quantil é um valor que divide os dados em partes equivalentes. A mediana também é uma medida estatística e pode ser interpretada como um quantil. No caso da mediana, procura-se determinar um valor que divida o seu conjunto de dados em duas partes com iguais quantidades. Ou seja, determina-se um valor que vai dividir 50% dos seus dados abaixo desse valor e os outros 50% estarão acima desse valor (LANGFORD, 2006). O cálculo dos indicadores realizado dentro das abas da planilha é muito parecido com a mediana, porém o cálculo na planilha busca dividir os dados de um dia de medição em dois grupos com tamanhos diferentes. O primeiro grupo contém 95% das medições e o outro contém 5% das medições.

O cálculo do quantil de 95% de um dia de medição é realizado da seguinte maneira: primeiro, deve-se ordenar a série de 144 medições da grandeza em ordem crescente; então determina-se o índice i que dividirá os dados em duas partes. O cálculo de i está descrito em (1), onde n_s é a quantidade de medições que foram ordenadas e k é a porcentagem do quantil desejado (LANGFORD, 2006):

$$i = (n_s - 1)k + 1 \quad (1)$$

Ao se utilizar os valores $n_s = 144$ e $k = 0,95$ em (1), determina-se $i = 136,85$. Isso está demonstrado em (2):

$$i = (144 - 1)0,95 + 1 = 136,85 \quad (2)$$

Como o valor de i não é um número inteiro, entende-se que o quantil não será exatamente igual a nenhum dos dados ordenados. Por exemplo, caso o i fosse igual a 135, então o valor do quantil seria igual à medição de ordem 135, o que não é o caso aqui. O índice i é um número decimal, logo é necessário achar um número q entre dois índices da série de dados ordenados. Isso é feito por meio de uma interpolação linear, descrita em (3),

onde s_j é o índice inteiro imediatamente abaixo do valor i , o termo s_{j+1} é o índice inteiro imediatamente acima do valor i , o termo d_i é a parte decimal do valor i e q é o quantil.

$$q = s_j + d_i (s_{j+1} - s_j) \quad (3)$$

Como $i = 136,85$, pode-se determinar (4), onde s_{136} é o 136º valor da série ordenada, s_{137} é o 137º valor da série ordenada e $d_i = 0,85$.

$$q = s_{136} + 0,85 (s_{137} - s_{136}) \quad (4)$$

O quantil de 95% deve ser determinado para todas as grandezas (com exceção da cintilação de longa duração, conforme será explicado na Seção 3.4.2) e para todos os dias completos de medição, totalizando sete quantis calculados por grandeza. Depois, determina-se o maior quantil para cada grandeza no período de sete dias. Com isso, obtêm-se os indicadores de cada grandeza.

3.2 MEDIDORES DE ENERGIA

As grandezas de interesse para a campanha de medição são: harmônicas de tensão, flutuação de tensão e desequilíbrio de tensão. Serão determinadas seguindo o mesmo método padronizado nas normas técnicas referenciadas dentro dos Procedimentos de Rede, como a (IEC, 2021). Além disso, os medidores usados nas campanhas de medição precisam ter uma certificação emitida por um laboratório credenciado junto ao Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO). O ONS possui uma lista de modelos de medidores com permissão para participar de campanhas de medição (ONS, 2017). Tal lista encontra-se no Anexo A. Ainda, os medidores que já estão sendo usados precisam passar por calibrações a cada dois anos (ONS, 2020a).

3.3 AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DA CAMPANHA DE MEDIÇÃO DE TENSÃO

Para todos os indicadores medidos no PAC, foram estabelecidos nos Procedimentos de Rede os seus limites individuais, globais inferiores e globais superiores. Os limites individuais são direcionados para a avaliação individual dos agentes geradores, transmissores e consumidores. Os limites globais visam avaliar o comportamento do PAC de forma conjunta, tendo em vista a influência de todos os agentes conectados a ele. Sabendo da existência de tais limites, os seguintes cenários podem surgir a partir da avaliação dos indicadores (ONS, 2020a):

Desempenho adequado: os indicadores apurados estão abaixo do limite global inferior.

Desempenho em estado de observação: os indicadores apurados estão entre o limite global inferior e o limite global superior.

Desempenho inadequado: os indicadores apurados estão acima do limite global superior.

Seguindo este critério de classificação, os geradores que estiverem em estado de observação podem precisar realizar mais campanhas de medição a fim de determinar as principais causas da sua não conformidade. Caso o gerador ultrapasse os limites globais superiores, mais campanhas de medição podem ser solicitadas. Além disso, a aplicação de medidas corretivas na rede elétrica também pode ser solicitada.

3.4 GRANDEZAS DE QEE DAS CAMPANHAS DE MEDIÇÃO

Durante as campanhas de medição de qualidade de energia elétrica, são realizadas medições para avaliar o nível de distorção harmônica de tensão, a flutuação de tensão e o desequilíbrio de tensão. Tais parâmetros podem ser impactados por diversos aspectos dentro do SIN e devem ser monitorados em tempo real. No caso de usinas de geração eólica e solar, por exemplo, os seguintes motivos podem causar alterações com maior impacto: o acionamento de conversores de frequência, a comutação de cargas, o uso de inversores e outros (PARREIRAS; SILVA, 2012). Os efeitos negativos dessas distorções podem ser transmitidos pela rede básica e afetar equipamentos e parques industriais, podendo causar a queda na eficiência energética, aquecimentos excessivos em equipamentos e outros problemas.

3.4.1 Harmônicas de tensão

O acompanhamento das distorções harmônicas de tensão é feito nas campanhas de medição de tensão por meio de dois tipos de indicadores: a Distorção de Tensão Harmônica Individual (DTHI) do quantil de 95%, referenciado como DTHI95%; a Distorção de Tensão Harmônica Total (DTHT) do quantil de 95%, referenciado como DTHT95%. Ambos são medidos como uma porcentagem em relação à harmônica fundamental.

Logo, é importante, do ponto de vista da eficiência energética e da segurança das instalações, fazer o controle da quantidade de distorção harmônica que é gerada em parques de geração e repassada para a rede básica.

O indicador DTHI95% avalia a magnitude que uma componente harmônica qualquer de ordem h possui em relação à harmônica fundamental. Esse indicador precisa ser calculado para todas as harmônicas entre a 2ª e a 50ª ordem das três fases. Isso é feito utilizando as 1008 medições da grandeza $DTHI$ das demais 49 componentes harmônicas das três fases. O cálculo da grandeza $DTHI$ está descrito em (5), onde $DTHI_h$ é a distorção de tensão harmônica individual de ordem h , V_h é a amplitude da componente harmônica de ordem h e V_1 é a amplitude da componente harmônica fundamental.

$$DTHI_h = 100 \frac{V_h}{V_1} \quad (5)$$

De posse dos 1008 registros da grandeza $DTHI_h$ para todas as harmônicas das três fases, deve-se então achar o quantil de 95% para cada dia de medição. Por fim, determina-se o $DTHI_{95\%}$ usando o maior valor entre os sete quantis da semana de medição encontrados, como foi explicado na Seção 3.1.0.1.

Para a obtenção dos valores de $DTHT$ são utilizados os valores de $DTHI_h$, conforme mostra (6).

$$DTHT = \sqrt{\sum_{h=2}^{50} DTHI_h^2} \quad (6)$$

Assim com os valores da grandeza $DTHT$ calculados para cada uma das três fases, determina-se o indicador $DTHT_{95\%}$ de maneira análoga ao que foi feito anteriormente, conforme a Seção 3.1.0.1.

Os Quadros 1, 2, e 3 mostram, respectivamente, os limites individuais, globais inferiores e globais superiores para os indicadores $DTHT_{95\%}$ e $DTHI_{95\%}$. Eles exibem valores máximos de indicadores designados para pontos de medição com tensão nominal menor que 69 kV e com tensão nominal maior ou igual a 69 kV. Para os indicadores do tipo $DTHI_{95\%}$, são especificados valores máximos para ordens de harmônicas específicas pares e ímpares.

Quadro 1 – Limites globais inferiores para os indicadores $DTHT_{95\%}$ e $DTHI_{95\%}$.

$V < 69 \text{ kV}$				$V \geq 69 \text{ kV}$			
DTHI, h ímpar		DTHI, h par		DTHI, h ímpar		DTHI, h par	
Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)
3; 5; 7	5%			3; 5 ;7	2%		
		2; 4; 6	2%			2; 4; 6	1%
9; 11; 13	3%			9; 11; 13	1,5%		
		≥ 8	1%			≥ 8	0,5%
15 a 25	2%			15 a 25	1%		
≥ 27	1%			≥ 27	0,5%		
DTHTS95% = 6%				DTHTS95% = 3%			

Fonte: (ONS, 2020a)

Quadro 2 – Limites globais superiores para os indicadores DTHT95% e DTHI95%.

$V < 69 \text{ kV}$				$V \geq 69 \text{ kV}$			
DTHI, h ímpar		DTHI, h par		DTHI, h ímpar		DTHI, h par	
Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)
3; 5; 7	6,67%			3; 5; 7	2,67%		
		2; 4; 6	2,67%			2; 4; 6	1,33%
9; 11; 13	4%			9; 11; 13	2%		
		≥ 8	1,33%			≥ 8	0,67%
15 a 25	2,67%			15 a 25	1,33%		
≥ 27	1,33%			≥ 27	0,67%		
DTHTS95% = 8%				DTHTS95% = 4%			

Fonte: (ONS, 2020a)

Quadro 3 – Limites individuais para os indicadores DTHT95% e DTHI95%.

$13.8 \text{ kV} \leq V < 69 \text{ kV}$				$V \geq 69 \text{ kV}$			
DTHI, h ímpar		DTHI, h par		DTHI, h ímpar		DTHI, h par	
Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)	Ordem	Valor (%)
3 a 25	1,5%			3 a 25	0,6%		
		todos	0,6%			todos	0,3%
≤ 27	0,7%			≤ 27	0,4%		
DTHTS95% = 3%				DTHTS95% = 1,5%			

Fonte: (ONS, 2020a)

3.4.2 Flutuação de tensão

A flutuação de tensão refere-se à variação imprevisível, repetitiva ou ocasional, do valor eficaz da tensão medida. Em geral, as oscilações estão ligadas às manobras na rede, variações bruscas na energia consumida, ou até mesmo à natureza das cargas.

A qualidade da tensão em relação à oscilação é um aspecto que pode impactar, entre outros fatores, na cintilação da iluminação. A cintilação é definida como a variação visual resultante das mudanças no fluxo luminoso das lâmpadas, causadas pelas flutuações na tensão de alimentação (ONS, 2020b). A gravidade da cintilação é uma medida do desconforto visual percebido pelas pessoas expostas a esse fenômeno.

Os níveis de gravidade da cintilação são quantificados pelas grandezas P_{st} (Severidade de Cintilação de Curta Duração) e P_{lt} (Severidade de Cintilação de Longa Duração).

A grandeza P_{st} é calculada, segundo norma técnica (IEC, 2010), por meio de (7). Nela, P_{st} é a grandeza de Severidade de Cintilação de Curta Duração e P_i é o nível de sensação de cintilação ultrapassada em $i\%$ do tempo.

$$P_{st} = \sqrt{0,0314P_{0,1} + 0,0525P_1 + 0,0657P_3 + 0,28P_{10} + 0,08P_{50}} \quad (7)$$

Utilizando os valores de P_{st} que foram medidos para as três fases num período de sete dias, calcula-se o indicador Pst95% usando o método descrito na Seção 3.1.0.1. Ou seja, determina-se o quantil de 95% para cada um dos sete dias de medição e depois determina-se o maior valor entre os sete quantis calculados.

A grandeza P_{lt} exprime a severidade de cintilação num período de duas horas contínuas. Ela deve ser calculada por meio de doze valores de P_{st} consecutivos conforme (8), onde P_{stj} é a cintilação de curta duração de índice j numa sequência contínua de 12 valores de P_{st} calculados.

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} (P_{stj})^3} \quad (8)$$

Para se determinar o indicador Plt95%, deve-se utilizar todos os valores medidos da grandeza P_{lt} . Porém, aqui existe uma diferença em relação ao que foi exposto na Seção 3.1.0.1. Para o indicador Plt95%, é necessário calcular o quantil utilizando-se todos os valores de P_{lt} que foram medidos ao longo dos sete dias da campanha de medição.

O desempenho geral dos indicadores quanto à flutuação de tensão pode ser comparado conforme os limites apresentados no Quadro 4, que estão em função da tensão secundária de distribuição e da atenuação da flutuação de tensão quando esta se propaga para os barramentos da rede secundária de distribuição.

Porém, os limites individuais são determinados por meio de cálculos específicos para cada instalação que contenha equipamentos com características não lineares (ONS, 2020a). O fator de transferência (FT) pode ser determinado por meio da razão entre o Plt95% medido no PAC e o Plt95% medido no barramento da rede secundária, como mostrado em (9).

Quadro 4 – Limites globais para os indicadores de flutuação de tensão.

Limite	Pst95%	Plt95%
Limite individual	0,8 pu/FT	0,6 pu/FT
Limite global inferior	1 pu/FT	0,8 pu/FT
Limite global superior	2 pu/FT	1,6 pu/FT

Fonte: (ONS, 2020a)

$$FT = \frac{Plt95\%_{PAC}}{Plt95\%_{barramento}} \quad (9)$$

Porém, mediante a impossibilidade de determinar o valor exato do FT , é possível utilizar valores pré-definidos, conforme apresentado no Quadro 5.

Quadro 5 – Fatores de transferência em função da tensão do barramento.

Tensão Nominal do barramento	FT
Tensão Nominal ≥ 230 kV	0,65
69 kV \leq Tensão Nominal < 230 kV	0,8
Tensão Nominal < 69 kV	1,0

Fonte: (ONS, 2020a)

3.4.3 Desequilíbrio de tensão

Um sistema trifásico balanceado é constituído de três sinais elétricos com a mesma amplitude de tensão e defasados em 120° entre si. Logo, quando tais requisitos não são satisfeitos, tem-se um sistema trifásico desbalanceado, o que indica um desequilíbrio de tensão. Alguns dos possíveis fatores que ocasionam um desequilíbrio de tensão são a estrutura da rede elétrica e a carga a qual o sistema é submetido (ARÃO, 2014).

Para as campanhas de medição de tensão, a grandeza K de desequilíbrio de tensão medido no PAC exprime a relação percentual entre as componentes de tensão de sequência negativa (V_-) e positiva (V_+) do sistema trifásico. Tal relação é demonstrada por meio de (10).

$$K = \frac{V_-}{V_+} 100 \quad (10)$$

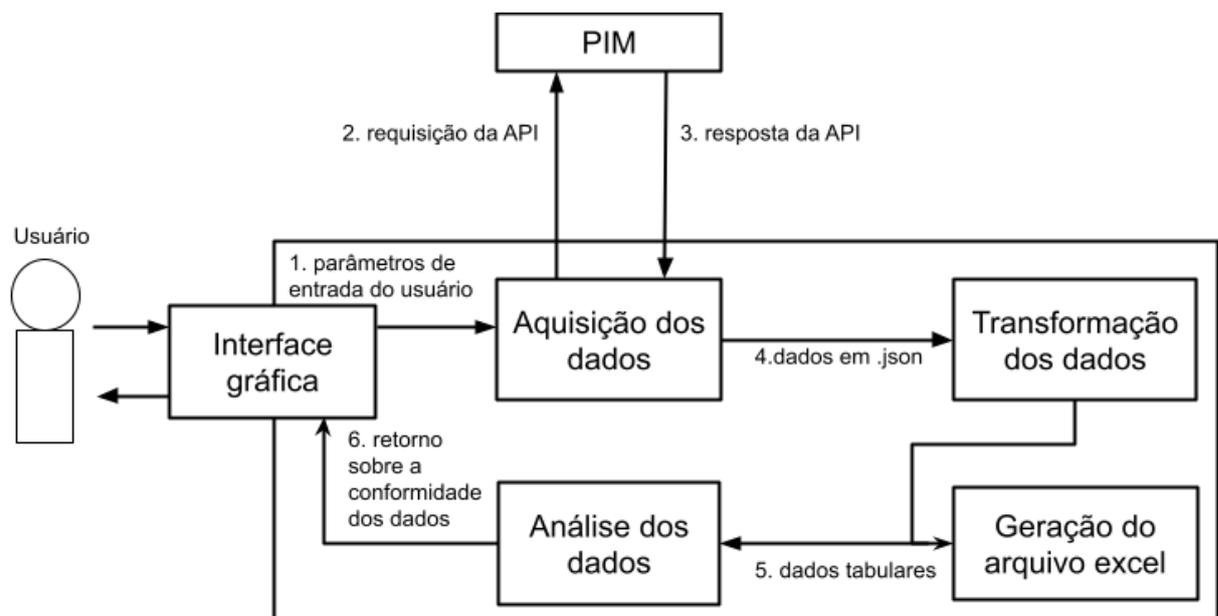
O indicador de desequilíbrio de tensão usado nas campanhas de medição é o $K95\%$, que deve ser calculado usando o procedimento descrito na Seção 3.1.0.1. Logo, determina-se o quantil de 95% para cada um dos sete dias de medições feitas usando os 1008 registros de medição coletados. Depois, determina-se o maior valor entre eles. Diferentemente dos outros indicadores de QEE, o $K95\%$ possui apenas um limite global de 2% e um limite individual de $1,5\%$ (ONS, 2020a).

4 DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

Esse capítulo apresenta o processo de criação do programa desenvolvido em *Python* para gerar e analisar as planilhas com os dados de harmônicas, desequilíbrio e flutuação de tensão. A linguagem de programação *Python* foi escolhida para esta tarefa, pois ela acumula vantagens em sua implementação e uso. Essa linguagem é de alto nível, se aproximando da escrita padrão do inglês, o que torna sua legibilidade muito superior e intuitiva em relação a linguagens de baixo nível, como o *Assembly*. Ainda, é uma das linguagens mais utilizadas hoje no mundo (OVERFLOW, 2024), tendo empregabilidade em áreas da ciência, engenharia e no setor privado. Por conta disso, possui uma comunidade de desenvolvimento ativa espalhada pelo mundo, com aplicações e bibliotecas já criadas e livres para uso por terceiros.

O fluxo de funcionamento proposto para o programa está representado na Figura 2, onde são mostradas as etapas e o caminho de execução do código. O programa inicia seu funcionamento lendo os parâmetros de entrada inseridos pelo usuário por meio da interface gráfica. Depois, é feita a coleta dos dados no local de armazenamento. Após isso, os dados são transformados e usados tanto para gerar a planilha modelo do ONS, quanto para calcular os indicadores de QEE. Por fim, o programa exibe os resultados calculados para o usuário. Cada uma das etapas é descrita com mais detalhes nas próximas seções.

Figura 2 – Fluxograma de funcionamento do programa.



Fonte: elaborado pelo autor.

4.1 PARÂMETROS DE ENTRADA

O programa necessita de quatro parâmetros de entrada que precisam ser fornecidos pelo usuário. São eles:

- *Número de série*: Este parâmetro indica o número de série do medidor escolhido para extrair os dados. Este número é um código alfanumérico de extensão variada que identifica unicamente um medidor dentro do banco de dados da Plataforma Integrada de Medição (PIM).
- *Data de início*: A data de início determina o primeiro dia dos sete dias necessários para coletar dados em uma campanha de medição. Sendo assim, a seleção de uma data neste campo indicará para o programa que se deseja obter os dados de medição do dia selecionado a partir do momento zero horas e dez minutos do mesmo dia. Este campo precisa ser inserido seguindo o formato padrão descrito no documento (ISO, 2019). Um exemplo de data neste formato seria: "2024-05-24", que representa o dia 24 de maio de 2024.
- *Data de fim*: Este campo representa o último dia do período de sete dias da campanha de medição. Ele indica que o usuário deseja coletar os dados até a meia noite desse mesmo dia escolhido. De forma similar à data de início, a data de fim também precisa ser no padrão do (ISO, 2019).
- *Tensão Nominal do Barramento (kV)*: Neste campo o usuário necessita inserir o valor da tensão nominal do ponto sendo medido, em kV.

4.2 O PIM - PLATAFORMA INTEGRADA DE MEDIÇÃO

O PIM é um *software* desenvolvido pela Way2 Tecnologia[®] voltado para o mercado de energia, atendendo desde geradores de energia até distribuidoras. Ele atua como um intermediário entre os medidores de energia em campo e o destino final dos dados de medição, que geralmente é a CCEE. Para adquirir os dados de medição, ele precisa estabelecer uma conexão *Virtual Private Network* (VPN) com os medidores inteligentes conectados à rede, pois fazer o tráfego de informações pela *internet* sem recursos de segurança pode facilitar um vazamento de dados para agentes maliciosos na *internet*. Uma vez que a coleta tenha sido feita, as informações ficam armazenadas em bancos de dados dentro do PIM. Por meio do PIM, é possível satisfazer demandas regulatórias relacionadas a medição para faturamento, medições anemométricas e outras. Ainda, o PIM é capaz de estabelecer integrações com plataformas de faturamento e conta, também com envio automatizado de dados para a CCEE.

Um dos recursos disponíveis no PIM é sua *Application Programming Interface* (API), que permite aos usuários fazerem requisições dos dados coletados dos seus medidores, conforme é detalhado a seguir.

4.2.1 API

Uma API é uma forma de conectar dois serviços por meio da *internet* e transferir informação de um computador para o outro, por exemplo, um computador pessoal e um site de notícias. A forma como geralmente as APIs são usadas é por meio do protocolo *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP). Esse protocolo é o mesmo usado quando se acessa um *site* usando o navegador *Google Chrome* ou no *Microsoft Edge*. Nesses navegadores, utiliza-se a barra de pesquisa para inserir a *Uniform Resource Locator* (URL) do site que se deseja acessar. Uma vez que se executa essa requisição HTTP, um computador solicita ao outro (localizado no endereço solicitado) o conteúdo do site, como o site do *Google*, por exemplo. Depois disso, esse computador devolverá as informações solicitadas. Assim, o navegador usa as informações adquiridas para montar visualmente o site e apresentá-lo ao usuário.

No caso das APIs, que usam o HTTP, elas geralmente não retornam o conteúdo completo de um site, mas sim uma informação específica. Essas informações são enviadas em codificação de texto pleno, ou seja, podem ser lidas diretamente por humanos. Esse texto de resposta das APIs pode ser organizado em dois formatos principais, o *JavaScript Object Notation* (JSON) e o *Extensible Markup Language* (XML). O JSON é caracterizado pelo uso de colchetes e chaves para organizar a informação em combinações de atributos e valores. Já o XML organiza a informação usando os símbolos < e >. Isso pode ser observado na Figura 3, em que se tem as mesmas informações organizadas nos formatos JSON e XML. As APIs utilizadas neste trabalho retornam as informações apenas no formato JSON.

Figura 3 – Comparação entre os formatos de dados JSON e XML.

JSON	XML
<pre>{ "numero_de_serie": "MWXYZ", "data_inicio": "2024-01-01", "data_fim": "2024-01-07", "tensao_nominal": 230 }</pre>	<pre><root> <numero_de_serie>MWXYZ</numero_de_serie> <data_inicio>2024-01-01</data_inicio> <data_fim>2024-01-07</data_fim> <tensao_nominal>230</tensao_nominal> </root></pre>

Fonte: elaborado pelo autor.

Para se utilizar a API do PIM, deve-se fornecer a URL de interesse e o "método" de consulta dos dados e os cabeçalhos da requisição. A URL indica o endereço do computador

que se deseja consultar e também as informações específicas sobre os dados solicitados, a fim de escolher exatamente qual informação se deseja. O "método" de consulta é um parâmetro que indica o que se deseja fazer com os dados consultados. O "método" *GET*, por exemplo, indica apenas que se deseja consultar os dados. Mas existem outros métodos, como o *DELETE*, que especifica a destruição dos dados dentro do computador da consulta. Por fim, os cabeçalhos são usados para especificar, principalmente, as credenciais de acesso do usuário na API.

Um exemplo de requisição é mostrado na Figura 4, onde a requisição utiliza o método *GET* seguido da URL da API. Após o caractere de interrogação (?), são declarados os parâmetros da busca na API que foram inseridos pelo usuário e que serão repassados para o PIM. Além disso, também é definido o cabeçalho da requisição, que fornece a autenticação do usuário.

Figura 4 – Exemplo de requisição feita na API do PIM.

```
1 curl -X 'GET' \  
2   'https://URL_DO_PIM?medidor_id=XXXXX&grandezas=DTHT&  
   datainicio=2024-01-01&datafim=2024-01-02' \  
3   -H 'API-Key: XXXXXX-XXXXXX'
```

Fonte: elaborado pelo autor.

4.3 AQUISIÇÃO DOS DADOS

Nesta parte do programa, são usadas as APIs do PIM, responsáveis por fazer a comunicação entre o programa desenvolvido e o PIM. Conforme discutido no Capítulo 3, os dados de QEE que precisam ser coletados para a análise são compostos por 150 grandezas harmônicas, uma grandeza de desequilíbrio de tensão e seis grandezas de flutuação de tensão, totalizando 157 grandezas. Cada uma dessas grandezas possui mil e oito registros de medição no decorrer de sete dias de medição, com exceção do Plt das três fases. Uma vez que os parâmetros de entrada tenham sido inseridos, a requisição na API é enviada, solicitando todas as 157 grandezas medidas no período de sete dias. Quando os dados solicitados são retornados, eles são armazenados em um arquivo do tipo JSON.

Um exemplo de arquivo gerado pela API do PIM pode ser observado na Figura 5. No arquivo, percebe-se que cada grandeza é retornada separada das demais e com os carimbos de datas e os valores medidos juntos.

Figura 5 – Formato padrão do arquivo *.json* inicialmente gerado.

```
1  [
2    {
3      "numeroDeSerie": "MwXYZ",
4      "nomeGrandeza": "DTHTA",
5      "valores": [
6        {
7          "data": "2024-05-05T00:10:00",
8          "valor": 0.6664,
9        },
10       .
11       .
12       .
13       {
14         "data": "2024-05-12T00:00:00",
15         "valor": 0.6997,
16       }
17     ]
18   },
19   .
20   .
21   .
22   {
23     "numeroDeSerie": "MwXYZ",
24     "nomeGrandeza": "DTHTIA2",
25     "valores": [
26       {
27         "data": "2024-05-05T00:10:00",
28         "valor": 0.1044,
29       },
30       .
31       .
32       .
33       {
34         "data": "2024-05-12T00:00:00",
35         "valor": 0.1044,
36       }
37     ]
38   }
39 ]
```

Fonte: elaborado pelo autor.

4.4 TRANSFORMAÇÃO DOS DADOS

Com os dados armazenados no arquivo *.json*, segue-se para a próxima etapa, em que esse arquivo será lido e, então, transformado em um novo tipo de dado, um *dataframe*. Um *dataframe* é um tipo de dado da biblioteca *Pandas* do *Python*. Esse tipo de dado contém linhas e colunas, análogo a uma tabela do Excel[®]. A vantagem no uso dessa biblioteca são as funções de transformação disponíveis dentro dela.

Para realizar a transformação dos dados é preciso primeiro ler o arquivo *.json* gerado anteriormente. Essa leitura gerará um *dataframe* com o formato mostrado no Quadro 6, em que se têm três colunas: coluna "data", que armazena o carimbo de tempo de cada medição para cada grandeza; coluna "valor", que armazena o valor medido da grandeza; coluna "nomeGrandeza", que indica a qual grandeza se refere tal valor de medição. Esse formato facilita o entendimento e a leitura das informações em relação ao seu formato anterior, o ".json". Porém, esse *dataframe* ainda não está no padrão exigido pelos Procedimentos de Rede. Portanto, é empregada a função de pivotamento de *dataframe* da biblioteca *Pandas*.

Quadro 6 – *dataframe* do arquivo *.json* inicial.

data	valor	nomeGrandeza
01/01/2024 00:10:00	xxx	nomeGrandeza1
01/01/2024 00:20:00	xxx	nomeGrandeza1
01/01/2024 00:30:00	xxx	nomeGrandeza1
⋮	⋮	⋮
01/01/2024 23:40:00	xxx	nomeGrandeza1
01/01/2024 23:50:00	xxx	nomeGrandeza1
01/01/2024 00:00:00	xxx	nomeGrandeza1
⋮	⋮	⋮
01/01/2024 00:10:00	xxx	nomeGrandezaN
01/01/2024 00:20:00	xxx	nomeGrandezaN
01/01/2024 00:30:00	xxx	nomeGrandezaN
⋮	⋮	⋮
01/01/2024 23:40:00	xxx	nomeGrandezaN
01/01/2024 23:50:00	xxx	nomeGrandezaN
01/01/2024 00:00:00	xxx	nomeGrandezaN

Fonte: elaborado pelo autor.

A função de pivotamento consiste em criar colunas com base nos valores únicos presentes na coluna "nomeGrandeza", sendo que cada valor nessa coluna é um nome de uma grandeza medida. Ainda, nessa transformação, utiliza-se a coluna "data" como o índice do *dataframe*, logo, essa coluna permanecerá fixa na sua posição. Enquanto isso, os valores presentes na coluna "valor" serão distribuídos ao longo das novas colunas criadas, obedecendo sua relação inicial. Com isso, as colunas "valor" e "nomeGrandeza" deixarão de existir, e elas serão substituídas pelas colunas nomeadas pelas respectivas grandezas

presentes na coluna "nomeGrandeza". Esse processo é exemplificado na Figura 6, onde se pode observar o *dataframe* antes e após a aplicação da função de pivotamento. Vale salientar que cada um dos valores da coluna "data" continuam na mesma linha do seu carimbo de tempo original. Com isso, o formato do *dataframe* está agora como o mostrado na parte direita da Figura 6. Para finalizar esta etapa, o *dataframe* gerado é salvo em um arquivo do tipo *Comma-Separated Values* (CSV) para ser usado nas próximas etapas do programa.

Figura 6 – Exemplo da aplicação da função de pivotamento.

Antes do pivotamento			Após o pivotamento			
data	valor	nomeGrandeza	data	DTHT	Plt	K
11/05/2024 00:10:00	1	DTHT	11/05/2024 00:10:00	1	4	7
11/05/2024 00:20:00	2	DTHT	11/05/2024 00:20:00	2	5	8
11/05/2024 00:30:00	3	DTHT	11/05/2024 00:30:00	3	6	9
11/05/2024 00:10:00	4	Plt				
11/05/2024 00:20:00	5	Plt				
11/05/2024 00:30:00	6	Plt				
11/05/2024 00:10:00	7	K				
11/05/2024 00:20:00	8	K				
11/05/2024 00:30:00	9	K				

Fonte: elaborado pelo autor.

4.5 GERAÇÃO DO ARQUIVO EXCEL

Para criar a planilha de acordo com as especificações dadas pelo ONS, o próprio modelo de planilha do ONS será utilizado como base para criar as novas planilhas das campanhas de medição. Assim, quando o programa chega nesta etapa, ele lê o arquivo *.csv* gerado na etapa de transformação e faz a inserção dos dados tabulares já pivotados nas respectivas abas da planilha modelo do ONS, que foi descrita no Capítulo 3. Ou seja, na aba número oito serão inseridas apenas as colunas "data" e "K". Na aba número 9, serão inseridas as colunas: "data", "PstA", "PstB", "PstC", "PltA", "PltB" e "PltC". Na aba número 10, serão inseridas as colunas: "data", "DTHTA", "DTHTB", "DTHTC", "V2A", "V2B", "V2C" até chegar nas harmônicas de ordem 50. Com isso, obtém-se uma planilha padronizada e preenchida com os dados necessários, que poderá ser entregue ao ONS prontamente. As Figuras 7, 8 e 9 mostram, respectivamente, as abas oito, nove e dez preenchidas pelo programa.

Figura 7 – Exemplo de aba oito preenchida pelo programa.

	A	B
1	Data hora	K
2	28/4/24 0:10	0,821228
3	28/4/24 0:20	0,825979
4	28/4/24 0:30	0,801269
5	28/4/24 0:40	0,761794
1007	4/5/24 23:40	0,827873
1008	4/5/24 23:50	0,806442
1009	5/5/24 0:00	0,760654
1010	Dia	KD95%
1011	domingo, 28 de abril de 2024	0,98
1012	segunda-feira, 29 de abril de 2024	1,01
1013	terça-feira, 30 de abril de 2024	0,85
1014	quarta-feira, 1 de maio de 2024	1,02
1015	quinta-feira, 2 de maio de 2024	0,85
1016	sexta-feira, 3 de maio de 2024	1,05
1017	sábado, 4 de maio de 2024	1,05
1018	Dia	KD95%
1019	Máximo D95% da Semana	1,05

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 8 – Exemplo de aba nove preenchida pelo programa.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Data hora	Psta	Pstb	Pstc	Plta	Pltb	Pltc
2	28/4/24 0:10	0,215718	0,211452	0,224242			
3	28/4/24 0:20	0,188116	0,18503	0,199945			
4	28/4/24 0:30	0,193956	0,194837	0,197803			
5	28/4/24 0:40	0,192797	0,192608	0,181327			
6	28/4/24 0:50	0,196551	0,181574	0,187859			
7	28/4/24 1:00	0,195887	0,185445	0,19444			
8	28/4/24 1:10	0,189734	0,199859	0,198397			
9	28/4/24 1:20	0,188644	0,184417	0,193954			
10	28/4/24 1:30	0,197085	0,193691	0,180524			
11	28/4/24 1:40	0,184522	0,195549	0,180313			
1007	4/5/24 23:40	0,195796	0,189159	0,195014			
1008	4/5/24 23:50	0,197043	0,190531	0,188818			
1009	5/5/24 0:00	0,196063	0,183654	0,188601	0,100767	0,125078	0,148073
1010	Dia	PDtD95%	PDtD95%	PDtD95%	PltS95%	PltS95%	PltS95%
		AZ	BR	VM	AZ	BR	VM
1011	domingo, 28 de abril de 2024	0,20	0,20	0,20	0,230779	0,206322	0,23704
1012	segunda-feira, 29 de abril de 2024	0,20	0,52	0,58			
1013	terça-feira, 30 de abril de 2024	0,20	0,61	0,20			
1014	quarta-feira, 1 de maio de 2024	0,20	0,20	0,20			
1015	quinta-feira, 2 de maio de 2024	0,20	0,20	0,70			
1016	sexta-feira, 3 de maio de 2024	0,20	0,20	0,20			
1017	sábado, 4 de maio de 2024	0,59	0,20	0,20			
1018	Dia	PDtD95%	PDtD95%	PDtD95%			
		AZ	BR	VM			
1019	Máximo D95% da Semana	0,59	0,61	0,70			

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 9 – Exemplo de aba dez preenchida pelo programa.

	A	B	C	D	E	F	G	ES	ET	EU
1	Data hora	DHTa	DHTb	DHTc	V2a	V2b	V2c	V50a	V50b	V50c
2	28/4/24 0:10	0.9191	0.9662	0.9023	0.008538	0.042562	0.020108	0,0001	0,00026	0,0008
3	28/4/24 0:20	1.0126	0.9152	0.9837	0.00612	0,043312	0.017444	0	0	0,00012
4	28/4/24 0:30	0.9546	0.9106	0.9089	0.00565	0,042902	0.016171	0	0,0001	0,00052
5	28/4/24 0:40	1.0204	0.9933	1,0288	0.004258	0,039256	0.02041	0,0001	0,0001	0,00036
6	28/4/24 0:50	0.9072	0.9889	0.9661	0.005408	0,040191	0.019422	0	0	0,00029
1004	4/5/24 23:10	1.951	0.9416	1.9343	0.015451	0,048647	0.017675	0	0,00021	0,00056
1005	4/5/24 23:20	1.9931	0.9169	1.9267	0.024151	0,048479	0.012861	0	0,00011	0,00014
1006	4/5/24 23:30	0.9859	0.9387	2,0262	0.023216	0,050339	0.013188	0	0	0,00014
1007	4/5/24 23:40	0.9744	0.9118	1,0253	0.018928	0,053661	0.010852	0,0002	0,0001	0,00036
1008	4/5/24 23:50	1.0272	0.987	0.9533	0.014688	0,053505	0.014209	0	0	0,00011
1009	5/5/24 0:00	0.9017	0.9771	1,0294	0.012859	0,052367	0.016061	0	0	0,0001
1010	Dia	DthD9 5% AZ	DthD9 5% BR	DthD9 5% VM	VhD95% AZ	VhD95% BR	VhD95% VM	VhD95% AZ	VhD95% BR	VhD95% VM
1011	domingo, 28 de abril de 2024	1.03	1.03	1.03	0.01	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00
1012	segunda-feira, 29 de abril de 2024	1.03	1.03	1.03	0.02	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00
1013	terça-feira, 30 de abril de 2024	1.03	1.03	1.03	0.01	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00
1014	quarta-feira, 1 de maio de 2024	1.04	1.04	1.04	0.01	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00
1015	quinta-feira, 2 de maio de 2024	1.04	1.03	1.03	0.02	0.06	0.04	0.00	0.00	0.00
1016	sexta-feira, 3 de maio de 2024	1.02	1.03	1.03	0.02	0.06	0.05	0.00	0.00	0.00
1017	sábado, 4 de maio de 2024	1.97	1.04	1.93	0.02	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00
1018	Dia	DthD9 5% AZ	DthD9 5% BR	DthD9 5% VM	VhD95% AZ	VhD95% BR	VhD95% VM	VhD95% AZ	VhD95% BR	VhD95% VM
1019	Máximo D95% da Semana	1.97	1.04	1.93	0.02	0.06	0.05	0.00	0.00	0.00

Fonte: elaborado pelo autor.

4.6 ANÁLISE DOS DADOS

A parte final do programa utiliza os dados transformados e armazenados no formato ".csv" para fazer a análise estatística seguindo as normas dos Procedimentos de Rede, que foram discutidas no Capítulo 3. O programa indica a conformidade dos dados em relação aos limites impostos pelos Procedimentos de Rede. Essa indicação é feita na própria interface de usuário, como é mostrado na Figura 10, em que se observa os valores finais dos indicadores de cada grandeza listados e sua conformidade ou não em relação aos limites individuais, globais inferiores e superiores. Essa tabela, com os resultados finais da análise estatística, também é salva em um arquivo .csv dentro dos diretórios da aplicação, para registrar o resultado.

Figura 10 – Interface de usuário indicando o resultado da análise dos dados.

QEE Extrator de dados de QEE

Número de série: XXX

Data de início: 2024-05-26

Data de fim: 2024-06-01

Tensão Nominal do barramento (kV): 230

Extrair dados

Indicador	valor	Limites Individuais	Limites Globais Inferiores	Limites Globais Superiores
P1ta	0.23	OK	OK	OK
P1tb	0.20	OK	OK	OK
P1tc	0.23	OK	OK	OK
Psta	0.59	OK	OK	OK
Pstb	0.61	OK	OK	OK
Pstc	0.70	OK	OK	OK
K	1.05	OK	OK	OK
DHTa	1.97	reprovado	OK	OK
DHTb	1.04	OK	OK	OK
DHTc	1.93	reprovado	OK	OK
V2a	0.02	OK	OK	OK

Fonte: elaborado pelo autor.

4.7 INTERFACE GRÁFICA

Um dos objetivos principais do programa desenvolvido é facilitar a aquisição e a análise dos dados de QEE para o usuário, seja ele um agente gerador, distribuidor ou consumidor de energia. Para isso, o programa precisa ter um funcionamento simplificado aos olhos de quem o utiliza. Logo, foi criada uma interface gráfica para fazer a comunicação entre o usuário e o programa. Nessa interface estão incluídos campos de texto para a entrada de dados por meio de digitação, que estão evidenciados na Figura 11.

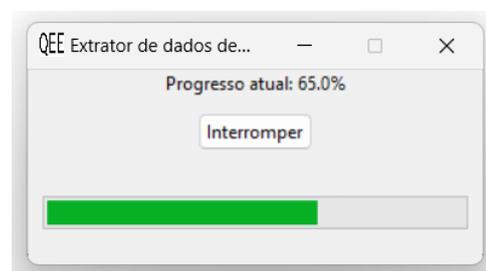
Logo após o usuário inserir os parâmetros do programa e clicar no botão de ativação do programa, a rotina principal será iniciada. Porém, o tempo de conclusão da rotina pode levar alguns minutos. Portanto, foi implementada também uma tela de carregamento, indicando em qual estágio está o programa. Assim, a experiência do usuário será mais agradável ao ter uma forma de estimar o tempo de conclusão do programa de acordo com o progresso da barra de carregamento. A tela de carregamento é ilustrada na Figura 12.

Figura 11 – Interface inicial do programa.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 12 – Interface de usuário indicando o resultado da análise dos dados.



Fonte: elaborado pelo autor.

5 VALIDAÇÃO DO PROGRAMA

Neste capítulo é discutido o uso do programa desenvolvido no capítulo anterior. O desempenho do programa é analisado por meio do seu tempo de execução, ou seja, o tempo total que o programa leva entre o seu acionamento e a finalização da tarefa de extração e transformação dos dados.

5.1 CENÁRIO DE TESTE

Para validar o funcionamento do programa, foram criados dados fictícios de uma usina e depois esses dados foram inseridos dentro do PIM. Tais dados tentam imitar a média e a variância de dados reais de usinas existentes. O período de inserção dos dados ficou entre os dias 28 de abril de 2024 e quatro de maio de 2024, ou seja, exatamente uma semana. Assim é possível simular uma campanha de medição. Como explicado no Capítulo 4, o programa precisa receber o número de série do medidor, a data inicial e final da medição e a tensão nominal do ponto de medição. Para este teste, o valor da tensão nominal é igual a 230 kV.

O acionamento do programa será feito cinco vezes seguidas, com os mesmos parâmetros. Assim, será possível estimar melhor o desempenho por meio de uma amostragem maior de medições de tempo de execução.

5.2 DESEMPENHO DO PROGRAMA

O tempo de execução global da rotina leva em conta as diversas etapas do programa, conforme é descrito no Capítulo 4. No Quadro 7 são elencados os tempos de funcionamento de cada uma das etapas e o tempo total de funcionamento de cada execução do programa.

Quadro 7 – Tempos de funcionamento em segundos do programa por etapa e por execução.

	aquisição (s)	normalização (s)	planilha (s)	análise (s)	total (s)
1ª execução	135,9	1,1	5,3	0,1	142,4
2ª execução	103,9	0,9	4,6	0,1	109,5
3ª execução	109,4	0,9	4,3	0,1	114,7
4ª execução	200,6	0,9	4,3	0,1	205,9
5ª execução	189,3	0,9	4,8	0,1	195,1
média	147,8	0,9	4,7	0,1	153,5

Fonte: elaborado pelo autor.

Com os testes realizados, observou-se que a etapa mais demorada foi a aquisição dos dados, como era esperado, que levou, em média, 147,8 s e mostrou ter uma variação

relativamente grande, entre 103,9 s e 200,06 s. Isso porque diversas requisições HTTP são realizadas em sequência e cada uma delas tem um tempo de resposta do servidor do PIM associado. Por sua vez, o PIM é um sistema externo ao programa em questão e possui outras demandas sendo executadas em paralelo, ou seja, está sujeito a variações da capacidade de processamento alocada para a tarefa de extrair e devolver os dados. Além disso, existem também etapas de autenticação da permissão da consulta na API, que também influenciam para a demora nesta primeira etapa do programa.

Depois, em termos de tempo de funcionamento, a etapa de geração da planilha obteve um tempo de funcionamento médio de 4,7 s e pouca variação, seguida da etapa de normalização, com uma média de 0,9 s e, por fim, a etapa de análise dos dados, com uma média de 0,1 s. Todas as etapas, com exceção da primeira, obtiveram uma média relativamente baixa de tempo de execução, pois são tarefas executadas pelo próprio computador em que o programa está sendo usado. Conseqüentemente, as médias dos tempos de execução foram muito menores, em comparação com a primeira etapa. A etapa de análise, por sua vez, foi a mais rápida, por lidar apenas com manipulação das informações. Semelhantemente, a etapa de normalização também executa apenas processos de manipulação de dados, ficando em segundo lugar, já que ela precisa manipular uma quantidade maior de informações. Enquanto isso, a etapa de geração da planilha que lida com a leitura e cópia de um arquivo Excel[®] e também a escrita de dados nesse arquivo copiado, que são tarefas computacionalmente mais custosas do que a etapa de normalização e análise de dados, o que implica em um tempo de execução maior.

O tempo médio de execução da planilha de extração de dados de QEE, que é o método atual de extração dos dados para muitos agentes geradores, é de aproximadamente oito minutos. Esse tempo relativamente longo de execução da planilha automatizada ocorre por conta do Excel[®], que não é uma ferramenta otimizada para realizar consultas de grandes volumes de dados. Já com esse método implementado, foi observada uma queda no tempo de execução para aproximadamente dois minutos e meio, o que representa uma redução percentual de 68,75%.

6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Neste TCC foram explorados detalhes operacionais do trabalho envolvido dentro de empresas do setor de energia com a habilitação de novos parques eólicos no Brasil para estarem em conformidade com os Procedimentos de Rede do ONS e como elas devem reunir dados de grandezas elétricas de QEE de seus empreendimentos e repassá-los ao ONS por meio de relatórios das campanhas de medição de tensão.

Para realizar tal análise, foi necessário revisar partes dos Procedimentos de Rede que tratam sobre aspectos operacionais da medição dos indicadores de qualidade, como: a categorização da aptidão ou não do PAC em relação à norma; aspectos técnicos sobre cada um dos principais grupos de grandezas aferidas, sendo elas grandezas de harmônicas, flutuação e desequilíbrio de tensão. Foram descritas, também, as exigências quanto ao período de medição de uma campanha de medição e como a medição deve ser composta por 1008 registros para cada grandeza medida. Ainda, foram descritos os limites individuais e globais de cada indicador de QEE segundo o ONS, o que foi muito importante para a etapa de desenvolvimento do programa.

Já para a parte de desenvolvimento do programa em si, foi apresentada a arquitetura geral e as respectivas etapas propostas pelo autor para atender a todas as exigências dos Procedimentos de Rede. O programa feito em *Python* conta com uma interface gráfica para organizar os parâmetros de entrada do usuário. Os parâmetros são então repassados para a etapa de aquisição dos dados, realizando a consulta de dados reais de QEE por meio de uma API. Na próxima etapa, é efetuado o tratamento e transformação desses dados adquiridos do formato *.json* para *dataframe*. O *dataframe* é, então, usado para criar a planilha da campanha de medição exigida pelo ONS e para calcular os indicadores finais da campanha, culminando com a apresentação dos resultados para o operador do programa por meio da interface gráfica.

Para validar a conformidade do programa com os Procedimentos de Rede, foi proposto realizar a extração dos dados de uma usina fictícia. Sendo assim, o programa foi testado cinco vezes utilizando os mesmos parâmetros de entrada e seu resultado foi comparado com o método atual de aquisição da planilha de QEE pelos agentes geradores. No final, foi observado que a planilha demora oito minutos para ser gerada com o método antigo. Por outro lado, com o uso do programa desenvolvido neste trabalho, foram necessários dois minutos e meio, representando uma redução de mais de 60% no tempo gasto para se obter as planilhas de qualidade de energia.

Visando futuras evoluções no desempenho do programa, algumas melhorias podem ser elencadas para serem desenvolvidas em etapas futuras, como o uso de requisições assíncronas na API para tentar diminuir o tempo de retorno das informações solicitadas. Ademais, é possível automatizar ainda mais o programa, permitindo que ele seja capaz de identificar lacunas de dados de medição, ou seja, "buracos" dentro do período de sete

dias de medição que impossibilitariam a campanha de medição com os 1008 registros de medição.

REFERÊNCIAS

- ARÃO, Luís Fernando Lacerda. **Avaliação comparativa entre métodos para atribuição de responsabilidades devido ao desequilíbrio de tensão.** [S.l.: s.n.], dez. 2014.
- DONG, Feng *et al.* Energy transition and carbon neutrality: Exploring the non-linear impact of renewable energy development on carbon emission efficiency in developed countries. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 177, p. 106002, 2022. ISSN 0921-3449. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092134492100611X>.
- GALBIATTI-SILVEIRA, Paula. Energia e mudanças climáticas: impactos socioambientais das hidrelétricas e diversificação da matriz energética brasileira. **Opin. jurid.**, v. 17, n. 33, p. 123–147, jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.22395/ojum.v17n33a5>. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-25302018000100123&lng=en&nrm=iso.
- IEC. **Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-15: Testing and measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specifications.** [S.l.: s.n.], ago. 2010.
- _____. **Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods.** [S.l.: s.n.], mar. 2021.
- ISO. **Date and time — Representations for information interchange.** [S.l.: s.n.], fev. 2019. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/70907.html>.
- LANGFORD, Eric. Quartiles in Elementary Statistics. **Journal of Statistics Education**, Taylor & Francis, v. 14, n. 3, 2006. DOI: 10.1080/10691898.2006.11910589. eprint: <https://doi.org/10.1080/10691898.2006.11910589>. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10691898.2006.11910589>.
- ONS. **LISTA DE EQUIPAMENTOS CERTIFICADOS PARA UMA CAMPANHA DE MEDIÇÕES DE HARMÔNICOS.** [S.l.: s.n.], ago. 2017. Disponível em: https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/ListadeEquipamentosdeMedicoesdeHarmonicass_ago2017.pdf.
- _____. **Procedimentos de Rede - Módulo 2 – Critérios e Requisitos, Submódulo 2.9 - Requisitos mínimos de qualidade de energia elétrica para acesso ou integração à Rede Básica.** [S.l.: s.n.], out. 2020. Disponível em: https://apps08.ons.org.br/ONS.Sintegre.Proxy/ecmprsite/ecmfragmentsdocuments/Subm%C3%B3dulo%202.9-RQ_2020.12.pdf.

ONS. **Procedimentos de Rede - Módulo 7 - Operacional - Integração de Instalações, Submódulo 7.8 - Avaliação do impacto do acesso ou integração à Rede Básica de instalações com elementos não lineares ou especiais.** [S.l.: s.n.], out. 2022. Disponível em: https://apps08.ons.org.br/ONS.Sintegre.Proxy/ecmprsite/ecmfragmentsdocuments/Subm%C3%B3dulo%207.8-OP_2022.10.pdf.

_____. **Procedimentos de Rede - Módulo 9 – Indicadores, Submódulo 9.7 Indicadores de qualidade de energia elétrica da Rede Básica.** [S.l.: s.n.], dez. 2020. Disponível em: https://apps08.ons.org.br/ONS.Sintegre.Proxy/ecmprsite/ecmfragmentsdocuments/Subm%C3%B3dulo%209.7-IN_2020.12.pdf.

OVERFLOW, Stack. **2023 Developer Survey.** [S.l.: s.n.], 2024. Acessado em: 7 de agosto de 2024. Disponível em: <https://survey.stackoverflow.co/2023/>.

PARREIRAS, Thiago; SILVA, Selênio. Distorções harmônicas geradas por um parque de turbinas eólicas. *In:*

UNIÃO, Diário Oficial da. **DECRETO No 3.520.** [S.l.: s.n.], jun. 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d3520.htm.

_____. **DECRETO Nº 5.081.** [S.l.: s.n.], mai. 2004. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5081.htm.

_____. **DECRETO Nº 5.175.** [S.l.: s.n.], ago. 2004. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/Decreto/D5175.htm#.

_____. **DECRETO Nº 5.177.** [S.l.: s.n.], jun. 2004. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5177.htm.

_____. **LEI Nº 10.847.** [S.l.: s.n.], mar. 2004. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/lei/110.847.htm.

_____. **LEI Nº 9.427.** [S.l.: s.n.], dez. 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19427compilada.htm#.

_____. **LEI Nº 9.648.** [S.l.: s.n.], mai. 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19648compilada.htm.

Anexos

ANEXO A – LISTA DE MEDIDORES HOMOLOGADOS PELO ONS PARA CAMPANHAS DE MEDIÇÃO

Figura 13 – Lista de medidores permitidos pelo ONS a participar de campanhas de medição.

- Power Sentinel fabricado pela Arbiter System;
- ImpedoGraph fabricado pelo CTLab;
- ION – 7600 fabricado pela Power Measurement (versão antiga);
- *ION – 7650 fabricado pela Schneider Electric;*
- *ION – 8650 fabricado pela Schneider Electric;*
- RQE III e RM 100 fabricado pela Reason;
- Unilyser 902 e UP-2210 fabricado pela Unipower;
- PQ Analyser 1760 e 435 fabricado pela Fluke;
- G4430 Blackbox fabricado pela Elspec TD;
- ENCORE SERIES 61000 System, Power Visa, PowerGuide 4400, PowerXplorer PX5, PowerXplorer PX5-400 fabricados pela Dranetz BMI;
- SEL-734 fabricado pela Schweitzer Engineering Laboratories;
- MEDCAL-ST e MEDCAL-NT fabricado pela CESINEL;
- MULT-K NG e AQE – 01 fabricado pela Kron;
- Nexus 1500 fabricado pela ELECTRO INDUSTRIES;
- PowerNet PQ600 fabricado pela IMS Soluções em Energia;
- *MULT-K NG e AQE – 01 fabricado pela Kron;*
- *Nexus 1500 fabricado pela ELECTRO INDUSTRIES;*
- *PowerNet PQ600 fabricado pela IMS Soluções em Energia;*
- *CCK 7550S fabricado pela CCK Automação Ltda;*
- *RE8000 fabricado pela EMBRASUL Indústria Eletrônica Ltda;*
- *PQM - linha 702,703, 710, 711 fabricado por Sonel;*
- *UMG 512 fabricado por Janitza Electronics GMBH;*

Fonte: ONS.

ANEXO B – IMAGENS DAS ABAS DA PLANILHA MODELO DO ONS

Figura 14 – Primeira aba da planilha modelo do ONS.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	PLANILHA DE RESULTADOS (MODELO) PARA AS CAMPANHAS DE MEDIÇÃO																		
2	Planilha utilizada nas seguintes fases das campanhas:																		
3																			
4	- Pré Tensão																		
5																			
6	- Monitoramento																		
7																			
8	- Pós Tensão																		
9																			
10																			
11																			
12	Obs.: 1) Preencher os dados dos medidores e dos transdutores.																		
13	2) NÃO ALTERAR as fórmulas para cálculos dos Indicadores de QEE.																		
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			
21																			
22																			

Fonte: ONS.

Figura 15 – Segunda aba da planilha modelo do ONS.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Data_Hora_Inicio	Data_Hora_Fim	Codigo_agente	Codigo_estacao	ID_Prestador	Descricao	
2	0/1/00 0:00	0/1/00 0:00					
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							

Fonte: ONS.

Figura 16 – Terceira aba da planilha modelo do ONS.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Fabricante	Tipo	Modelo	Num_serie	Codigo_medidor	Flg_tipomedia	
2	xxxxxx	xxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	HARM	
3	xxxxxx	xxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	DESQ	
4	xxxxxx	xxxxx	xxxxxx	xxxxxx	xxxxxx	FLUT	
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							

Fonte: ONS.

Figura 17 – Quarta aba da planilha modelo do ONS.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Fabricante	Tipo	Modelo	Num_serie	Codigo_transdutor	Flg_fase	
2	xxxxxx	xxx	xxxxxx	xxxx	xxxxx	A	
3	xxxxxx	xxx	xxxxxx	xxxx	xxxxx	B	
4	xxxxxx	xxx	xxxxxx	xxxx	xxxxx	C	
5							
6							
7	Tipo: TPI, TPC, etc						
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							

Fonte: ONS.

Figura 18 – Quinta aba da planilha modelo do ONS.

	A	B	C	D	E	F	G
1	KD95%						
2	#NÚM!						
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

Fonte: ONS.

Figura 19 – Sexta aba da planilha modelo do ONS.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	PstaD95%	PstbD95%	PstcD95%	PltaS95%	PltbS95%	PltcS95%		
2	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!		
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								

Fonte: ONS.

Figura 20 – Sétima aba da planilha modelo do ONS.

	A	B	C	D	E	F	ER	ES	ET
1	DTHTaD95%	DTHTbD95%	DTHTcD95%	V2aD95%	V2bD95%	V2cD95%	V50aD95%	V50bD95%	V50cD95%
2	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									

Fonte: ONS.

Figura 21 – Oitava aba da planilha modelo do ONS.

	A	B	C	D
1	Data_hora	K		
2	0/1/00 0:00			
3	0/1/00 0:00			
4	0/1/00 0:00			
5	0/1/00 0:00			
6	0/1/00 0:00			
1006	0/1/00 0:00			
1007	0/1/00 0:00			
1008	0/1/00 0:00			
1009	0/1/00 0:00			
1010	Dia	KD95%		
1011	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!		
1012	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!		
1013	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!		
1014	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!		
1015	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!		
1016	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!		
1017	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!		
1018	Dia	KD95%		
1019	Máximo D95% da Semana	#NÚM!		
1020				
1021				
1022				
1023				
1024				
1025				
1026				
1027				

Fonte: ONS.

Figura 22 – Nona aba da planilha modelo do ONS.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Data hora	Psta	Pstb	Pstc	Plta	Pltb	Pltc
2	0/1/00 0:00	#REF!	#REF!	#REF!			
3	0/1/00 0:00	#REF!	#REF!	#REF!			
4	0/1/00 0:00	#REF!	#REF!	#REF!			
5	0/1/00 0:00	#REF!	#REF!	#REF!			
6	0/1/00 0:00	#REF!	#REF!	#REF!			
7	0/1/00 0:00	#REF!	#REF!	#REF!			
8	0/1/00 0:00	#REF!	#REF!	#REF!			
9	0/1/00 0:00	#REF!	#REF!	#REF!			
10	0/1/00 0:00	#REF!	#REF!	#REF!			
11	0/1/00 0:00	#REF!	#REF!	#REF!			
12	0/1/00 0:00	#REF!	#REF!	#REF!			
13	0/1/00 0:00	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!
14	0/1/00 0:00						
15	0/1/00 0:00						
16	0/1/00 0:00						
17	0/1/00 0:00						
18	0/1/00 0:00						
1006	0/1/00 0:00						
1007	0/1/00 0:00						
1008	0/1/00 0:00						
1009	0/1/00 0:00						
1010	Dia	PDtD95% AZ	PDtD95% BR	PDtD95% VM	PltS95% AZ	PltS95% BR	PltS95% VM
1011	sábado, 0 de janeiro de 1900	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!	#REF!
1012	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!			
1013	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!			
1014	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!			
1015	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!			
1016	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!			
1017	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!			
1018	Dia	PDtD95% AZ	PDtD95% BR	PDtD95% VM			
1019	Máximo D95% da Semana	#REF!	#REF!	#REF!			
1020							
1021							

Fonte: ONS.

Figura 23 – Décima aba da planilha modelo do ONS.

	A	B	C	D	E	F	G	ES	ET	EU	EV
1	Data_hora	DHTa	DHTb	DHTc	V2a	V2b	V2c	V50a	V50b	V50c	
2											
3											
4											
5											
6											
1007											
1008											
1009											
1010	Dia	DthtD9 5% AZ	DthtD9 5% BR	DthtD9 5% VM	VhD95% AZ	VhD95% BR	VhD95% VM	VhD95% AZ	VhD95% BR	VhD95% VM	
1011	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	
1012	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	
1013	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	
1014	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	
1015	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	
1016	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	
1017	sábado, 0 de janeiro de 1900	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	
1018	Dia	DthtD9 5% AZ	DthtD9 5% BR	DthtD9 5% VM	VhD95% AZ	VhD95% BR	VhD95% VM	VhD95% AZ	VhD95% BR	VhD95% VM	
1019	Máximo D95% da Semana	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	#NÚM!	
1020											
1021											
1022											

Fonte: ONS.

ANEXO C – QUADRO DE MÓDULOS E SUBMÓDULOS DOS PROCEDIMENTOS DE REDE

Figura 24 – Parte 1 do Quadro de Módulos e Submódulos dos Procedimentos de Rede.

Módulo	Sub-módulo	Nome Submódulo	Tipo do Documento do Submódulo	Aprovação do documento
1. Relacionamento com Agentes	1.1	Elaboração e manutenção do Manual de Procedimentos da Operação	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	1.2	Glossário dos Procedimentos de Rede	Procedimental	ANEEL
2. Critérios e Requisitos	1.3	Identificação e tratamento das não conformidades	Responsabilidades	ANEEL
			Procedimental	ANEEL
	2.1	Definição das redes do Sistema Interligado Nacional	Definição	ANEEL
	2.2	Definição das instalações estratégicas	Definição	ANEEL
	2.3	Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos	Critérios	ANEEL
			Metodologia	ANEEL
	2.4	Critérios para estudos energéticos e hidrológicos	Critérios	ANEEL
	2.5	Critérios para operação	Critérios	ANEEL
	2.6	Requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos	Requisitos	ANEEL
	2.7	Requisitos mínimos para linhas de transmissão	Requisitos	ANEEL
	2.8	Requisitos mínimos para elos em corrente contínua	Requisitos	ANEEL
	2.9	Requisitos mínimos de qualidade de energia elétrica para acesso ou integração à Rede Básica	Requisitos	ANEEL
	2.10	Requisitos técnicos mínimos para a conexão às instalações de transmissão	Requisitos	ANEEL
	2.11	Requisitos mínimos para os sistemas de proteção, de registro de perturbações e de teleproteção	Requisitos	ANEEL
	2.12	Requisitos mínimos de supervisão e controle para a operação	Requisitos	ANEEL
	2.13	Requisitos mínimos para Sistemas de Medição Sincronizada de Fasores	Requisitos	ANEEL
2.14	Requisitos mínimos para Sistemas de Medição para Faturamento	Requisitos	ANEEL	
2.15	Requisitos mínimos para telecomunicações	Requisitos	ANEEL	
3. Planejamento da Operação	3.1	Planejamento da operação elétrica de médio prazo	Responsabilidades	ANEEL
			Procedimental	ANEEL
	3.2	Modernização de instalações	Responsabilidades	ANEEL
			Procedimental	ANEEL
	3.3	Planejamento da operação energética de médio prazo	Responsabilidades	ANEEL
			Procedimental	ANEEL
	3.4	Planejamento da operação elétrica com horizonte quadrimestral	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	3.5	Consolidação da previsão de carga para planejamento da operação eletroenergética	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	3.6	Estimativa do Montante Financeiro com Encargos de Serviços de Sistema	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	3.7	Planejamento anual de prevenção de cheias	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
3.8	Atualização de dados técnicos dos aproveitamentos hidroelétricos	Responsabilidades	ANEEL	
		Procedimental	ANEEL	
3.9	Validação de dados e modelos de componentes para estudos elétricos	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
3.10	Estudos para segurança operacional elétrica	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
3.11	Análise técnica dos serviços ancilares de suporte de reativos, controle secundário de frequência e autorrestabelecimento integral	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
3.12	Estudos de curto-circuito	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	

Fonte: ONS.

Figura 25 – Parte 2 do Quadro de Módulos e Submódulos dos Procedimentos de Rede.

4. Programação da Operação	4.1	Planejamento da operação elétrica com horizonte mensal	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	4.2	Programação de intervenções em instalações da Rede de Operação	Responsabilidades	ANEEL
			Procedimental	ANEEL
	4.3	Programação mensal da operação energética	Responsabilidades	ANEEL
			Procedimental	ANEEL
	4.4	Consolidação da previsão de carga para programação eletroenergética	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
4.5	Programação diária da operação	Responsabilidades	ANEEL	
		Procedimental	ANEEL	
4.6	Análise e tratamento dos dados hidroenergéticos e previsão e geração de cenários de vazões	Responsabilidades	ANEEL	
		Procedimental	ANEEL	
4.7	Atualização de informações sobre restrições hidráulicas dos aproveitamentos hidroelétricos	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
4.8	Acompanhamento e previsão meteorológica e climática	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
5. Operação do Sistema	5.1	Operação do sistema e das instalações da Rede de Operação	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	5.2	Execução de intervenções	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	5.3	Controle da geração	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	5.4	Controle da transmissão	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	5.5	Operação hidráulica de reservatórios	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	5.6	Operação em contingência	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	5.7	Gerenciamento da carga	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	5.8	Recomposição da Rede de Operação	Responsabilidades	ANEEL
Operacional			ONS	
5.9	Manutenção dos serviços de telecomunicações que atendem à operação do SIN	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
5.10	Operação teleassistida das instalações da Rede de Operação	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
5.11	Cadastro de Informações Operacionais	MPO	ONS	
5.12	Instruções de Operação	MPO	ONS	
5.13	Rotinas Operacionais	MPO	ONS	
5.14	Ajustamentos Operativos	MPO	ONS	
5.15	Regulamentos Internacionais	MPO	ONS	

Fonte: ONS.

Figura 26 – Parte 3 do Quadro de Módulos e Submódulos dos Procedimentos de Rede.

6. Avaliação da Operação	6.1	Elaboração dos informes e boletins da Operação	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	6.2	Análise da operação, ocorrências e perturbações e acompanhamento das providências	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	6.3	Análise de perturbação	Responsabilidades	ANEEL
			Procedimental	ANEEL
	6.4	Análise de falhas em equipamentos e linhas de transmissão	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	6.5	Apuração da geração e de indisponibilidade de empreendimentos de geração	Responsabilidades	ANEEL
			Procedimental	ANEEL
	6.6	Apuração dos serviços ancilares	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	6.7	Apuração de indisponibilidade, restrição da capacidade operativa e sobrecarga nas instalações de transmissão da Rede Básica e das Interligações Internacionais	Responsabilidades	ANEEL
			Procedimental	ANEEL
	6.8	Apuração dos Montantes de Uso do Sistema de Transmissão	Responsabilidades	ANEEL
			Procedimental	ANEEL
	6.9	Acompanhamento da manutenção de equipamentos e linhas de transmissão	Responsabilidades	ANEEL
			Procedimental	ANEEL
6.10	Avaliação do desempenho dos serviços de telecomunicações que atendem à operação do SIN	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
6.11	Manutenção e avaliação dos sistemas de supervisão e controle	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
6.12	Análise estatística de desligamentos forçados e do desempenho dos sistemas de proteção	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
6.13	Diagnóstico dos sistemas de proteção e controle	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
6.14	Monitoramento dos Esquemas Regionais de Alívio de Carga	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
6.15	Gerenciamento da qualidade da energia elétrica da Rede Básica	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
6.16	Manutenção do Sistema de Medição para Faturamento	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
6.17	Coleta de dados de medição para faturamento	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
6.18	Auditagem dos dados de entrada do PMO e suas revisões, dos dados de entrada para a formação do CMO em base semi-horária e dos dados de geração apurados (Incluído pela REN ANEEL 1.075, de 26.09.2023)	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	

Fonte: ONS.

Figura 27 – Parte 4 do Quadro de Módulos e Submódulos dos Procedimentos de Rede.

7. Integração de Instalações	7.1	Acesso às instalações de transmissão	Responsabilidades	ANEEL
			Procedimental	ANEEL
	7.2	Classificação da modalidade de operação de usinas	Responsabilidades	ANEEL
			Procedimental	ANEEL
	7.3	Verificação da conformidade das instalações de transmissão aos requisitos	Responsabilidades	ANEEL
			Procedimental	ANEEL
	7.4	Estudos pré-operacionais de integração de instalações da Rede de Operação	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	7.5	Implantação de Sistemas Especiais de Proteção	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	7.6	Implantação das proteções de caráter sistêmico	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
	7.7	Avaliação de enchimento de reservatório e emissão de declaração para integração de reservatório	Responsabilidades	ANEEL
			Procedimental	ANEEL
	7.8	Avaliação do impacto do acesso ou integração à Rede Básica de instalações que contenham elementos não lineares ou especiais	Responsabilidades	ANEEL
			Operacional	ONS
7.9	Implantação dos serviços de supervisão e controle para a operação	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
7.10	Implantação e análise do sistema de registro de perturbações	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
7.11	Implantação do Sistema de Medição para Faturamento	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
7.12	Implantação dos serviços de telecomunicações para atendimento às necessidades do Sistema Interligado Nacional	Responsabilidades	ANEEL	
		Operacional	ONS	
7.13	Emissão de declaração de atendimento aos Procedimentos de Rede para instalações de geração	Responsabilidades	ANEEL	
		Procedimental	ANEEL	
7.14	Emissão de declaração de atendimento aos Procedimentos de Rede para instalações de distribuição, autoprodutor com carga maior que geração, consumidor livre e agente de exportação ou importação de energia	Responsabilidades	ANEEL	
		Procedimental	ANEEL	
7.15	Emissão de Termo de Liberação para instalações de transmissão	Responsabilidades	ANEEL	
		Procedimental	ANEEL	
7.16	Conexão à Transmissão e Inspeções e Ensaios nas Instalações de Conexão	Responsabilidades	ANEEL	
		Procedimental	ANEEL	

Fonte: ONS.

Figura 28 – Parte 5 do Quadro de Módulos e Submódulos dos Procedimentos de Rede.

8. Administração de Contratos	8.1	Administração dos Contratos	Responsabilidades	ANEEL
			Procedimental	ANEEL
	8.2	Disponibilização de dados para cálculo tarifário	Responsabilidades	ANEEL
Operacional			ONS	
8.3	Apuração de serviços e encargos da transmissão e encargos setoriais	Responsabilidades	ANEEL	
		Procedimental	ANEEL	
9. Indicadores	9.1	Indicadores de confiabilidade da Rede Básica	Indicadores	ANEEL
	9.2	Indicadores de desempenho de equipamentos e linhas de transmissão e das funções transmissão e geração	Indicadores	ANEEL
	9.3	Indicadores de desempenho dos sistemas de proteção	Indicadores	ANEEL
	9.4	Indicadores de desempenho das programações eletroenergéticas, de manutenção e de intervenção	Indicadores	ANEEL
	9.5	Indicadores de atendimento às recomendações	Indicadores	ANEEL
	9.6	Indicadores de desempenho dos sistemas de supervisão e controle e dos serviços de telecomunicações	Indicadores	ANEEL
9.7	Indicadores de qualidade de energia elétrica da Rede Básica	Indicadores	ANEEL	

Fonte: ONS.