



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

BRUNA FERREIRA DANTAS

**ANÁLISE DAS GRANDEZAS ELÉTRICAS NO PONTO DE CONEXÃO ENTRE A
USINA FOTOVOLTAICA DO BLOCO DE PROFESSORES I E A REDE ELÉTRICA
DA UFERSA CAMPUS CARAÚBAS - RN**

CARAÚBAS – RN

2024

BRUNA FERREIRA DANTAS

**ANÁLISE DAS GRANDEZAS ELÉTRICAS NO PONTO DE CONEXÃO ENTRE A
USINA FOTOVOLTAICA DO BLOCO DE PROFESSORES I E A REDE ELÉTRICA
DA UFERSA CAMPUS CARAÚBAS - RN**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Érica Mangueira Lima, Profa. Dra.

Coorientador: Rodrigo de Almeida Coelho, Prof. Dr.

CARAÚBAS – RN

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

D192a Dantas, Bruna Ferreira.
Análises das grandezas elétricas no ponto de
conexão entre a usina fotovoltaica do bloco de
professores I e a rede elétrica da UFERSA campus
Caraúbas - RN / Bruna Ferreira Dantas. - 2024.
54 f. : il.

Orientador: Érica Manguiera Lima.
Coorientador: Rodrigo De Almeida Coelho.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Elétrica, 2024.

1. Geração Distribuída. 2. Análises estatísticas.
3. Curva de carga. 4. Grandezas elétricas . I.
Lima, Érica Manguiera, orient. II. Coelho, Rodrigo
De Almeida , co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

BRUNA FERREIRA DANTAS

**ANÁLISE DAS GRANDEZAS ELÉTRICAS NO PONTO DE CONEXÃO ENTRE A
USINA FOTOVOLTAICA DO BLOCO DE PROFESSORES I E A REDE ELÉTRICA
DA UFERSA CAMPUS CARAÚBAS-RN**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica.

Defendida em: 15/04/2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



ERICA MANGUEIRA LIMA

Data: 25/04/2024 13:19:04-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Érica Manguiera Lima, Profa. Dra. (UFERSA)
Presidente

Documento assinado digitalmente



RODRIGO DE ALMEIDA COELHO

Data: 19/04/2024 20:51:03-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rodrigo de Almeida Coelho, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente



ADRIANO COSTA DE OLIVEIRA

Data: 19/04/2024 20:56:46-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Adriano Costa de Oliveira, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente



JEANE SILVA DE SOUZA

Data: 20/04/2024 14:44:07-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Jeane Silva de Souza, Profa. Dra. (FASC)
Membro Examinador

Ao meu Deus e a minha mãe Vera Lúcia.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha gratidão a Deus, cuja força, coragem e ânimo foram fundamentais para chegar até aqui. Agradeço por Ele segurar minha mão, instilar confiança em mim e garantir que estivesse sempre ao meu lado, orientando meus passos.

Quero também expressar minha profunda gratidão à minha mãe, Vera Lúcia, que dedicou esforços incansáveis para tornar este sonho realidade. Agradeço por seu apoio financeiro e por persistir ao meu lado até o desfecho deste percurso.

Ao meu companheiro de vida e melhor amigo, Miqueias Alves Teixeira, sou grata por sua escuta atenta, por sua confiança em que tudo seria possível e por nunca deixar de acreditar no meu potencial.

Um agradecimento especial à minha orientadora, Érica Manguiera, cuja paciência, persistência e dedicação foram cruciais para a conclusão deste trabalho. Sem ela, este projeto não teria alcançado seu desfecho satisfatório.

Agradeço também aos meus colegas de jornada, que de diversas maneiras contribuíram para a realização deste sonho compartilhado.

Por fim, sou grata à banca examinadora por enriquecer ainda mais o meu trabalho com suas valiosas contribuições.

A todos vocês, minha profunda gratidão por fazerem parte deste percurso e por tornarem possível a concretização deste sonho.

*“Porque eu sei bem os planos que tenho para
vós, diz o senhor; planos de paz, e não de mal,
para vos dar um futuro e uma esperança” -*

Jeremias: 29:11

RESUMO

O aumento na demanda de energia elétrica impulsionou a disseminação do uso da geração distribuída, principalmente utilizando a energia solar fotovoltaica. Muito embora a integração desses sistemas à rede elétrica proporcione diversas vantagens para o consumidor e para o sistema de distribuição, é necessário considerar também os impactos da alta inserção da geração distribuída. Neste contexto, este trabalho visa realizar uma análise das grandezas elétricas utilizando dados reais medidos no ponto de conexão entre a usina de minigeração fotovoltaica e o bloco de professores I da UFERSA campus Caraúbas. Uma avaliação preliminar da qualidade de energia neste ponto demonstrou alterações significativas nos níveis de tensão e ressaltou o baixo fator de potência da carga. Desse modo, o presente trabalho apresenta uma análise estatística da variação nos níveis de tensão, relacionando-o com a irradiância solar medida na própria UFERSA no mesmo período. A análise destaca a relação entre as duas grandezas além de especificar instantes de afundamento e elevação de tensão. Adicionalmente, apresenta-se uma análise estatística para o fator de potência, relacionando-o com a demanda da carga nos períodos de maior e menor fluxo de pessoas no bloco. Do mesmo modo, as componentes de potência são avaliadas, fornecendo uma curva de carga típica para o bloco de professores, construída por meio da análise estatística de percentis. Os resultados evidenciam a relação entre a geração fotovoltaica e os níveis de tensão, bem como as demandas diárias do ponto de medição e as variações na corrente, componentes de potência e as alterações no fator de potência.

Palavras-chave: geração distribuída; análises estatísticas; curva de carga; grandezas elétricas.

ABSTRACT

The increase on electrical energy demand encouraged the widespread use of distributed generation, mainly using photovoltaic solar energy. Although the integration of these systems into the electrical grid provides several advantages for the consumer and the distribution system, it is also necessary to consider the impacts of the high insertion of distributed generation for both consumer and electrical network. In this context, this work aims to carry out an analysis of electrical quantities using real data measured at the connection point between the photovoltaic mini generation plant and the professors building I of the UFERSA Caraúbas campus. A preliminary power quality assessment at this location demonstrated significant changes in voltage levels and highlighted the low power factor of the load. Therefore, the present work presents a statistical analysis of the variation in voltage levels, relating it to the solar irradiance measured at UFERSA itself in the same period. The analysis highlights the relationship between the two quantities in addition to specifying moments of voltage sags and swells. Additionally, a statistical analysis is presented for the power factor, relating it to the load demand in periods of greater and lesser flow of people in the building. Similarly, the power components are evaluated, providing a typical load curve for the load, constructed through statistical analysis of percentiles. The results highlight the relationship between photovoltaic generation and voltage levels, as well as the daily demands of the measuring point and variations in current, power components and changes in power factor.

Keywords: distributed generation; statistical analysis; load curve; electrical quantities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema <i>Off-Grid</i>	20
Figura 2: Sistema <i>On-Grid</i>	21
Figura 3: Faixa de limites de tensão.	23
Figura 4: Triângulo de potências.....	26
Figura 5: Exemplo de curva de carga.	28
Figura 6: Exemplo de <i>boxplot</i>	30
Figura 7: Conexão entre os quadros e ligação do qualímetro.....	32
Figura 8: Divisão das cargas do bloco de professores por fase.	34
Figura 9: Variação das tensões de fase no período de análise.....	36
Figura 10: Variação estatística da tensão de fase agrupada por hora	37
Figura 11: Variação estatística da irradiância por horário.....	37
Figura 12: Variação diária típica da tensão de fase.	38
Figura 13: Comportamento da tensão diurno e noturno.....	38
Figura 14: Variação da corrente por horário em todas as fases.....	39
Figura 15: Variação da corrente nos horários de maior e menor fluxo	40
Figura 16: Variação das correntes de fase ao longo dos dias.	40
Figura 17: Variação de potência.....	41
Figura 18: Níveis de potência para o maior e menor fluxo de pessoas.	42
Figura 19: Curva de carga típica diária para o Bloco de Professores I.	42
Figura 20: Comportamento do fator de potência nas três fases.....	44
Figura 21: Variação do fator de potência de acordo com o fluxo de pessoas.	44
Figura 22: Curva típica diária do fator de potência.	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores limites de fator de potência estabelecidas pela COSERN.....	25
Tabela 2: Dados de Potência do Bloco de Professores.....	33
Tabela 3: Valores médios e desvio padrão da tensão.	38
Tabela 5: Média e desvio padrão das correntes nos horários maior e menor fluxo de pessoas.	41
Tabela 6: Média e desvio padrão das potências ativa, reativa e aparente.	43
Tabela 7: Média e desvio padrão do fator de potência.	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EPE	Empresa De Pesquisa Energetica
GD	Geração Distribuida
PAC	Ponto de Acoplamento Comum
PRODIST	Procedimentos de Regulação da Operação e da Expansão dos Sistemas de Transmissão de Energia Elétrica
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
QGBT	Quadro Geral De Baixa Tensão
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SUTIC	Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	17
1.2	Organização do Texto.....	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Geração Distribuída Fotovoltaica	18
2.2	Qualidade da Energia Elétrica	22
2.2.1	Variação de Tensão em Regime Permanente	23
2.2.2	Fator de Potência	24
2.3	Caracterização da Potência Elétrica	25
2.3.1	Potência Ativa, Reativa e Aparente	25
2.3.2	Curva de Carga	27
2.4	Análise Estatística	28
2.4.1	Média e Desvio Padrão	28
2.4.2	Percentis	29
2.4.3	<i>Boxplot</i>	29
3	METODOLOGIA	31
3.1	Conjuntos de Dados	31
3.1.1	Grandezas Elétricas	31
3.1.2	Irradiância solar	32
3.1.3	Dados das Cargas do Bloco de Professores.....	33
3.2	Tratamento e Análise dos Dados	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1	Tensões.....	35
4.2	Corrente.....	39
4.3	Potência.....	41
4.4	Fator de Potência	43
5	CONCLUSÕES	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
	APÊNDICE A	52

1 INTRODUÇÃO

A demanda por energia elétrica tem crescido ao longo dos anos, impulsionada, principalmente, pelo desenvolvimento econômico e os avanços tecnológicos que mudaram os padrões de consumo da população. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Brasil segue o panorama mundial, e o consumo nacional de energia elétrica tem aumentado gradativamente. De acordo com a resenha sobre o comportamento do consumo publicada mensalmente pela EPE, o consumo acumulado de março de 2023 a março de 2024, apresentou um crescimento de 5,4% quando comparada com março de 2022 a março de 2023 (EPE, 2024). Além disso, a EPE destaca que o mês de fevereiro de 2024 apresentou o quarto maior consumo de toda a série histórica dos últimos 20 anos, com a classe residencial liderando o aumento pelo quinto mês consecutivo (EPE, 2024).

Este contexto, somado ao impulsionamento global pela maior participação de fontes limpas e renováveis, incentivou uma maior diversificação da matriz elétrica brasileira com uma adição considerável da energia eólica e solar fotovoltaica. Esta última apresentou um crescimento expressivo, principalmente na modalidade de geração distribuída (GD), cuja principal característica é a proximidade da geração descentralizada com o consumidor, ou seja, com a carga. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), atualmente o Brasil conta com mais de 2,4 milhões de sistemas conectados à rede de distribuição de energia elétrica, com potência instalada superior a 27,7 GW. Destaca-se que em 2023 foram instalados mais de 625 mil sistemas fotovoltaicos de GD no Brasil (ANEEL, 2024).

A inclusão da GD tem se tornado uma alternativa importante tanto do ponto de vista do consumidor, que passou a utilizar os excedentes de geração como créditos na conta de energia, quanto do ponto de vista da rede de distribuição, com parte de sua demanda suprida diretamente pelo próprio consumidor. No entanto, a adesão massiva por essa forma de geração pode também causar impactos relevantes, principalmente no que concerne a qualidade da energia elétrica (QEE).

A QEE diz respeito aos desvios da tensão e/ou corrente com relação a um sinal senoidal puro com frequência constante (Mehl, 2012, Frassi, 2023). No que tange a uma fonte, QEE refere-se à capacidade de fornecer um suprimento contínuo de energia aos consumidores, em condições que atendam aos padrões de qualidade especificados. Ela é essencial para garantir a eficiência e o funcionamento adequado dos equipamentos e sistemas elétricos, envolvendo a estabilidade da tensão, a minimização de distúrbios e a conformidade com os parâmetros

regulamentados. Em um sistema afetado por problemas de QEE podem ocorrer oscilações, surtos, ruídos, flutuações de tensão e interrupções de energia, afetando a vida útil de equipamentos e a confiabilidade da rede elétrica (Mehl, 2012, Frassi, 2023).

Dentre os principais problemas que a alta inserção da GD fotovoltaica podem causar à QEE, destacam-se:

- Distorção Harmônica - É a distorção na forma de onda do sinal de tensão ou corrente causada por harmônicos, os quais são componentes de frequência múltiplas inteiras da frequência fundamental do sistema. Esse fenômeno é provocado por cargas não lineares conectadas à rede, como equipamentos eletrônicos, e pode causar problemas como afundamento de tensão, interrupções de fornecimento, flutuações e outras perturbações (Baladi, 2023; Dias, 2023; Control, 2023). No que concerne a GD fotovoltaica, a presença de inversores para conexão com a rede elétrica é uma das principais preocupações, uma vez o chaveamento desses dispositivos eletrônicos é utilizado para conversão entre corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA), modificando a forma de onda. À medida que a penetração fotovoltaica aumenta, as empresas de serviços públicos precisam redobrar a atenção para mitigar esses impactos intensificados (Torquato, Trindade, Freitas, 2014).
- Sobretensão - A sobretensão é um fenômeno elétrico que ocorre quando há uma elevação temporária na amplitude da tensão, excedendo os níveis normais de operação (Lightning, 2024). É um problema comum em instalações fotovoltaicas e pode ser agravado em situações em que a carga é leve, quando a geração fotovoltaica é proporcionalmente mais elevada em relação à demanda. Isso pode causar o desligamento dos inversores (Cavalini, 2023).

Isto posto, a alta inserção da GD fotovoltaica pode causar elevação da tensão na rede elétrica, e, consequentemente, violações dos limites de tensão em regime permanente estabelecidos pela ANEEL, afetando a operação dos sistemas reguladores de tensão e a estabilidade da rede (Negreiros *et al* 2022, Corrêa, 2020). Além disso, o aumento do fluxo reverso de potência, que é quando a energia gerada excede a demanda de carga, resultando em um retorno dessa energia para a rede elétrica, pode impactar o perfil de tensão e o nível de desbalanço de tensão na rede, afetando a operacionalidade dos sistemas reguladores (Negreiros *et al* 2022).

Para minimizar estes problemas, são necessárias soluções e estratégias que garantam a estabilidade, a segurança e a eficiência da rede de distribuição de energia, envolvendo o uso de

reguladores de tensão, a implementação de sistemas de armazenamento de energia, o controle ativo da GD e o planejamento adequado da rede de distribuição (Gama *et al* 2022, Paludo, 2014). Além disso, a utilização de equipamentos de qualidade e a realização de instalações e manutenções adequadas são fundamentais para prevenir problemas em sistemas fotovoltaicos (Brito *et al* 2023, Paludo, 2014).

Em um cenário específico, a ocorrência de repetidas interrupções no fornecimento de energia na Universidade Federal Rural Do Semi-Árido (UFERSA), campus Caraúbas – RN, motivou uma análise preliminar da QEE no ponto de conexão entre uma usina fotovoltaica e a rede elétrica no bloco de professores I da instituição (Melo, 2023). A referida análise demonstrou alterações nos níveis de tensão no ponto de medição, acima dos limites permitidos pela ANEEL (ANEEL, 2021), além de destacar o baixo fator de potência da carga. No entanto, a avaliação inicial não permitiu identificar e relacionar os problemas apresentados com a presença da geração distribuída no local.

Diante do que foi discutido, o presente trabalho propõe uma análise das grandezas elétricas como tensão e corrente no ponto de conexão supracitado, a fim de avaliar o nível de tensão e as características das componentes de potência frente a diversos cenários de geração e consumo.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral analisar as grandezas elétricas no ponto de conexão entre a usina solar fotovoltaica do bloco de professores I e a rede elétrica da UFERSA – Campus Caraúbas-RN, a fim de associá-las aos problemas de QEE identificados no sistema.

Para atingir tal objetivo destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- Realizar uma análise estatística das grandezas elétricas coletadas;
- Avaliar a relação entre as alterações nos níveis de tensão e a inserção da geração distribuída no ponto de conexão;
- Avaliar o comportamento da carga por meio da corrente demandada e das componentes de potência;
- Relacionar as alterações no fator de potência e sua relação com as características de consumo locais.

1.2 Organização do Texto

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos incluindo este introdutório, que abrange uma série de conhecimentos dos temas abordados no trabalho.

O capítulo 2, que trata da fundamentação teórica para o estudo, aborda conceitos sobre a geração distribuída fotovoltaica, a QEE, os cálculos de potência, fator de potência e curva de carga, além de uma breve explicação sobre a análise estatística.

A metodologia, apresentada no capítulo 3, aborda os meios utilizados para o desenvolvimento do trabalho, como a obtenção e tratamento dos dados, os softwares adotados e as etapas para a realização do estudo. Já o capítulo 4 concentrou-se nos principais resultados obtidos por meio das análises realizadas ao longo do trabalho. Por fim, no capítulo 5 encontram-se as considerações finais e conclusões do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo estão apresentados os principais conceitos relacionados à pesquisa realizada, essenciais para compreensão e evolução nas etapas do trabalho.

2.1 Geração Distribuída Fotovoltaica

A geração fotovoltaica é um processo que converte a luz solar em energia elétrica, com base no efeito fotoelétrico. A descoberta do efeito fotovoltaico ocorreu em 1839 pelo físico francês Alexandre-Edmond Becquerel e a primeira célula fotovoltaica foi produzida em 1883 por Charles Fritts, que demonstrou o surgimento de uma corrente contínua e constante para a conversão elétrica a partir da luz solar (Solar, 2024). Dessa forma, os painéis solares, compostos por células fotovoltaicas, são responsáveis por receber a luz do sol e transformá-la em energia elétrica (Solar, 2024).

A energia fotovoltaica é uma forma de energia renovável, inesgotável e não poluente, e sua geração pode ocorrer mesmo em dias nublados ou chuvosos, sendo obtida por meio de pequenos geradores ou até mesmo de grandes campos solares (Iberdrola, 2024). Além disso, a manutenção dos sistemas de energia solar fotovoltaica é geralmente simples, contribuindo para garantir o desempenho eficiente e duradouro do sistema ao longo do tempo.

A GD é uma modalidade de geração descentralizada, podendo ser utilizada para diversas fontes renováveis, como eólica, solar e pequenas centrais hídricas (Portal Solar, 2024). A GD pode ser classificada em microgeração e minigeração distribuída, de acordo com a potência

instalada. A microgeração está relacionada com potências menores ou iguais a 75 kW e a minigeração distribuída corresponde a centrais com potência superior a 75 kW e inferior ou igual a 5 MW, ambas conectadas a rede de distribuição por meio de instalações das unidades consumidoras (ANEEL, 2021).

No Brasil, a energia solar teve seu marco inicial em 2011, com a construção da usina de energia solar de Tauá, localizada no Ceará. Essa cidade foi escolhida devido ao alto índice de irradiação solar, o que facilita e permite uma alta geração de energia (Solar, 2024). Em 2012 a resolução normativa nº 482/2012 da ANEEL possibilitou que consumidores de pequeno e médio porte gerassem sua própria energia elétrica, utilizando os excedentes de geração como créditos na conta de energia. Devido ao menor custo e maior versatilidade da geração solar fotovoltaica quando comparada as demais alternativas de geração, esta tecnologia corresponde a mais de 98% das instalações de GD no país (ANEEL, 2023).

A Lei Brasileira 14.300, também chamada de Marco Legal da Geração Distribuída, publicada em 7 de janeiro de 2022, estabelece a cobrança dos custos de distribuição para quem gera sua própria energia, compensando o uso da rede com créditos de geração. Projetos instalados antes de 7 de janeiro de 2023 seguem as regras de compensação atuais até 31 de dezembro de 2045. A lei não aborda questões fiscais, como o ICMS, e visa garantir segurança jurídica para os consumidores, embora implique em custos adicionais para quem instala painéis solares. O processo de homologação para energia solar tornou-se mais simples, mas ainda requer profissionais qualificados e documentação específica (Brasil, 2022).

Para entender como a energia solar fotovoltaica pode ser uma alternativa viável para a geração distribuída, é fundamental compreender alguns conceitos-chave, como a irradiação e irradiância solar. A irradiância diz respeito à quantidade de energia proveniente do sol que atinge uma superfície específica por unidade de área, e é medida em Watts por metro quadrado (W/m^2) (Gómez *et al* 2018).

A avaliação da irradiância solar é importante para o funcionamento eficaz dos painéis solares, facilitando o projeto, instalação e manutenção desses sistemas. Ao entender o impacto da irradiância solar na geração de energia, os usuários podem otimizar a orientação e inclinação dos painéis solares, ajustando as metas de produção de energia para garantir um desempenho contínuo e eficiente (Gómez *et al* 2018).

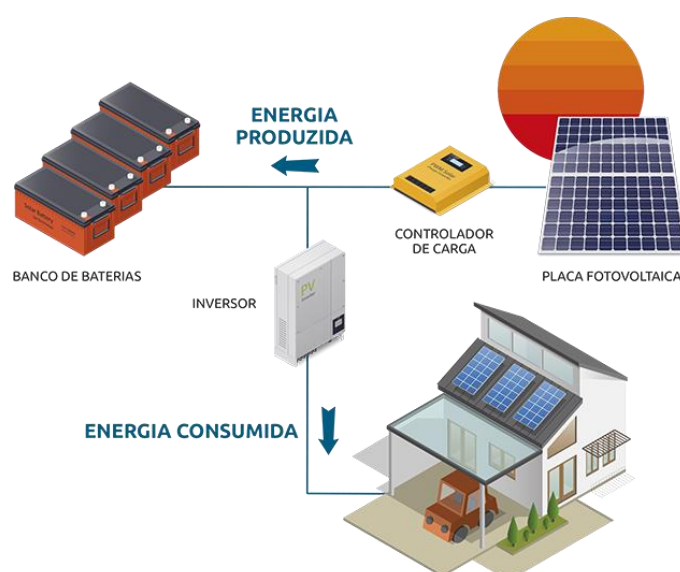
A irradiação solar é a irradiância integrada em um intervalo de tempo especificado, geralmente de uma hora ou um dia, sendo dada em Watt-hora por metro quadrado (Wh/m^2). A irradiação pode ser definida ainda como uma determinada quantidade de radiação solar por unidade de área (Gómez *et al* 2018).

A quantidade de irradiação solar global varia consideravelmente dependendo de fatores como localização geográfica, altitude, topografia e clima. O Brasil apresenta um potencial fotovoltaico substancial, especialmente na região Nordeste, que se destaca como uma das áreas com maior recebimento de irradiação solar. Mesmo em regiões com menor exposição solar, como o Sul, ainda é viável gerar uma quantidade considerável de energia solar fotovoltaica devido ao potencial geral do país (Reinders *et al.* 2017).

Ademais, os sistemas fotovoltaicos podem ser isolados da rede elétrica (*off-grid*) ou conectados à rede (*on-grid*). O sistema *off-grid*, apresentado na Figura 1, é uma solução para gerar energia em locais remotos sem acesso à rede elétrica. Esse tipo de sistema é composto por (Blog V2C, 2024, Iberdrola, 2024):

- Painéis solares que são grupos de células fotovoltaicas montadas entre camadas de silício, que captam a radiação solar e transformam a luz (fótons) em energia elétrica (elétrons);
- Controladores de carga ou reguladores que protegem a bateria contra sobrecargas evitando o uso ineficaz da bateria;
- Baterias que armazenam a energia dos painéis que não está sendo usada no momento, para que seja usada quando necessário;
- Inversores, que têm o papel de converter a corrente contínua em corrente alternada própria para o consumo.

Figura 1: Sistema *Off-Grid*.



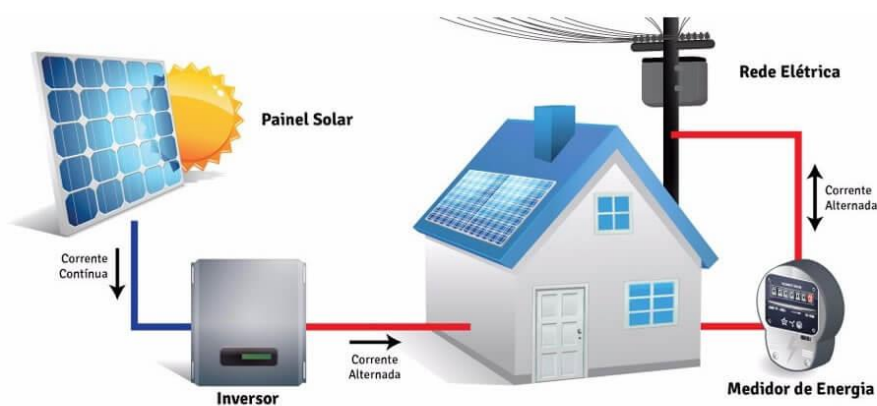
Fonte: Ecoaquecedores (2024).

O sistema *off-grid* é normalmente utilizado em áreas rurais, seja para apoio às telecomunicações ou para alimentar o sistema de bombeamento para irrigação. Suas principais vantagens são fornecer energia em lugares remotos e a independência energética, sendo livre de falhas que possam vir das redes de energia de serviços públicos (Solarvolt, 2024).

Já um sistema fotovoltaico *on-grid* é uma solução que permite a geração de energia solar e sua integração com a rede elétrica convencional. Esse tipo de sistema, exibido na Figura 2, é composto por painéis solares, inversor solar e equipamentos de proteção e medição.

Quando a geração solar é superior ao consumo, o excedente é injetado na rede elétrica, gerando créditos de energia. Por outro lado, quando a geração é insuficiente, o consumidor é suprido pela rede elétrica (Portal Solar, 2024). Dessa forma, esses sistemas permitem a geração de energia solar integrada com a rede elétrica convencional, trazendo benefícios econômicos e ambientais. As principais vantagens do sistema *on-grid* são a possibilidade de compensação de energia, geração de créditos de energia e a sustentabilidade. As desvantagens incluem a dependência da rede elétrica, a interrupção do fornecimento em caso de falha da rede (Portal Solar, 2024).

Figura 2: Sistema *On-Grid*.



Fonte: Ribeiro (2024).

2.2 Qualidade da Energia Elétrica

A QEE diz respeito aos desvios manifestados na amplitude, forma de onda ou frequência dos sinais de tensão e/ou corrente que podem resultar em falha ou mau funcionamento de equipamentos (Mehl, 2012, Frassi, 2023). Esse termo é empregado em diversos contextos, desde a geração e distribuição de energia até o consumo final. A QEE é essencial para o funcionamento adequado de equipamentos e sistemas elétricos, sendo fundamental para garantir a segurança e a eficiência das instalações elétricas.

A necessidade de quantificar parâmetros para garantir uma boa QEE levou a ANEEL, a incluir o módulo 8 no PRODIST, em 2009, para abordar adequadamente essa questão. O termo "PRODIST" se refere aos "Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional", os quais são estabelecidos pela ANEEL e visam padronizar a distribuição e o aproveitamento de energia elétrica no Brasil. Eles têm como objetivo garantir que os sistemas de distribuição e captação de energia funcionem adequadamente, sejam seguros e proporcionem acesso público aos sistemas de distribuição de energia elétrica.

Esta resolução é regularmente atualizada, com a última revisão em vigor desde 2018. Os indicadores do módulo 8 são fundamentais para analisar a QEE tanto em situações permanentes quanto transitórias. Com o aumento das conexões de usinas de micro e minigeração distribuídas ao Sistema Elétrico de Potência (SEP), tornou-se evidente a necessidade de estabelecer parâmetros específicos no módulo 8 do PRODIST para esses geradores que alimentam o SEP. Os PRODIST estabelecem indicadores e limites padronizados pela ANEEL, contribuindo para a regulação e a melhoria da QEE no país (ANEEL, 2021b).

O PRODIST é dividido em onze módulos, com destaque para o oitavo módulo, o qual está relacionado com a QEE e é dividido em quatro sessões:

1. Qualidade do produto, no qual são definidas as terminologias, estabelecidos os limites e/ou valores de referência, além de definir a metodologia de medição de tensão em regime permanente e transitório;
2. Qualidade do serviço, em que se define a padronização e as responsabilidades das unidades consumidoras;
3. Qualidade comercial, no qual definem-se os parâmetros de cumprimentos de prazos, atendimento telefônico e os procedimentos necessários para a apuração de reclamações;

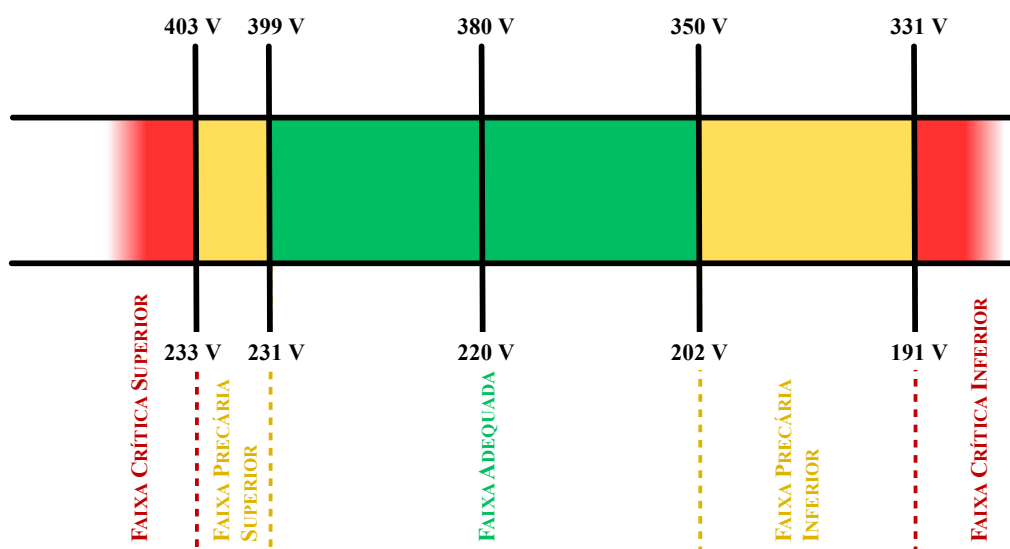
4. Segurança em instalações elétricas, no qual se estabelecem as condições de segurança no trabalho.

No que diz respeito a qualidade do produto, o tópico 1 traz os fenômenos associados a qualidade de energia, são eles: variação de tensão em regime permanente, alterações no fator de potência, distorções harmônicas, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão, variações de frequência e variações de tensão de curta duração. Como o foco desta pesquisa está nas variações da tensão em regime permanente e alterações no fator de potência, apenas esses dois tópicos serão brevemente discutidos.

2.2.1 Variação de Tensão em Regime Permanente

A conformidade de tensão em regime permanente refere-se à comparação do valor de tensão obtido por medição no ponto de conexão, em relação aos níveis de tensão especificados como adequados, precários e críticos. Esses limiares estão apresentados na Figura 3. A tensão em regime permanente deve ser acompanhada em todo o sistema de distribuição, devendo a distribuidora dotar-se de recursos e técnicas atuais para tal acompanhamento, atuando de forma preventiva para que a tensão em regime permanente se mantenha dentro dos padrões conforme definições desta seção. A conformidade dos níveis de tensão deve ser avaliada nos pontos de conexão com a rede de distribuição por meio dos indicadores estabelecidos no módulo 8 do PRODIST. Os valores de tensão obtidos por meio dessas medições devem então ser comparados com os valores de tensão nominal no ponto de conexão (ANEEL, 2021b).

Figura 3: Faixa de limites de tensão.



Fonte: Adaptado de Melo (2023).

Os indicadores individuais de tensão em regime permanente descritos na seção 1 do PRODIST são os seguintes:

1. DRP (Duração Relativa da Transgressão Precária) - mede a duração relativa das transgressões dentro dos limites precários estabelecidos de tensão. O limite estabelecido para o DRP é de 3%.
2. DRC (Duração Relativa da Transgressão Crítica) - mede a duração relativa das transgressões dentro dos limites críticos estabelecidos de tensão. O limite estabelecido para o DRC é de 0,5%.

$$DRP = \frac{nlp}{1008} \times 100 [\%], \quad (1)$$

$$DRC = \frac{nlc}{1008} \times 100 [\%], \quad (2)$$

em que nlp é o maior valor entre as fases do número de leituras situadas na faixa precária e nlc é o maior valor entre as fases do número de leituras situadas na faixa crítica.

Esses indicadores são utilizados para avaliar a conformidade da tensão em relação aos níveis de tensão especificados como adequados, precários e críticos. São calculados a partir de um conjunto de leituras obtidas por medição apropriada, de acordo com a metodologia descrita no PRODIST. O conjunto de leituras deve compreender o registro de 1008 leituras válidas, salvo as que eventualmente sejam expurgadas (ANEEL, 2021b).

Os valores dos indicadores individuais de tensão em regime permanente, como o DRP e o DRC, são essenciais para monitorar e garantir a qualidade da energia elétrica fornecida aos consumidores, permitindo que as distribuidoras ajam de forma preventiva para manter a tensão em regime permanente dentro dos padrões estabelecidos.

2.2.2 Fator de Potência

O fator de potência é uma medida que expressa a relação entre a potência ativa e a potência aparente em um sistema elétrico. Ele pode ser calculado a partir dos valores registrados das potências ativa e reativa (P , Q) ou das respectivas energias ativa e reativa (EA , ER). O PRODIST estabelece que o fator de potência deve ser controlado por medição permanente e obrigatória para unidades consumidoras atendidas pelo Sistema de Distribuição de Média Tensão (SDMT) e pelo Sistema de Distribuição de Alta Tensão (SDAT). Além disso, para unidades consumidoras do Grupo A ou ponto de conexão entre distribuidoras com tensão

inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve ser superior a 0,92. A não conformidade com esses limites pode implicar compensações a serem mantidas enquanto os indicadores de qualidade da tensão, como DRP e DRC, estiverem acima dos limites estabelecidos (ANEEL, 2021b). O PRODIST define o cálculo do fator de potência pelas seguintes equações:

$$FP = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}, \quad (3)$$

$$FP = \frac{EA}{\sqrt{EA^2 + ER^2}}, \quad (4)$$

em que f_p representa o fator de potência.

A COSERN estabelece uma faixa aceitável de FP para sistemas de geração distribuída de até 75 kW. Na Tabela 1 são especificados os limites de FP para diferentes valores de potência instalada em sistemas de microgeração distribuída. Esses valores são relevantes quando a geração de energia do sistema ultrapassa 20% da potência nominal.

Tabela 1: Valores limites de fator de potência estabelecidas pela COSERN

Potência nominal do sistema de microgeração (kW)	Faixa aceitável do fator de potência
$P < 3$	0,98 indutivo até 0,98 capacitivo
$3 \leq P \leq 6$	0,95 indutivo até 0,95 capacitivo
$6 < P$	0,90 indutivo até 0,90 capacitivo

Fonte: COSERN, 2022.

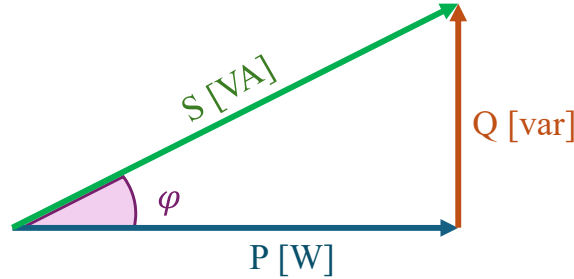
2.3 Caracterização da Potência Elétrica

2.3.1 Potência Ativa, Reativa e Aparente

A potência ativa corresponde à média da potência instantânea, isto é, é a taxa média de variação de transferência de energia em um circuito. Por esse motivo, a potência ativa está relacionada com a potência efetivamente consumida em um circuito, ou seja, com a realização de trabalho útil (Coelho, 2022). O cálculo da potência ativa em um circuito de corrente alternada pode ser realizado de diversas formas, sendo uma delas a partir da utilização do triângulo de potências. Esse método é fundamental para calcular qualquer uma das três potências (ativa, reativa e aparente) e requer conhecimento em trigonometria. As fórmulas obtidas por meio do triângulo de potências são essenciais para compreender e realizar o cálculo da potência ativa

em circuitos de corrente alternada (Mattede, 2024). Na Figura 4 é apresentado o triângulo utilizado para realizar os cálculos das potências, em que P é a potência ativa, S a potência aparente, Q a potência reativa e φ o ângulo do fator de potência.

Figura 4: Triângulo de potências.



Fonte: Autoria Própria (2024).

A potência ativa em um circuito de corrente alternada pode ser calculada conforme:

$$P = V \times I \times \cos(\varphi), \quad (5)$$

em que P é a potência ativa, V denota o valor eficaz da tensão, I é o valor da corrente e φ representa o desvio de fase entre os sinais de tensão e corrente.

A potência reativa surge devido à presença de elementos reativos em um circuito. Essa potência não realiza trabalho útil, mas é essencial para o estabelecimento de campos magnéticos e elétricos necessários em muitos equipamentos elétricos. Sua unidade de medida é o volt-ampère reativo (var). A potência reativa (Q) em um circuito de corrente alternada pode ser calculada conforme:

$$Q = V \times I \times \sin(\varphi), \quad (6)$$

A potência aparente, também conhecida como potência total que uma determinada fonte pode fornecer, é a soma vetorial da potência ativa (P) e da potência reativa (Q) em um circuito elétrico. Sua unidade de medida é o volt-ampère (VA) (Mattede, 2024). Esta componente pode ser calculada por:

$$S = V \times I = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (7)$$

O fator de potência é uma medida da eficiência energética de um sistema elétrico, especialmente em instalações industriais, sendo fundamental para avaliar a aproveitamento da energia elétrica. Essa medida é influenciada diretamente pela defasagem entre a tensão e a corrente elétrica, indicando a presença de reatâncias no sistema, ou seja, a presença de elementos reativos como indutores e capacitores (Mattede, 2024). Dessa forma, quanto maior

a defasagem, menor o fator de potência. De fato, o fator de potência é definido como o cosseno do ângulo de defasagem entre a corrente e a tensão:

$$FP = \frac{P}{S} = \cos \varphi . \quad (8)$$

Um baixo fator de potência está ligado a uma presença significativa de potência reativa, o que resulta em um aproveitamento reduzido da potência aparente em forma de potência ativa, ou seja, em trabalho. Portanto, quanto mais alto o fator de potência, mais eficiente é a utilização energética do sistema.

A partir da Equação (8) nota-se que o fator de potência é sempre menor que um, pois a potência aparente será sempre maior ou igual à potência ativa (Mochetti, 2024).

2.3.2 Curva de Carga

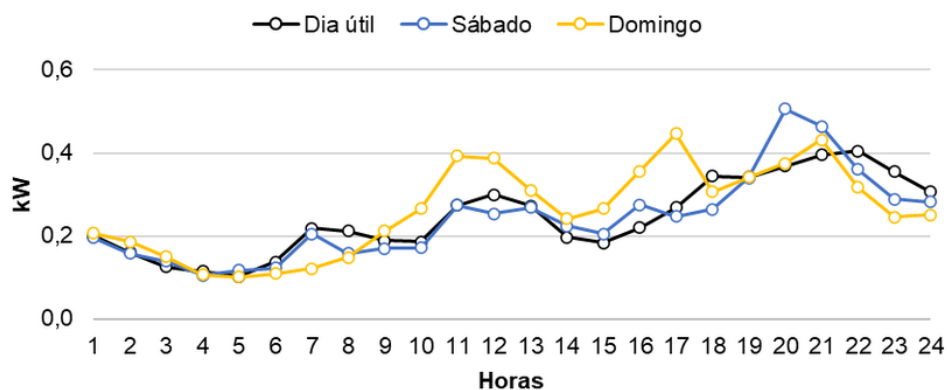
A curva de carga é uma representação gráfica da variação do consumo de energia elétrica ao longo do tempo, levando em consideração não apenas a quantidade de energia consumida, mas também a eficiência com que essa energia é utilizada.

Em uma curva de carga a potência é representada ao longo do tempo, mostrando os picos de demanda e os períodos de menor consumo. Como o fator de potência indica se a energia está sendo utilizada de forma eficiente, ao analisar a curva de carga e as informações de potência e fator de potência é possível identificar padrões de consumo, picos de demanda, ineficiências no uso da energia e oportunidades de otimização. A análise da curva de carga é essencial para compreender o comportamento do consumo de energia ao longo do tempo (Cardoso *et al* 2021).

A análise da curva de carga é importante para compreender o comportamento do consumo de energia ao longo do tempo pois permite identificar padrões de consumo de energia ao longo do dia, da semana ou de períodos mais longos. Isso inclui picos de demanda, períodos de baixa utilização e variações sazonais, através da curva de carga também é possível fazer o planejamento energético de uma região, cidade ou instalação. Permite prever a demanda futura de energia e planejar investimentos em geração, transmissão e distribuição de forma mais eficiente e sustentável, compreender a curva de carga ajuda a identificar oportunidades de melhoria na eficiência energética. Por exemplo, ao identificar períodos de baixa utilização, é possível implementar medidas para reduzir o consumo nesses momentos e otimizar o uso de energia. Com o aumento da geração de energia a partir de fontes renováveis, como solar e eólica, a análise da curva de carga é importante para integrar de forma eficiente essas fontes

intermitentes ao sistema elétrico, garantindo o equilíbrio entre oferta e demanda (Cardoso *et al* 2021). Na Figura 5 apresenta-se um exemplo de curva de carga.

Figura 5: Exemplo de curva de carga.



Fonte: Rodrigues e Rampinelli (2020).

2.4 Análise Estatística

2.4.1 Média e Desvio Padrão

Ao se analisar um conjunto de dados de forma estatística, conceitos como média, mediana, desvio padrão e variância se destacam por serem medidas de dispersão e indicativos da variabilidade dos dados.

A média, também conhecida como valor médio, é calculada somando todos os valores de um conjunto de dados e dividindo pelo número total de elementos. Ela representa uma medida central dos dados, indicando um valor típico de um conjunto de dados. Embora seja amplamente utilizada para resumir conjuntos de dados e facilitar a compreensão de sua distribuição, esta medida é sensível a valores extremos, principalmente em conjuntos pequenos, pois cada valor contribui igualmente para o cálculo (Gouveia, 2024). A mediana, por sua vez, considera o conjunto de dados ordenados, indicando o valor que está no meio separando esse conjunto de dados em duas metades (Oliveira, 2024).

O desvio padrão é uma medida de dispersão que indica o quão distantes os valores individuais estão da média do conjunto de dados. Ele quantifica a variabilidade dos dados, mostrando o grau de afastamento em relação à média (Santos, 2024).

Um desvio padrão baixo sugere que a maioria dos valores está próxima da média, indicando uma menor dispersão dos dados. Por outro lado, um desvio padrão alto aponta para uma maior variabilidade e dispersão dos valores em relação à média (Santos, 2024).

A média e o desvio padrão são amplamente utilizados em estatística para resumir conjuntos de dados, comparar distribuições, identificar *outliers* e avaliar a variabilidade dos dados. Essas medidas são essenciais em diversas áreas, como ciências, economia, engenharia e pesquisas acadêmicas, auxiliando na tomada de decisões informadas e na compreensão dos padrões presentes nos dados analisados.

2.4.2 Percentis

Segundo Salazar e Del Castillo (2018), percentis são certos números que dividem a sequência de dados ordenados em cem partes iguais de percentagens. Eles são úteis para entender a distribuição dos dados e identificar a posição de um valor específico dentro desse conjunto. Os percentis são utilizados para mostrar, principalmente, a proporção de valores que estão abaixo de um valor específico, mas também fornece informações sobre os que estão acima desse valor. Por exemplo, se um valor está no 75º percentil, isso significa que 75% dos dados estão abaixo desse valor e 25% estão acima (Martins, 20214).

O cálculo do percentil é realizado seguindo alguns passos específicos. Primeiramente, os dados devem ser ordenados em ordem crescente ou decrescente. Em seguida, a posição do percentil desejado na amostra é calculada conforme:

$$L_p = \frac{(n + 1) \times k}{100}, \quad (7)$$

em que L_p é a posição do percentil na amostra, n é a quantidade de elementos da amostra e k é o número do percentil desejado.

Os percentis são amplamente utilizados em diversas áreas, como saúde, estatística, finanças e análise de dados, para compreender a distribuição dos dados, identificar tendências e anomalias, e tomar decisões informadas com base na posição relativa dos valores em um conjunto de dados.

2.4.3 Boxplot

Um *boxplot*, também conhecido como diagrama de caixa ou *box and whisker plot*, é uma representação gráfica que resume um conjunto de dados de forma visual. Ele fornece informações sobre a distribuição dos dados, destacando medidas estatísticas importantes (Peres, 2022).

Os componentes de um *boxplot*, são:

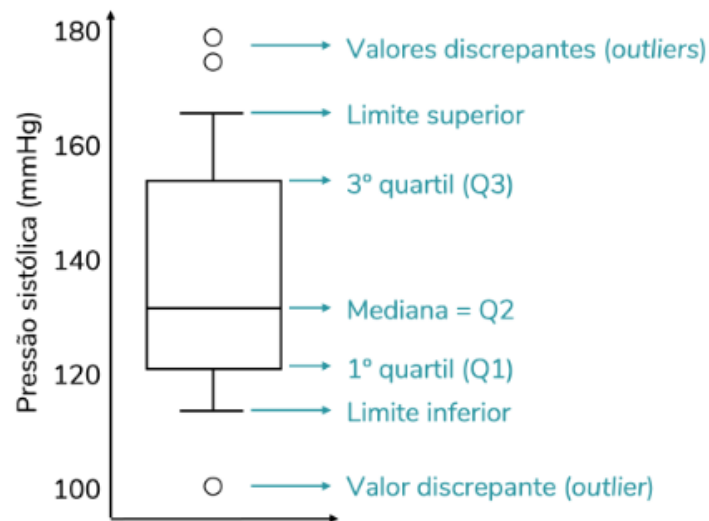
- Caixa (*box*) - representa o intervalo interquartil, ou seja, a diferença entre o terceiro quartil (Q3) e o primeiro quartil (Q1). O primeiro quartil (Q1) é o valor que divide

os 25% menores valores do conjunto de dados dos 75% maiores valores. O terceiro quartil (Q3) é o valor que divide os 25% maiores valores do conjunto de dados dos 75% menores valores. A diferença entre o terceiro quartil (Q3) e o primeiro quartil (Q1) é chamada de intervalo interquartil (IIQ) e é uma medida de dispersão que indica a variação dos dados em torno da mediana;

- Mediana - representada pela linha dentro da caixa, define o valor que divide o conjunto de dados ao meio;
- Hastes (*Whiskers*) - se estendem a partir da caixa até os valores mínimo e máximo dos dados, excluindo os *outliers*;
- *Outliers* - são valores extremos que se diferenciam drasticamente dos demais representando anomalias nos resultados. Também são chamados de dados discrepantes e, se existirem, são representados como pontos individuais além das hastes.

Na Figura 6 apresenta-se um exemplo de um *boxplot* com destaque para todos os seus componentes.

Figura 6: Exemplo de *boxplot*



Fonte: Peres (2022).

3 METODOLOGIA

Este trabalho tem como foco a análise de dados de corrente, tensão, potências e fator de potência, e avaliação da sua relação com a geração distribuída fotovoltaica no local de medição e comportamento da carga no mesmo ponto. Para isso, três tipos de dados foram obtidos:

- As grandezas elétricas de tensão, corrente, fator de potência, potência aparente, reativa e ativa;
- Irradiância solar local no mesmo período;
- Projeto elétrico do local no qual as medições foram realizadas.

3.1 Conjuntos de Dados

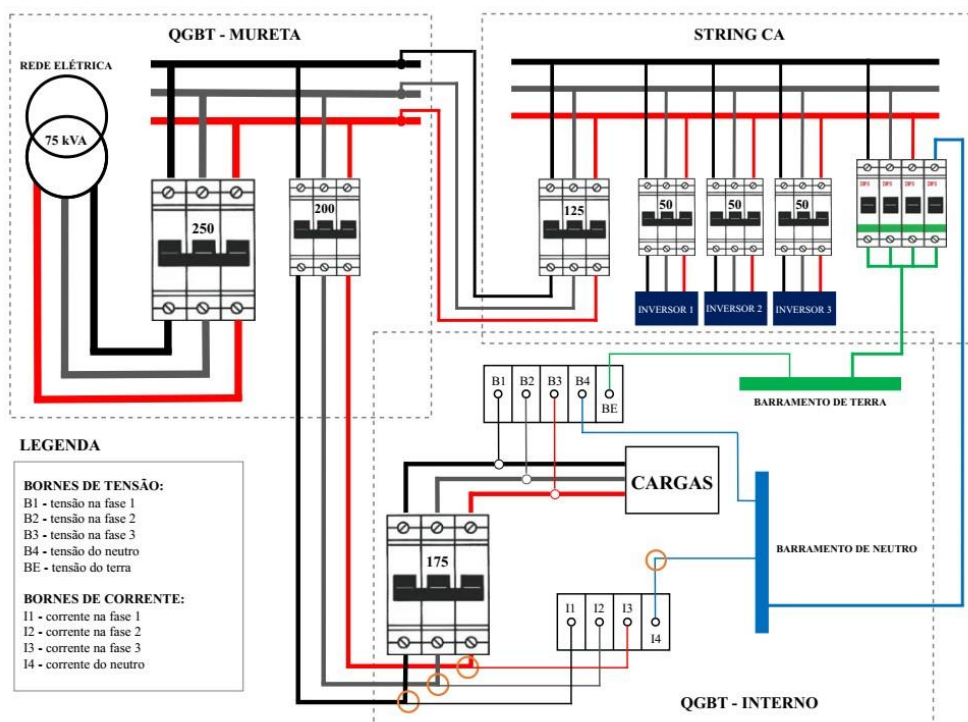
3.1.1 Grandezas Elétricas

As grandezas elétricas utilizadas neste trabalho foram obtidas por Melo (2023) por meio de um analisador de QEE instalado no ponto de conexão entre a usina fotovoltaica e o bloco de professores I da UFERSA campus Caraúbas – RN. O equipamento, também chamado de qualímetro, é usado para avaliar várias variáveis do sistema elétrico, detectar problemas nos níveis de tensão ou corrente, identificar distúrbios que possam afetar equipamentos e instalações, e oferecer uma visualização em tempo real de parâmetros elétricos. O modelo específico utilizado foi o MINIPA ET-5061C, cedido pelo laboratório de Engenharia Elétrica da UFERSA em Caraúbas/RN (Melo, 2023).

A usina fotovoltaica em questão é composta por 196 painéis solares de 410 (Wp) cada, resultando em uma potência total de 80,36 (kWp). Para conectar-se à rede, são empregados três inversores trifásicos de 25 (kW) da marca GROWATT, os quais operam em paralelo (Melo, 2023).

O dispositivo foi instalado no Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) no interior do Bloco de Professores I. A energia elétrica para esse QGBT vem do QGBT externo do bloco (localizado na mureta), onde as saídas dos inversores estão conectadas ao barramento de fases. Esse barramento de fases também recebe energia da rede de distribuição por meio da subestação de 75 kVA (Melo, 2023). Apresenta-se, na Figura 7, o esquema de ligação usado para conectar o analisador ao Ponto de Acoplamento Comum (PAC) no QGBT interno.

Figura 7: Conexão entre os quadros e ligação do qualímetro.



Fonte: Melo (2023).

O qualímetro foi ajustado após a instalação para analisar um sistema trifásico de 4 fios a 60 Hz e os parâmetros elétricos desejados foram selecionados. Conforme o protocolo do PRODIST, o analisador foi configurado para o período de leitura de 10 minutos, obtendo mais de 1008 leituras válidas durante quase três semanas, de 11/04/2023 a 01/05/2023. Os dados foram exportados para o computador usando o *software Topview* da MINIPA, e, em seguida, transformados para o formato .xlsx para leitura e manipulação no *software Excel*, permitindo análises detalhadas e gráficos dos parâmetros elétricos (Melo, 2023).

3.1.2 Irradiância solar

A UFERSA Campus Caraúbas – RN dispõe de uma estação meteorológica automática que está em operação desde 2019 e gera dados em tempo real a cada 10 minutos. A estação, instalada ao lado da usina solar localizada entre os blocos de salas de aula 1 e 2, está configurada para realizar registros da temperatura e umidade relativa do ar, ponto de orvalho, evapotranspiração de referência, velocidade, direção e rajada de vento, radiação solar global (irradiância) e precipitação pluviométrica (UFERSA, 2024).

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos na plataforma *HOBOLink* e selecionados para o mesmo período em que as medições das grandezas elétricas foram

realizadas, possibilitando a comparação do comportamento da geração com a variabilidade das grandezas analisadas.

3.1.3 Dados das Cargas do Bloco de Professores

O projeto do bloco de professores I foi cedido pela própria universidade e contém informações dos projetos arquitetônico, estrutural, hidráulico e elétrico do referido local. Salienta-se que a UFERSA campus Caraúbas/RN possui dois blocos de professores cujos projetos arquitetônicos e elétricos são semelhantes, dessa forma os dados incluem apenas o projeto do bloco II, sendo utilizado como referência para o local de medição.

Visando entender a variabilidade da carga e analisar possíveis distúrbios ou comportamentos discrepantes de cada fase, os quadros de carga foram analisados e as ligações foram organizadas por fase e incluídas no Apêndice A deste trabalho. Na Tabela 2 é apresentada a potência conectada em cada um dos quadros de carga bem como a carga total instalada.

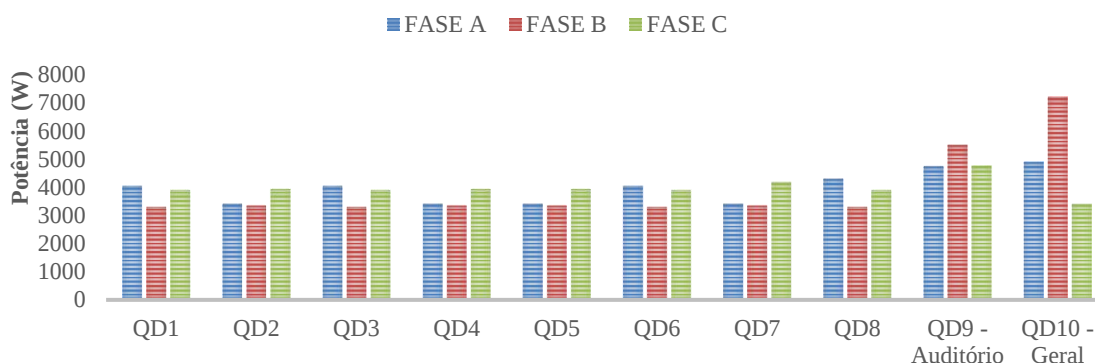
Tabela 2: Dados de Potência do Bloco de Professores

Quadro de Distribuição	Potência (W)		
	Fase A	Fase B	Fase C
QD1	4040	3300	3900
QD2	3400	3350	3940
QD3	4040	3300	3900
QD4	3400	3350	3940
QD5	3400	3350	3940
QD6	4040	3300	3900
QD7	3400	3350	4190
QD8	4290	3300	3900
QD9 – Auditório	4733	5493	4773
QD10 – Geral	4900	7208	3400
Total por fase	39643	39301	39783
TOTAL	118728 W		

Fonte: Autoria Própria (2024)

Destaca-se na Figura 8 a carga de cada uma das fases, na qual é possível observar a discrepância da fase B na conexão dos disjuntores monofásicos do quadro geral. Analisando o projeto arquitetônico e elétrico, constata-se que a fase em questão está conectada na sala da Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC), que devido à presença do servidor se mantém ligada independente do horário, além dos circuitos de tomadas e iluminação das áreas comuns como copa, banheiros e corredores. No entanto, ressalta-se que na fase C está conectada a tomada de uso específico da SUTIC, que mantém o ar-condicionado de 18000 BTUs ligado ininterruptamente.

Figura 8: Divisão das cargas do bloco de professores por fase.



Fonte: Autoria própria (2024)

Para compreender o comportamento da carga foi realizada uma entrevista com os servidores técnicos que trabalham no bloco, buscando informações sobre os horários de funcionamento do bloco, o horário de maior fluxo de pessoas, menor fluxo de pessoas, bem como os horários de pico no uso das áreas comuns. Por meio dessa entrevista identificou-se que o horário de maior fluxo de pessoas é de 6 às 22 horas, com destaque para os intervalos de aulas e horários de chegada dos professores próximo às 8, 15 e 18 horas.

3.2 Tratamento e Análise dos Dados

A organização e interpretação dos dados foi feita inicialmente por meio do *Excel*, no qual foi possível filtrar, selecionar e entender os dados obtidos através de filtros e tabelas. Em seguida, os dados foram transferidos para o software *Matlab*®, a fim de facilitar a manipulação e análise, além de possibilitar a obtenção dos gráficos necessários para o entendimento dos dados.

Os dados foram agrupados de três formas: i) por horário, independente do dia; ii) por horários de maior e menor fluxo; iii) dados diurnos e noturnos, especificamente quando relacionados a presença da geração distribuída. Além disso a variabilidade geral das grandezas ao longo de todo o período de medição foi analisada, excluindo o primeiro e último dia de medição por não fornecerem dados das 24 horas. Dessa forma, os dias analisados contém medições das 00:00 até as 23:50.

Elaborou-se um código no *Matlab*®, no qual foi possível gerar os gráficos de tensão, corrente e fator de potência, realizar as análises considerando conceitos estatísticos e gerar curvas de cargas, possibilitando a análise individual de cada grupo de dados bem como relacioná-los entre si. Destacam-se algumas funções utilizadas para análise estatística:

- *Boxplot* - possibilita a geração dos gráficos do tipo *boxplot* para cada um dos agrupamentos de dados anteriormente citados;
- *Perctile* - permite obter os valores dos percentis para geração das curvas de carga considerando a análise estatística;
- *anova1* - utilizada para análise de variância, possibilitando comparar as médias de diferentes grupos e determinar se há diferenças significativas entre eles;
- *Mean* e *median* - calculam a média e mediana, fornecendo parâmetros essenciais para o entendimento dos conjuntos de dados em diferentes dimensões.

De posse de todos os grupos e dados e das funções e códigos citados foi possível realizar uma análise detalhada das grandezas elétricas no ponto de medição.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

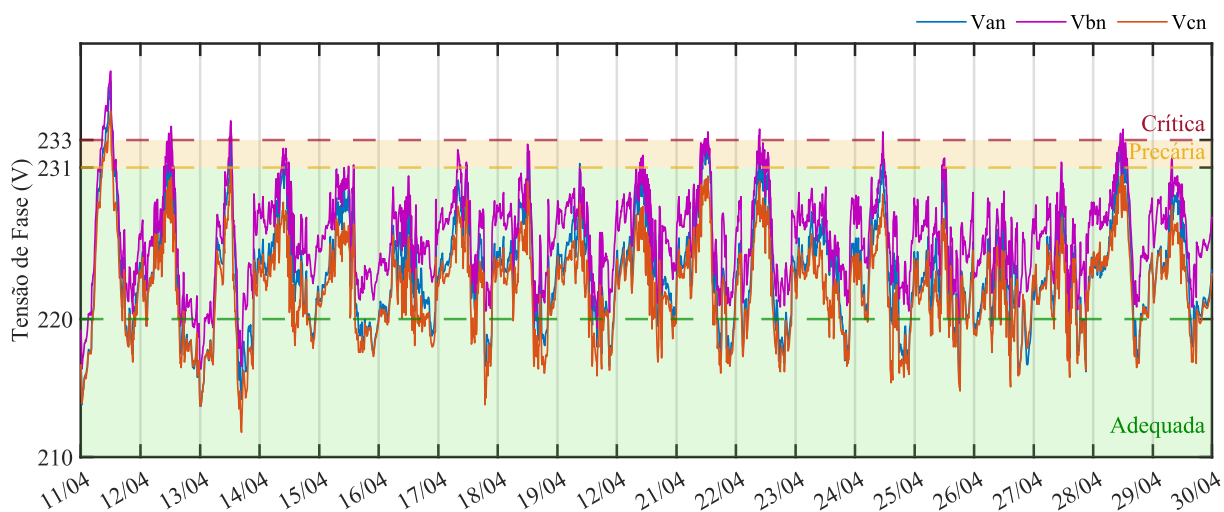
Após a manipulação dos dados utilizando o Matlab[®], foi possível realizar uma análise dos resultados. Este capítulo é dedicado a apresentação dos resultados obtidos a partir da análise minuciosa de cada variável, destacando cada uma das grandezas e suas implicações no contexto da pesquisa.

4.1 Tensões

Inicialmente, a tensão foi avaliada ao longo de todo o período de análise quanto a sua adequação dentro dos níveis estabelecidos pelo PRODIST, de acordo com o apresentado na Figura 3. Dessa forma, na Figura 9, o intervalo que identifica a tensão como adequada foi ressaltado em verde, os intervalos de função precária em amarelo e a tensão crítica estabelecida nos valores acima da linha tracejada em vermelho. Apresenta-se nesta mesma figura a variação das tensões nas três fases dia a dia.

O comportamento das tensões apresentado na Figura 9 corrobora os índices apresentados por Melo (2023), os quais apresentaram alterações nos índices de tensão precária e crítica, especialmente no que concerne à elevação de tensão. Observa-se que, em diversos momentos, a tensão assume valores acima dos considerados adequados nas três fases, destacando valores um pouco mais significativos na fase B.

Figura 9: Variação das tensões de fase no período de análise.



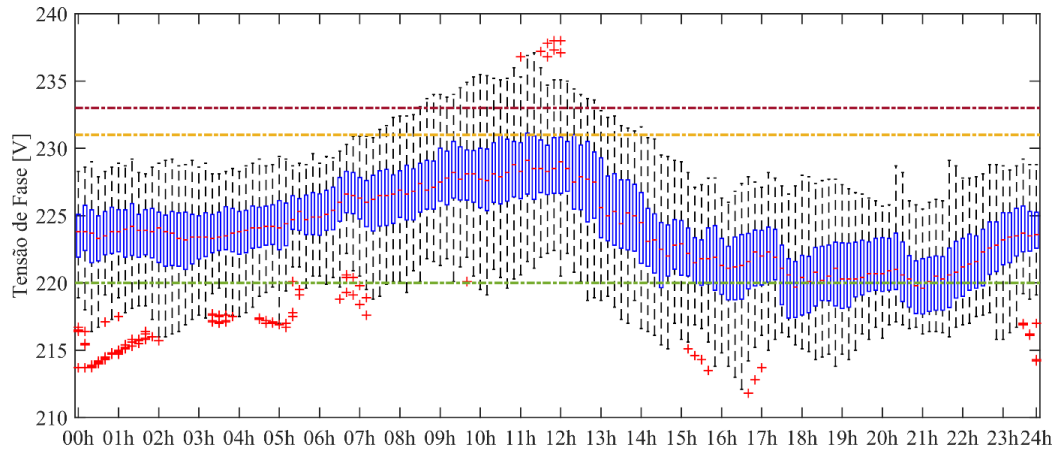
Fonte: Autoria própria (2024)

Para complementar esta análise, a tensão foi avaliada de forma estatística por meio de *boxplots* quando agrupada por horário, possibilitando compreender a sua associação com a GD fotovoltaica conectada no bloco. Este gráfico está apresentado na Figura 10. Observa-se que, muito embora a tensão média se mantenha dentro dos limites adequados, entre as 7:00 e as 14:00 a tensão assume uma gama significativa de valores precários, atingindo valores críticos tipicamente das 8:30 às 13:00. Analisando os *outliers* é possível observar que a tensão atinge, de forma esporádica, até 238 V entre 11:30 e 12:00.

Os valores elevados nos níveis de tensão podem ser comparados diretamente com a geração de energia da usina fotovoltaica por meio do gráfico de irradiância apresentado na Figura 11. É possível observar que o sol começa a nascer em torno das seis horas da manhã, e se põe próximo às cinco horas da tarde. A irradiância assume valores ainda mais significativos das 10 horas até aproximadamente as 14 horas, horários similares aos extremos encontrados nos níveis de tensão.

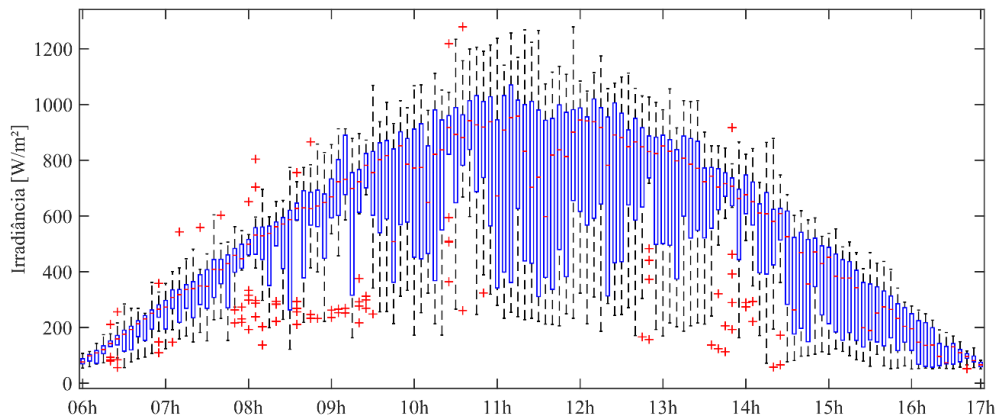
Ainda analisando a tensão é possível notar, tanto na variação total no período analisado (Figura 9), quanto na variação estatística (Figura 10), os valores mínimos são, esporadicamente, em torno de 211 V. Esses mínimos normalmente entre os horários de 15:00 e 17:00, que, de acordo com a entrevista conduzida estão dentro dos horários com um fluxo intenso de pessoas ou uso significativo das principais áreas do bloco. Essas observações podem ser comprovadas por meio da análise das correntes e potências associadas nos tópicos subsequentes dessa pesquisa e indicam que a presença de uma carga instantânea mais elevada pode de fato auxiliar na manutenção do nível de tensão diante de uma inserção considerável da GD.

Figura 10: Variação estatística da tensão de fase agrupada por hora



Fonte: Autoria própria (2024)

Figura 11: Variação estatística da irradiância por horário



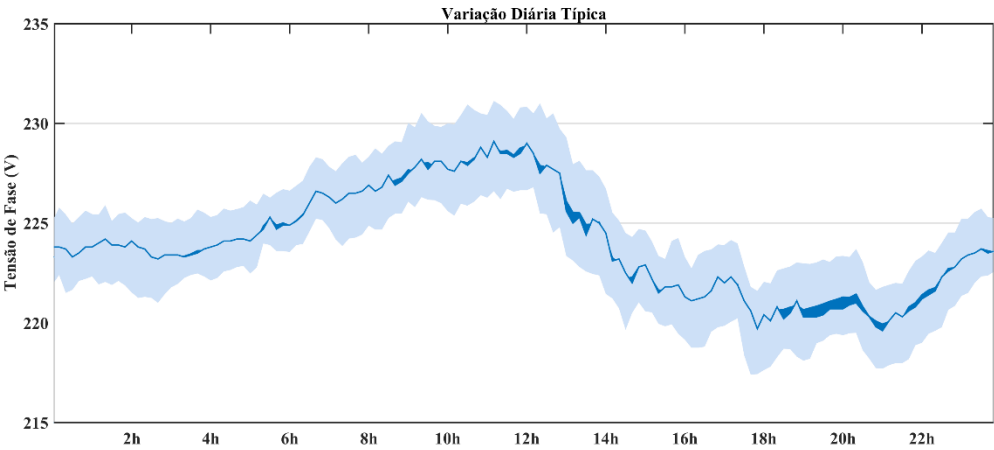
Fonte: Autoria própria (2024)

Uma variação diária típica da tensão é apresentada na Figura 12, para a qual se utilizou o cálculo de percentis, média e mediana, excluindo valores esporádicos. É possível observar que de fato a tensão apresenta, em média, valores maiores nos instantes de maior geração fotovoltaica, podendo superar, em um dia típico, os valores estabelecidos pelo PRODIST. Observa-se ainda que, de 14 h às 17 h a tensão volta a ter valores adequados mesmo com a geração presente, o que confirma mais uma vez que a elevação de tensão ocorre principalmente em instantes de carga leve, ou seja, o aumento da carga contribui para a regulação da tensão no ponto de medição.

Apresenta-se ainda, na Figura 13, a análise para a tensão diurna e noturna, ou seja, com e sem GD, na qual se observa que a tensão se mantém dentro dos limites adequados, entre 202 V e 230 V a noite, corroborando os fatos apresentados até aqui e comprovando a relação entre a geração extrema e a elevação de tensão no ponto de medição. Por fim, na Tabela 3, são

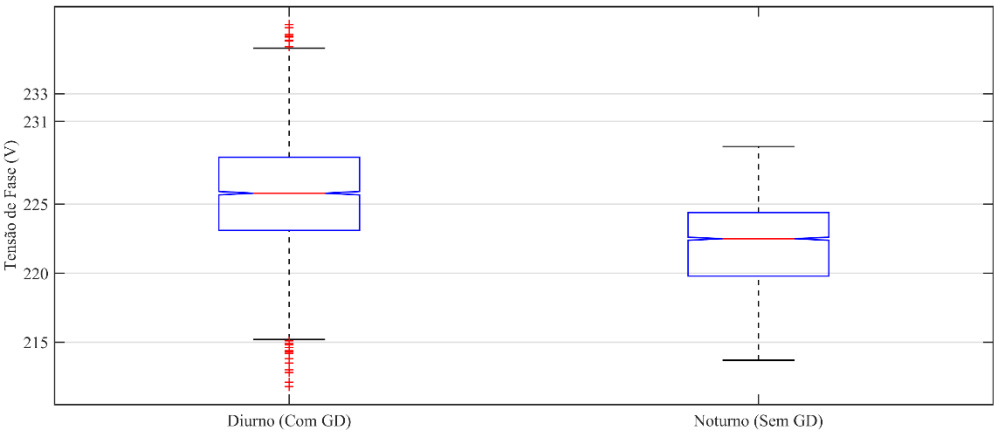
apresentados os valores de média e desvio padrão obtidos na análise dos grupos diurno e noturno.

Figura 12: Variação diária típica da tensão de fase.



Fonte: Autoria Própria (2024)

Figura 13: Comportamento da tensão diurno e noturno.



Fonte: Autoria Própria (2024)

Tabela 3: Valores médios e desvio padrão da tensão.

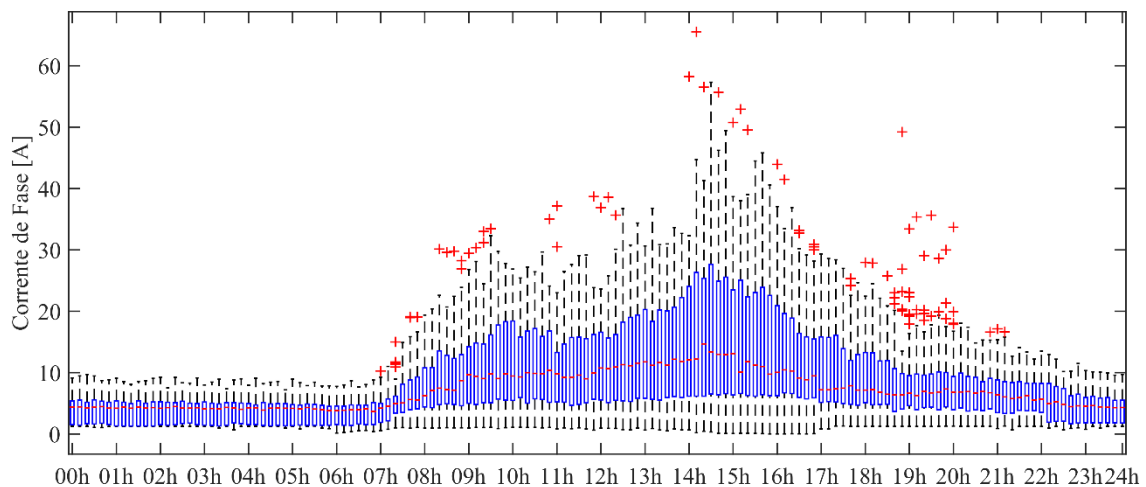
	Média da Tensão (V)	Desvio Padrão da Tensão (V)
Diurno	225,76	0,054060
Noturno	222,15	0,054915

Fonte: Autoria própria, 2024.

4.2 Corrente

Analisando a dinâmica da corrente elétrica, pode-se estabelecer uma analogia com o fluxo de pessoas, conforme revelado pela entrevista conduzida. O fluxo de pessoas tem início por volta das sete horas da manhã, estendendo-se até as vinte e duas horas e trinta minutos, abrangendo desde o período matutino até o noturno. Notadamente, durante o intervalo do meio-dia até meados da tarde, ocorre um aumento significativo no número de indivíduos, refletido também no aumento da demanda por refrigeração. É nesse momento que a maioria dos sistemas de ar-condicionado no edifício está em funcionamento, já que coincide com o ápice do calor diário. Na Figura 14 apresenta-se a variação estatística da corrente elétrica nas três fases quando seus valores estão agrupados por horário, representando um dia típico. Essa análise permite compreender melhor como a demanda de energia varia conforme os padrões de ocupação e atividade no ambiente.

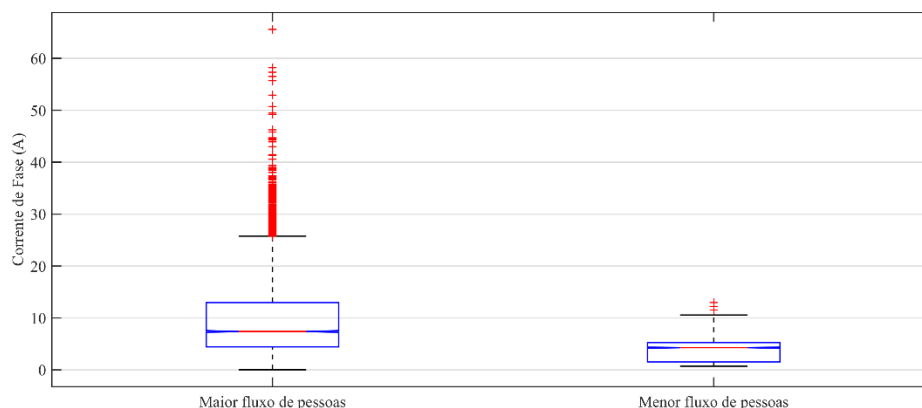
Figura 14: Variação da corrente por horário em todas as fases.



Fonte: Autoria própria, 2024.

A avaliação dos *boxplots* nos horários de maior e menor fluxo (7 horas da manhã até 22 horas da noite), apresentados na Figura 15, também descrevem o comportamento da carga nesses intervalos e corroboram com os horários obtidos na entrevista realizada.

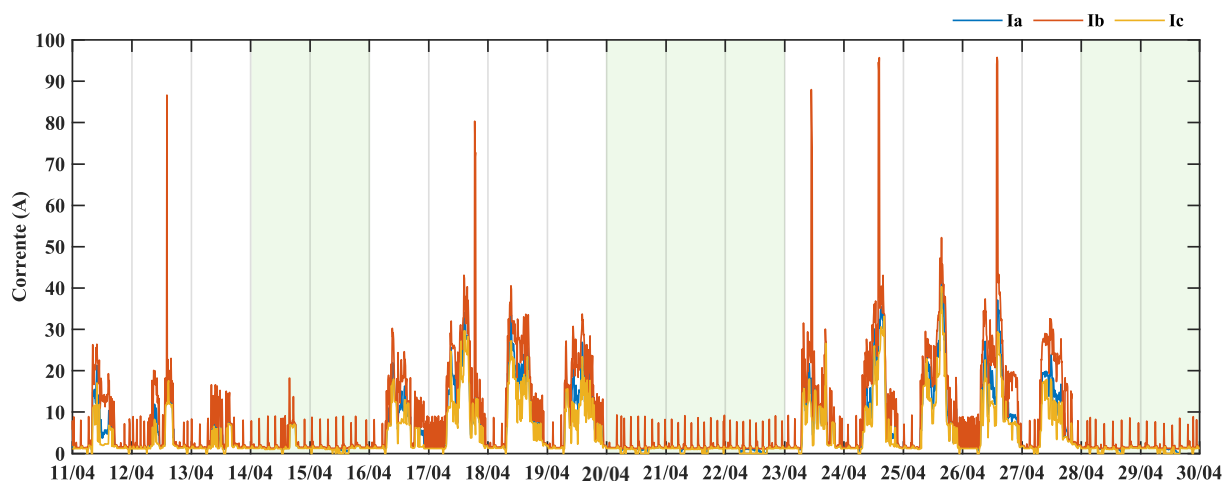
Figura 15: Variação da corrente nos horários de maior e menor fluxo



Fonte: Autoria própria (2024).

Adicionalmente, foi possível avaliar a corrente nas três fases ao longo dos dias, como apresentado na Figura 16. Salienta-se que os dias em que a corrente está mais baixa correspondem a fins de semana e ao feriado de Tiradentes (21/04). Além disso, destaca-se que a corrente apresenta valores instantâneos mais elevados na Fase B, na qual estão conectadas a iluminação, tomadas de uso geral e específicos das áreas comuns do prédio, incluindo os ar condicionados. Esse fato implica numa exigência de carga instantânea nessa fase, embora, em termos de cargas nominais as fases estejam equilibradas.

Figura 16: Variação das correntes de fase ao longo dos dias.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Por fim é mostrado na tabela 5 a média e o desvio padrão das correntes de maior e menor fluxo de pessoas no prédio.

Tabela 5: Média e desvio padrão das correntes nos horários maior e menor fluxo de pessoas.

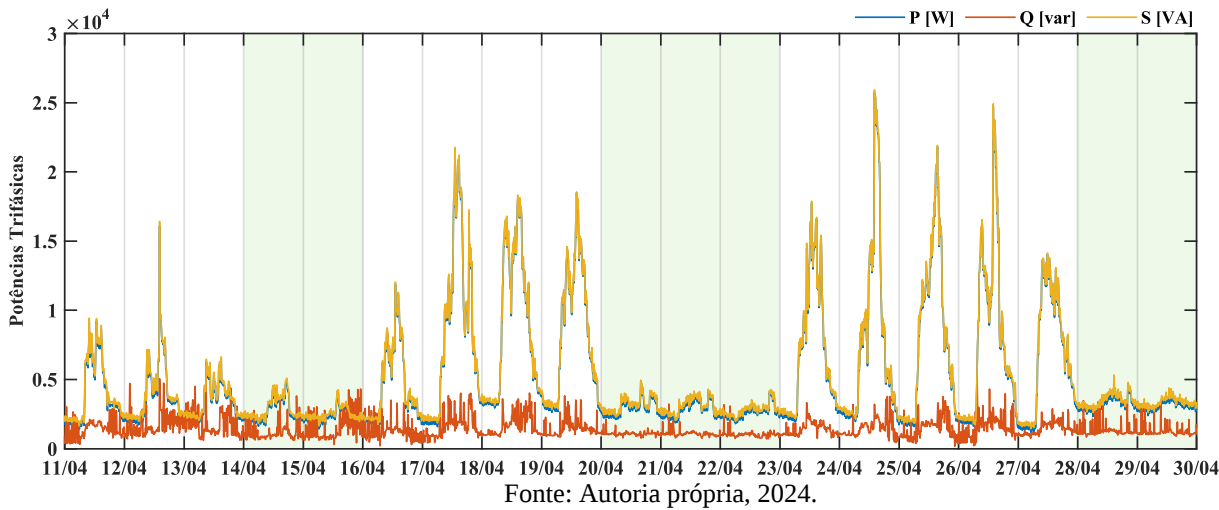
	Média de Corrente (A)	Desvio Padrão de Corrente (A)
Maior Fluxo de pessoas	9,6451	0,085805
Menor Fluxo de pessoas	3,9674	0,124850

Fonte: Autoria própria, 2024.

4.3 Potência

A análise das componentes de potência complementa os estudos realizados com as correntes de fase no que concerne o comportamento da carga. Na Figura 17, observam-se as potências trifásicas ativa, reativa e aparente. Nota-se que a potência ativa e aparente apresentam valores próximos, e, como esperado, a potência reativa representa uma menor parcela, o que indica uma tendência resistiva da carga. Além disso, as variações nas potências ativa e aparente estão relacionadas diretamente com o comportamento da corrente observado anteriormente, revelando padrões de uso da energia ao longo dos dias.

Figura 17: Variação de potência.



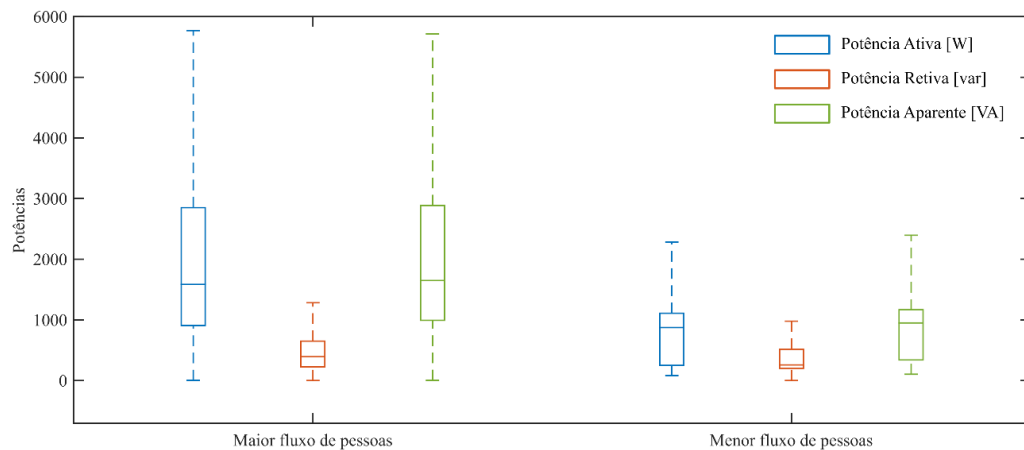
Na Figura 18 apresenta-se uma análise por meio de *boxplots* das relações entre as variações de potência e os diferentes níveis de fluxo de pessoas no bloco. Ao examinar os dados de potência dessa forma é possível identificar como as variações na quantidade de pessoas influenciam diretamente os padrões de consumo de energia. Nos períodos de maior fluxo humano, observam-se picos e variações mais elevados, indicando uma demanda energética mais intensa e variável. Por outro lado, nos momentos de menor movimento, os *boxplots* revelam valores e variações menores, refletindo uma demanda energética menor.

Além disso, nota-se que de fato a potência reativa tem variações similares para os dois

grupos observados na Figura 18. Dessa forma, a potências ativa e a aparente crescem significativamente durante o período de maior fluxo, indicando que quanto maior o número de cargas menor a contribuição relativa da potência reativa, diminuindo o efeito da não-linearidade das cargas individuais. Essa análise pode ser comprovada por meio da avaliação do fator de potência do tópico subsequente.

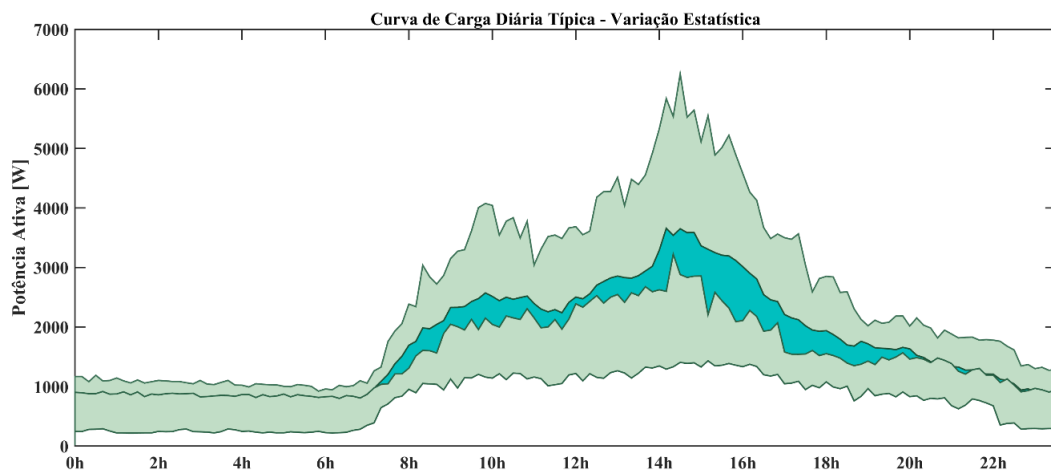
Ademais, a análise estatística por horário permitiu a geração de uma curva de carga típica que descreve o comportamento da demanda diária do bloco de professores analisado, apresentada na Figura 19. Essa curva utiliza o intervalo entre percentis, em verde claro, para indicar possíveis variações na carga, enquanto o intervalo entre a média e mediana, em verde escuro, indicam os valores esperados para a carga no bloco em um dia típico.

Figura 18: Níveis de potência para o maior e menor fluxo de pessoas.



Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 19: Curva de carga típica diária para o Bloco de Professores I.



Fonte: Autoria própria (2024).

Por fim, apresenta-se na Tabela 6 os valores de média e desvio padrão das potências ativa, reativa e aparente nos períodos de maior e menor fluxo de pessoas. Esses dados estatísticos fornecem detalhes das variações das potências em resposta aos diferentes níveis de atividade humana.

Ao examinar a tabela, podemos estabelecer padrões e tendências claras relacionadas à dinâmica energética conforme o fluxo de pessoas varia. As médias nos oferecem uma visão geral do consumo energético médio, enquanto os desvios padrão indicam a variabilidade e a dispersão dos dados.

Tabela 6: Média e desvio padrão das potências ativa, reativa e aparente.

Potência		Média	Desvio Padrão
Ativa (W)	Maior Fluxo de Pessoas	2093,6	19,296
	Menor Fluxo de Pessoas	809,2	28,076
Reativa (var)	Maior Fluxo de Pessoas	515,77	5,5270
	Menor Fluxo de Pessoas	400,96	8,0418
Aparente (VA)	Maior Fluxo de Pessoas	2158,3	19,184
	Menor Fluxo de Pessoas	884,05	27,913

Fonte: Autoria própria, 2024.

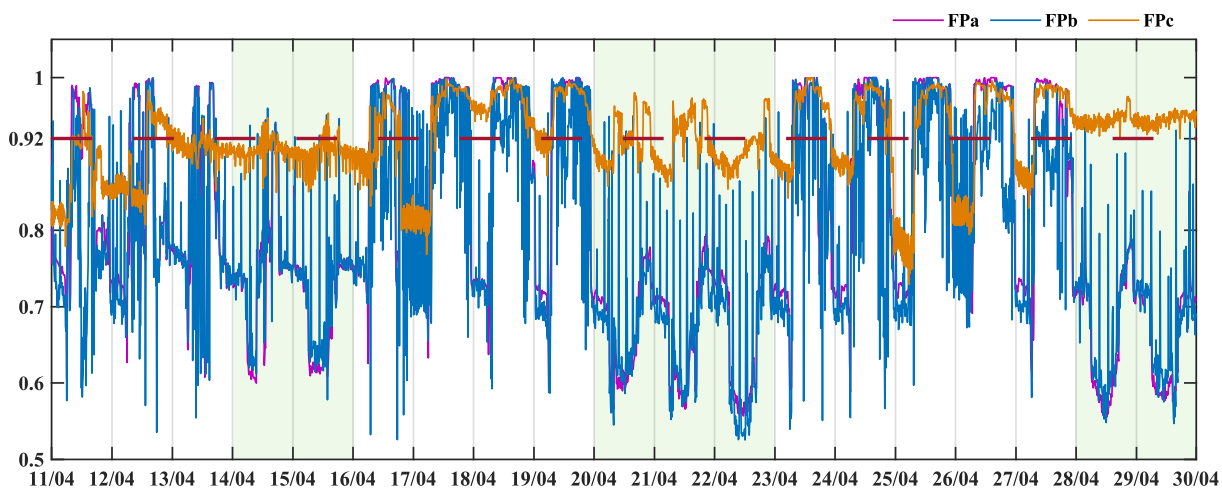
4.4 Fator de Potência

O fator de potência foi analisado inicialmente considerando sua variação ao longo de todo o período de estudo, como apresentado na Figura 20. Observa-se que nos dias de feriados e finais de semana, o fator de potência tende a diminuir consideravelmente. Isso sugere que, nesses períodos, a redução da carga instantânea total tornou mais evidente a não linearidade das cargas individuais, reduzindo o fator de potência. Em contrapartida, em dias normais, quando o fluxo de pessoas é mais intenso, o fator de potência tende a se aproximar de 1, corroborando o aumento da potência ativa total. Dessa forma, quando o sistema está menos carregado, as características indutivas ficam mais evidentes do que quando o sistema opera com uma maior demanda.

Essa diferenciação é importante, pois as cargas indutivas consomem uma quantidade significativa de energia reativa para estabelecer campos magnéticos, enquanto as cargas resistivas não necessitam desse tipo de energia. Assim, em dias normais, com o aumento da potência ativa, ocorre o uso mais eficiente da energia.

Ainda na Figura 20 destaca-se que a fase C apresenta padrões diferentes das demais, o que sugere que a carga (ar-condicionado) mantida ligada de forma ininterrupta nesta fase proporciona uma estabilidade maior para o fator de potência associado.

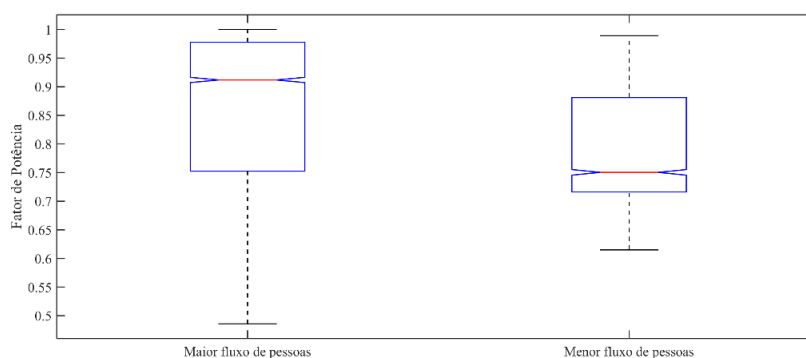
Figura 20: Comportamento do fator de potência nas três fases.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Na Figura 21 está descrita variação do fator de potência com relação ao menor e maior fluxo de pessoas. Assim como observado na análise da corrente elétrica, podemos inferir que dias com menor presença de pessoas resultam em uma carga consideravelmente menor, corroborando com a redução do fator de potência nesses momentos. Por outro lado, em dias de maior concentração, a carga é substancialmente maior, o que justifica o aumento do fator de potência. Essa análise confirma as hipóteses levantadas até aqui quanto a melhoria do fator de potência na presença de uma carga instantânea mais significativa.

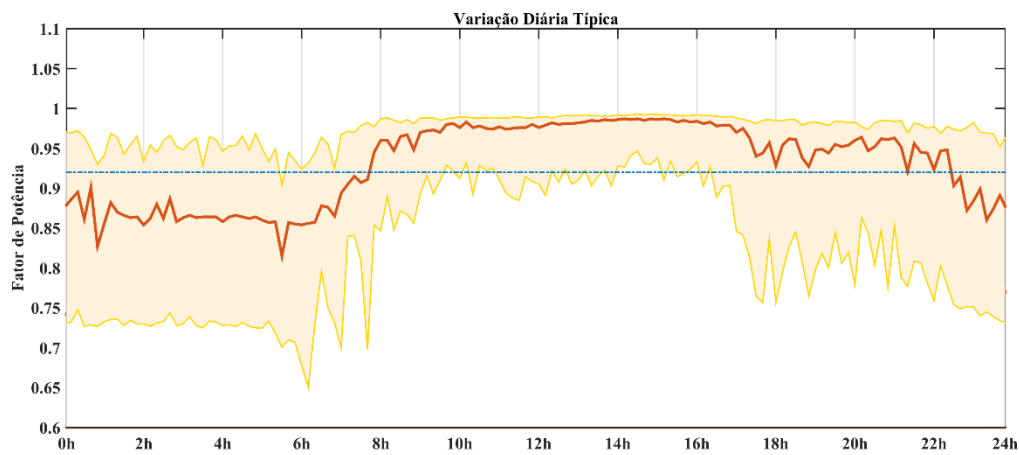
Figura 21: Variação do fator de potência de acordo com o fluxo de pessoas.



Fonte: Autoria própria, 2024.

A análise de percentis também foi utilizada para gerar uma curva diária típica na variação do fator de potência, apresentada na Figura 22. Nesta curva é possível notar nuances sobre seu comportamento do fator de potência em diferentes momentos do dia. Notadamente, durante os períodos de maior fluxo humano, que abrangem desde as sete horas da manhã até as 10 horas da noite, o fator de potência apresenta um aumento considerável, ficando acima do seu limiar mínimo de 0,92 definido pelo PRODIST. Por outro lado, nos momentos de menor atividade, esse fator de potência tende a reduzir, podendo ser responsável pela aplicação de multas à universidade caso o comportamento na carga total do campus seja semelhante.

Figura 22: Curva típica diária do fator de potência.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Por fim, observa-se na Tabela 7 os valores de média e desvio padrão do fator de potência em momentos de maior e menor fluxo de pessoas. Destaca-se que em ambos os casos o fator de potência médio para o bloco de professores é baixo e deve ser avaliado quanto a sua influência na carga total do campus.

Tabela 7: Média e desvio padrão do fator de potência.

	Média do <i>FP</i>	Desvio Padrão do <i>FP</i>
Maior Fluxo de Pessoas	0,85587	0,0016292
Menor Fluxo de Pessoas	0,78948	0,0023705

Fonte: Autoria própria, 2024.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou uma análise estatística das grandezas elétricas no ponto de conexão entre a usina fotovoltaica e a rede elétrica do bloco de professores I da UFERSA campus Caraúbas/RN. Foram analisados dados de tensão, corrente, potência e fator de potência, buscando relacioná-los as características de demanda da carga e da geração distribuída interligada.

Os resultados da comparação dos níveis de tensão e a irradiação solar no período analisado evidenciaram uma correlação entre as elevações de tensão observadas e a geração fotovoltaica. Em períodos de maior irradiância solar, notou-se variações significativas na tensão elétrica, atingindo valores acima dos níveis estabelecidos pela ANEEL no PRODIST e indicando uma resposta direta à produção de energia solar.

Ao examinar as correntes, identificou-se variações substanciais que coincidiam com o início do fluxo de pessoas no bloco de professores. O mesmo comportamento foi observado na avaliação das componentes de potência elétrica, apresentando maiores valores nos horários de pico de fluxo de pessoas. Ademais, os resultados apontaram o crescimento da potência ativa frente as demais componentes com o aumento da carga instantânea demandada no bloco. Destaca-se também que, como resultado, foi possível prover uma curva de carga típica diária por meio da avaliação dos percentis, média e mediana dos dados de potência ativa.

Ao analisar o fator de potência, observou-se que este parâmetro se mantém acima do limiar de 0,92 estabelecido pelo PRODIST em períodos com o maior fluxo de pessoas no bloco. Este resultado era esperado e corrobora a análise das componentes de potência, indicando que o aumento da carga instantânea reduz a relevância dos reativos e da não-linearidade relacionada à cada carga individualmente.

Essas análises foram cruciais para compreender o comportamento de cada grandeza elétrica e avaliar a eficiência do sistema elétrico. Esse conhecimento permite o gerenciamento e otimização do consumo de energia elétrica, contribuindo para uma utilização mais eficiente e sustentável dos recursos energéticos disponíveis. Sugere-se, portanto, como trabalhos futuros uma análise completa da QEE da universidade, avaliando-se os mesmos critérios e o impacto da inserção das usinas fotovoltaicas. Adicionalmente, uma análise das contas de energia pode fornecer informações importantes sobre a cobranças de multas pelo baixo fator de potência e da redução no preço da conta de energia relacionada com a implantação nas usinas no local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Energia Solar Fotovoltaica: Brasil é o 4º país que mais cresceu em 2021**, São Paulo, 20 abr. 2022. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-fotovoltaica-brasil-e-o-4o-pais-que-mais-cresceu-em-2021/> . Acesso em: 15 abr. 2023.

ALMEIDA, A.; MOREIRA, L.; DELGADO, J. **Power Quality problems and new solutions” International conference on renewable energies and power quality**. 03, Vigo, Spain Vol.1, 2003. Disponível em: <https://www.icrepq.com/pdfs/PL4.ALMEIDA.pdf> . Acesso em: 15 abr. 2023.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 1 - Glossário de termos técnicos do PRODIST**. Brasília: ANEEL, 2021a. Revisão 11. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_prodist_modulo_1_v11.pdf . Acesso em: 15 abr. 2023.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Módulo 8 – Qualidade do fornecimento de energia elétrica**. Brasília: ANEEL, 2021b. Revisão 13. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_prodist_modulo_8_v13.pdf . Acesso em: 15 abr. 2023.

BLOG, V2C. **Sistemas Fotovoltaicos Isolados: O que são, como funcionam e quais são as suas vantagens**. Disponível em: <https://v2charge.com/pt-pt/sistemas-fotovoltaicos-isolado/>. Acesso em: 10 fev. 2024

BOLLEN, M. H. J.; RIBEIRO, P. F.; GU, I. Y. H.; DUQUE, C. A. **“Trends, challenges and opportunities in power quality research”**, European Transactions on Electrical Power, v. 20, pp. 3–18, 2009. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/etep.370> . Acesso em: 15 abr. 2023.

BORGES, Caio Franco. **Análise da qualidade de energia elétrica em um sistema fotovoltaico conectado a rede**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Itumbiara, 2019. Disponível em:

https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/299/1/TCC_Caio%20Franco%20Borges.pdf .

Acesso em: 23 abr. 2023.

BRASIL. Lei Nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Marco legal da microgeração e minigeração distribuída. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2022.

CARDOSO, Izadora Soares; COSTA, Edson Guedes; ARAÚJO, Jalberth Fernandes; LEITÃO, Jalberth Fernandes; Metodologia para Estimação de Curvas de Carga de Unidades Consumidoras Individuais, v. 1, n. 1, p. 36-46, Campina Grande, nov, 2021.

COELHO, R. A. Um método de estimação de potência baseado na transformada de Stockwell. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, p. 149. 2022.

DUGAN, Roger C.; MCGRANAGHAN, Mark F.; BEATY, Wayne H.; SANTOSO, Surya. **Electrical power systems quality**. 2.ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2002.

ECOQUECEDORES. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA OFF GRID**. Disponível em: <https://www.ecoquecedores.com.br/energia-solar-fotovoltaica-off-grid/>. Acesso em: 10 fev. 2024.

FORTES, Rárisson Roberto Acácio. **Distorções harmônicas produzidas por inversores de geração distribuída fotovoltaica em condição de ressonância paralela**. Dissertação (Mestrado em Automação) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/138262/fortes_rra_me_ilha.pdf?sequence=3 . Acesso em: 29 abr. 2023.

GHENSEV, Almir. **Materiais e processos de fabricação de células fotovoltaicas**. 154 f. Monografia (Especialização em Fontes Alternativas de Energia) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2006. Disponível em: https://www.solenerg.com.br/files/monografia_almir.pdf . Acesso em: 11 abr. 2023.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energia e meio ambiente no Brasil**. Estudos avançados, São Paulo – SP. v. 21, p. 7-20, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/tk9tsKdqdkSy3CzMf58V9bw/?lang=pt>. Acesso em: 8 abr. 2023.

GÓMEZ, J.M. Rodríguez; CARLESSO, F.; VIEIRA, L.e.; SILVA, L. da. A irradiância solar: conceitos básicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, S.L., v. 40, n. 3, p. 50-68, 26 mar. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2017-0342>.

GOUVEIA, Rosimar. Média, Moda e Mediana. **Toda Matéria**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/media-moda-e-mediana/>. Acesso em: 9 abr. 2024.

IBERDROLA. **Operação de energia solar fotovoltaica Como funcionam as usinas fotovoltaicas?** Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/que-e-energia-solar-fotovoltaica>. Acesso em: 09 fev. 2024

IBERDROLA. **Operação de energia solar fotovoltaica Como funcionam as usinas fotovoltaicas?** Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/que-e-energia-solar-fotovoltaica>. Acesso em: 09 fev. 2024

IEEE - Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos, **Recommended practice for monitoring electric power quality**. (IEEE Standard 1159). New York: [s.n.], 2009.

Instituto Acende Brasil (2014). **Qualidade no Fornecimento de Energia Elétrica: Confiabilidade, Conformidade e Presteza**. White Paper 14, São Paulo, 36 p. Disponível em: https://acendebrasil.com.br/wp-content/uploads/2020/04/2014_WhitePaperAcendeBrasil_14_Qualidade_Fornecimento_Energia_Rev_0.pdf . Acesso em: 28 mai. 2023.

LIGHTNING, Smart. **SOBRETENSÕES**. Disponível em: https://at3w.com/upload/ficheros/05_sobretensoes_transitorias_pt.pdf. Acesso em: 30 mar. 2024.

MARIANO, Juliana D'Angela; URBANETZ JUNIOR, Jair. **Energia Solar Fotovoltaica: Princípios fundamentais**. Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

MARTINS, Maria Eugénia Graça. Percentis. **Revista de Ciência Elementar**, [S.L.], v. 2, n. 3, p. 1-20, 30 out. 2014. ICETA. <http://dx.doi.org/10.24927/rce2014.218>.

MATTEDE, Henrique. **Fórmulas de potência, quais são?** Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/formulas-de-potencia-quais-sao/>. Acesso em: 15 fev. 2024.

MELO, Naara Shiva de Oliveira. **ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA NO PONTO DE CONEXÃO ENTRE A USINA SOLAR FOTOVOLTAICA DO BLOCO DE PROFESSORES I E A REDE DA UFERSA CAMPUS CARAÚBAS**. 2023. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2023.

MOCHETTI, Thiago. **Fator de potência: o que é, como calcular para a indústria**. Disponível em: <https://traction.com/blog/fator-de-potencia-importancia-industria>. Acesso em: 16 fev. 2024.

OLIVEIRA, Raul Rodrigues de. “Moda, Média e Mediana”; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/matematica/moda-media-mediana.htm>. Acesso em 09 de abril de 2024.

PERES, Fernanda. **Como interpretar (e construir) um gráfico boxplot?** 2022. Disponível em: <https://fernandafperes.com.br/blog/interpretacao-boxplot/>. Acesso em: 02 abr. 2024.

R. Torquato, FCL Trindade e W. Freitas, "Análise do impacto da distorção harmônica da geração fotovoltaica em redes residenciais brasileiras", *2014 16ª Conferência Internacional sobre Harmônicos e Qualidade de Energia (ICHQP)*, Bucareste, Romênia, 2014, pp. -243, doi: 10.1109/ICHQP.2014.6842776.

RAISSA, Universidade. **Medição da Irradiância Solar em Sistemas Fotovoltaicos: Maximizando a Eficiência Energética**. Disponível em: <https://blog.raisa.com.br/medicao-da-irradiancia-solar-em-sistemas-fotovoltaicos-maximizando-a-eficiencia-energetica/?amp=1>. Acesso em: 30 mar. 2024.

REINDERS, Angèle; VERLINDEN, Pierre; VAN SARK, Wilfried; FREUNDLICH, Alexandre. **Photovoltaic Solar Energy: From Fundamentals to Applications**. Texas - Usa: Wiley Sons, 2017.

RIBEIRO, Thiago Bão. **Sistema On Grid: O processo de produção de energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <https://baoribeiro.com.br/blog/sistema-de-energia-on-grid-como-funciona/>. Acesso em: 10 fev. 2024.

Salazar, C. y Del Castillo, S. (2018). *Fundamentos básicos de estadística* (1ª ed.). Quito: Sin editorial

SANTOS, Virgilio Marques dos. **O que é o desvio padrão? Quais os tipos? Como calcular?** Disponível em: <https://www.fm2s.com.br/blog/desvio-padrao/amp>. Acesso em: 30 mar. 2024.

SOLAR, Hsp energia. **CONHEÇA UM POUCO DA HISTÓRIA DA ENERGIA SOLAR NO BRASIL.** Disponível em: <https://hspengenharia.com.br/conheca-historia-energia-solar-brasil/>. Acesso em: 09 fev. 2024

SOLAR, Portal. **Quem Criou a Energia Solar? História da Energia Solar.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/historia-e-origem-da-energia-solar>. Acesso em: 09 fev. 2024.

SOLAR, Portal. **Quem Criou a Energia Solar? História da Energia Solar.** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/historia-e-origem-da-energia-solar>. Acesso em: 10 abr. 2024.

SOLAR, Portal. **Sistema Solar On Grid (Conectado à Rede).** Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/sistema-solar-conectado-a-rede-on-grid>. Acesso em: 10 fev. 2024

SOLARVOLT. **Entenda as diferenças entre o sistema isolado e o conectado à rede.** Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-isolado-ou-conectado/>. Acesso em: 10 fev. 2024.

UFERSA. **Estação Meteorológica Automática.** Disponível em: <https://caraubas.ufersa.edu.br/estacao-meteorologica-caraubas/>. Acesso em: 09 abr. 2024.

APÊNDICE A

FASE A

Circuito	Tipo	Descrição	Potência (W)
QD10 - Geral			
5	Tomadas	TUE (Salas de Professores)	3200
7	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
QD1			
1	Iluminação	Salas de Professores	640
6	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
7	Ar-condicionado	Salas de professores	1700
QD2			
6	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
7	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
QD3			
1	Iluminação	Salas de Professores	640
6	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
7	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
QD4			
6	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
7	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
QD5			
6	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
7	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
QD6			
1	Iluminação	Salas de Professores	640
6	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
7	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
QD7			
6	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
7	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
QD8			
1	Iluminação	Salas de Professores	890
6	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
7	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
QD9 - Auditório			
4	Tomadas	Auditório	400
5	Central de Ar	Auditório	1966,67
6	Central de Ar	Auditório	1966,67
7	Tomadas	Auditório	400
TOTAL			39643,34

FASE B

QD10 (Geral)			
1	Iluminação	Deposito, SUTIC, Banheiros	970
2	Iluminação	Entrada/Copa	798
3	Tomadas	Sala 10 (SUTIC), 11 e 12	1600
4	Tomadas	Cantina	2400
9	Iluminação	Corredor	720
10	Iluminação	Corredor	720
QD1			
3	Tomadas	Salas de Professores	1600
5	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
QD2			
3	Tomadas	Salas de Professores	1600
5	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
8	Iluminação	Emergência	50
QD3			
3	Tomadas	Salas de Professores	1600
5	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
QD4			
3	Tomadas	Salas de Professores	1600
5	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
8	Iluminação	Emergência	50
QD5			
3	Tomadas	Salas de Professores	1600
5	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
8	Iluminação	Emergência	50
QD6			
3	Tomadas	Salas de Professores	1600
5	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
QD7			
3	Tomadas	Salas de Professores	1600
5	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
8	Iluminação	Emergência	50
QD8			
3	Tomadas	Salas de Professores	1600
5	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
QD9 - Auditório			
1	Iluminação	Auditório	1560
5	Central de Ar	Auditório	1966,67
6	Central de Ar	Auditório	1966,67
TOTAL			39301,34

FASE C

QD10 - Geral			
6	Ar-condicionado	SUTIC	1700
8	Ar-condicionado	Secretaria	1700
QD1			
2	Tomadas	Salas de Professores	1600
4	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
8	Tomadas	Corredor	600
QD2			
1	Iluminação	Salas de Professores	640
2	Tomadas	Salas de Professores	1600
4	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
QD3			
2	Tomadas	Salas de Professores	1600
4	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
8	Tomadas	Corredor	600
QD4			
1	Iluminação	Salas de Professores	640
2	Tomadas	Salas de Professores	1600
4	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
QD5			
1	Iluminação	Salas de Professores	640
2	Tomadas	Salas de Professores	1600
4	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
QD6			
2	Tomadas	Salas de Professores	1600
4	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
8	Tomadas	Corredor	600
QD7			
1	Iluminação	Salas de Professores	890
2	Tomadas	Salas de Professores	1600
4	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
QD8			
2	Tomadas	Salas de Professores	1600
4	Ar-condicionado	Salas de Professores	1700
8	Tomadas	Corredor	600
QD9 - Auditório			
2	Iluminação	Auditório	240
3	Tomadas	Auditório (Palco)	600
5	Central de Ar	Auditório	1966,67
6	Central de Ar	Auditório	1966,67
TOTAL			39783,34