

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS – UEA

ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA – EST

CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ENRIQUE BRUNO DA COSTA SOARES

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE ANÁLISE DE DADOS UTILIZANDO PYTHON PARA
AVALIAR E DETECTAR OPORTUNIDADES DE MELHORIA EM UM SISTEMA DE
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

MANAUS

2024

ENRIQUE BRUNO DA COSTA SOARES

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE ANÁLISE DE DADOS UTILIZANDO PYTHON PARA
AVALIAR E DETECTAR OPORTUNIDADES DE MELHORIA EM UM SISTEMA DE
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Israel Gondres Torné

MANAUS

2024

*Universidade do Estado do Amazonas – UEA
Escola Superior de Tecnologia EST*

Reitor:

André Luiz Nunes Zogahib

Vice-Reitor:

Kátia do Nascimento Coureiro

Diretor da Escola Superior de Tecnologia:

Jucimar Maia da Silva Júnior

Coordenador do Curso de Engenharia Elétrica:

Jozias Parente de Oliveira

Banca Avaliadora Composta por:

Prof. Israel Gondres Torné (Orientador)

Prof. Antonio Luis de Alencar Pantoja

Prof. Rubens de Andrade Fernandes

Data da defesa: 29/01/2024

CIP – Catalogação na Publicação

Soares, Enrique Bruno da Costa

Aplicação de técnicas de análise de dados utilizando python para avaliar e detectar oportunidades de melhoria em um sistema de geração distribuída / Enrique Bruno da Costa Soares; [orientado por] Israel Gondres Torné, Dr. – Manaus:2023 60p.: il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica).
Universidade do Estado do Amazonas, 2023.

1. Análise de dados. 2. *Python*. 3. Geração Distribuída.
- I. Torné, Israel Gondres.

ENRIQUE BRUNO DA COSTA SOARES

**APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE ANÁLISE DE DADOS UTILIZANDO PYTHON PARA
AVALIAR E DETECTAR OPORTUNIDADES DE MELHORIA EM UM SISTEMA DE
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Pesquisa desenvolvida durante a disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II e apresentada à banca avaliadora do Curso de Engenharia Elétrica da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Nota obtida: 8,9 (Oito vírgula nove pontos _____)

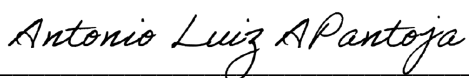
Aprovado em: 29 / 01 / 2024

Área de concentração: Engenharia Elétrica

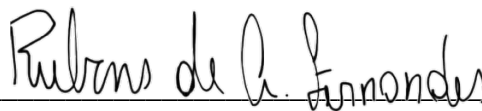
BANCA EXAMINADORA



Orientador: Prof. Israel Gondres Torné



Avaliador: Prof. Antonio Luis de Alencar Pantoja



Avaliador: Prof. Rubens de Andrade Fernandes

Manaus

2024

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, cujo apoio incansável foi essencial para minha jornada acadêmica, e à minha amada namorada, cujo suporte foi crucial para superar desafios até aqui. Expresso profunda gratidão por serem fontes inesgotáveis de inspiração e apoio ao longo destes anos. Este trabalho é o resultado não apenas do meu esforço, mas também do amor, incentivo e compreensão que recebi de vocês.

AGRADECIMENTO

Primeiramente, agradeço de coração ao meu pai, Edmilson Soares, e à minha mãe, Lucinete da Costa, pelo apoio incondicional e pelos esforços dedicados. Sem os ensinamentos e sacrifícios de vocês, eu não estaria onde estou hoje. Amo vocês.

Ao meu irmão Vinicius Soares, que sempre se mostrou companheiro e amigo nos momentos mais difíceis de nossas vidas, você é meu parceiro e melhor amigo e sempre será. Sua presença e apoio foram fundamentais, e agradeço por cada momento compartilhado.

À minha namorada Thaysa Mendes, meu sincero agradecimento por sua constante presença ao longo da minha graduação, oferecendo apoio inabalável e resolvendo qualquer problema que surgisse, tornando muitos períodos mais leves e tranquilos.

Agradeço ao meu orientador, professor Israel Gondres Torné, por todo o suporte dado nas disciplinas durante minha trajetória acadêmica, além da correção e revisão desta monografia. Sua orientação foi crucial para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também à banca avaliadora, composta pelo meu orientador, professor Rubens de Andrade Fernandes, e pelo professor Antonio Luis de Alencar Pantoja.

Ao meu grande amigo Anderson Alves, que forneceu dados e assistência técnica crucial durante o desenvolvimento do meu TCC.

Aos amigos que fiz na faculdade, Dominique Carvalho e Matheus Câmara, agradeço por todas as risadas compartilhadas e pelos trabalhos desenvolvidos em conjunto.

Um agradecimento especial à equipe Leviaatã, pela oportunidade de aplicar os conhecimentos técnicos adquiridos em sala de aula de maneira prática, contribuindo significativamente para minha experiência na área elétrica e fortalecendo minhas habilidades de trabalho em equipe.

A todos, meu profundo reconhecimento por fazerem parte desta jornada.

RESUMO

A geração de energia limpa tem se tornado cada vez mais popular no âmbito da distribuição de energia elétrica em todo o mundo. Essa popularização tem possibilitado que essas formas de geração alcancem não apenas usinas de grande porte e grandes empresas, mas também os consumidores finais, que podem dimensionar e construir sua própria geração de energia. Dentre essas formas, a geração por energia fotovoltaica tem se mostrado a mais viável para esse propósito.

Além disso, podemos considerar que estamos vivendo na chamada "Era dos Dados". Os dados obtidos de diversos equipamentos e processos são extremamente importantes para avaliar o desempenho, a eficiência e até mesmo identificar padrões que possam indicar oportunidades de melhoria. É a partir da combinação desses dois conceitos que este trabalho se concentra: analisar e avaliar o comportamento da geração de energia distribuída, como a fotovoltaica, em uma instalação residencial.

Para realizar essa análise, será utilizado o Python, uma linguagem de programação cada vez mais comum no contexto de análise e avaliação de dados, especialmente em grandes conjuntos de dados. Além disso, serão empregadas bibliotecas específicas, como o Pandas, que é utilizado para manipular, consultar e transformar bancos de dados, o *Matplotlib* e o *Seaborn*, que são utilizados para criar visualizações e dashboards, e o *Numpy*, que é utilizada para operações matemáticas mais específicas e avançadas. Dessa forma, será possível construir a análise como um relatório, utilizando o framework *Jupyter* para disponibilizá-lo tanto neste trabalho quanto em repositórios online, como o *GitHub*.

Palavras-chave: Análise de dados, Energia fotovoltaica, Geração distribuída, *GitHub*, *Python*.

ABSTRACT

Clean energy generation has become increasingly popular in the realm of electricity distribution worldwide. This surge in popularity has enabled these forms of generation to reach not only large-scale power plants and corporations but also end consumers, allowing them to design and establish their own energy generation systems. Among these methods, photovoltaic energy generation has proven to be the most viable for this purpose.

Furthermore, we are currently experiencing the so-called "Data Era." Data collected from various equipment and processes are crucial for assessing performance, efficiency, and identifying patterns that may indicate opportunities for enhancement. It is within the fusion of these two concepts that this study focuses on: analyzing and evaluating the behavior of distributed energy generation, such as photovoltaics, in a residential setting.

To conduct this analysis, Python will be employed—a programming language increasingly prevalent in data analysis and evaluation, particularly with extensive datasets. Specific libraries such as Pandas, utilized for database manipulation, querying, and transformation, along with Matplotlib and Seaborn, employed for crafting visualizations and dashboards, and Numpy, for more intricate and advanced mathematical operations, will be utilized. Consequently, constructing this analysis as a report using the Jupyter framework will enable its availability not only in this study but also in online repositories like GitHub.

Keywords: Data analysis, Photovoltaic energy, Distributed generation, GitHub, Python.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Representação da Geração Distribuída.....	18
Figura 2 Evolução da Matriz Energética Mundial.....	20
Figura 3 Evolução da Matriz Elétrica Mundial	21
Figura 4 Projeção de Microgeradores.....	22
Figura 5 Projeção de capacidade gerada por energia fotovoltaica	22
Figura 6 Composição e Definição de um Arranjo Fotovoltaico.....	24
Figura 7 Representação de Geração Fotovoltaica	26
Figura 8 Representação de Big Data	26
Figura 9 Exemplo de Relacionamento entre Dados	27
Figura 10 Representação de defasagem entre duas tensões diferentes.....	29
Figura 11 Representação de processo de ETL.....	30
Figura 12 Representação de Defasagem entre Duas Tensões Diferentes.....	34
Figura 13 Triângulo das potências em diferentes quadrantes.....	35
Figura 14 Representação de Ligação Estrela e Triângulo.....	36
Figura 15 Tetraedro das Potências.....	42
Figura 16 Representação da Instalação Fotovoltaica	44
Figura 17 Representação do Processo de Obtenção dos Dados para Análise	49
Figura 18 Website para obtenção e acompanhamento de performance de geração	51
Figura 19 Tabela tratada de potência total gerada pelo sistema.....	52
Figura 20 Tabela tratada de geração por inversor	53
Figura 21 Potência Gerada em kW Hora a Hora	55
Figura 22 Potência Gerada em kW por dia.....	56
Figura 23 Potência Média Gerada por Hora em kW	57

Figura 24 Potência Média Gerada por dia da semana em kW.....	57
Figura 25 Boxplot de geração de energia por dia da semana	58
Figura 26 Potência gerada em kW por dia com média de 7 dias	59
Figura 27 Potência gerada em kW por dia - Comparação entre inversores	59
Figura 28 Potência Gerada em kW por hora - Comparação entre inversores	60
Figura 29 Potência gerada por dia da semana - Comparação entre Inversores	60
Figura 30 Fator de potência por hora - Comparação entre Inversores	61
Figura 31 Categoria de Nebulosidade em Manaus ao longo do ano	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Especificações Gerais do Sistema	44
Tabela 2 Especificações de Conexões do Arranjo Fotovoltaico	45
Tabela 3 Especificações de Módulo Fotovoltaico	46
Tabela 4 Tabela de Tipagem de Dados	54

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

VSCODE	Visual Studio Code
W	Watts
Wh	Watt-hora
kW	Kilowatt
eV	Elétron-Volt
s	Segundos
Hz	Hertz
ETL	Extrair, Transformar e Carregar
API	Interface de Programação de Aplicações
P	Potência Ativa
Q	Potência Reativa
S	Potência Aparente
ϕ	Ângulo do fator de potência
FP	Fator de Potência
φ	Defasagem entre ondas de tensão e corrente
THD	Taxa de Distorção Harmônica
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CSV	Valores Separados por Vírgulas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	PROBLEMA DE PESQUISA.....	17
3	HIPÓTESE	17
4	OBJETIVOS.....	17
4.1	OBJETIVO GERAL	17
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
5	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
5.1	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	18
5.2	MATRIZ ENERGÉTICA X MATRIZ ELÉTRICA	20
5.3	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL.....	21
5.4	GERAÇÃO FOTOVOLTAICA	23
5.5	ANÁLISE DE DADOS	26
5.6	POTÊNCIA ELÉTRICA EM CIRCUITOS DE CORRENTE CONTÍNUA E ALTERNADA.....	32
5.7	DISTORÇÕES HARMÔNICAS.....	38
6	MATERIAIS E MÉTODOS	43
6.1	ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA	43
6.1.1	Especificações Gerais do Sistema	44
6.1.2	Especificação de Módulo Fotovoltaico	46
6.1.3	Especificação de Inversor.....	47
6.2	PROCEDIMENTO PARA COLETA DE DADOS.....	48
6.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	49
7	RESULTADOS.....	51

7.1	TRATAMENTO DOS DADOS	52
7.2	ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS	55
7.3	COMPARAÇÃO ENTRE INVERSORES.....	59
7.4	FATOR DE POTÊNCIA E CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	61
7.5	DISCUSSÃO DE RESULTADOS	62
8	CONCLUSÃO	65
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1 INTRODUÇÃO

Até o início do século XX a maior parte da energia elétrica distribuída pelo planeta era gerada através da queima de combustíveis fósseis em termelétricas. Com o passar dos anos outras formas de geração de energia foram tornando-se populares como a Eólica, Hidrelétrica e a Solar por exemplo (OLIVEIRA, 2021).

Quando verificamos quando que a energia eólica e a hidrelétrica surgiram no mundo podemos notar que as primeiras usinas desse tipo foram construídas no final século XIX (FLORES, 2015). No entanto, nesta época as informações não eram transmitidas ou divulgadas na proporção ou na velocidade que é hoje, isso fez com que esse tipo de geração demorasse para se tornar usual entre as concessionárias (CARVALHO, 1996). Além disso, havia também toda a questão de que as usinas termelétricas utilizavam muito pouco espaço em comparação a uma usina hidrelétrica ou eólica, o que resultava em um lucro maior para as empresas (LIMA e DE SOUZA, 2014).

Entre as formas de energia alternativas mais populares entre as concessionárias de energia elétrica, é possível citar a energia fotovoltaica como uma das mais recentes a ser adotada. Essa forma de geração de energia foi impulsionada pelas contribuições fundamentais de Albert Einstein por meio da sua teoria do efeito fotoelétrico. Resumidamente, o efeito fotoelétrico postula que a luz é composta por partículas chamadas fótons, que carregam consigo uma quantidade específica de energia. Quando esses fótons incidem sobre um material semicondutor, ocorre a liberação de elétrons, gerando assim uma corrente elétrica (DE LIVEIRA PACHECO, KELLERMANN SABINO e PINCELLI WESTIN, 2020).

Só então a partir da década de 70 que a crise do petróleo despertou um alerta em todo o planeta relacionado tanto ao aquecimento global por conta das emissões de carbono quanto a finidades de combustíveis fósseis disponíveis no planeta. Esse alerta fez com que várias empresas e concessionárias passassem a adotar a utilização de energia de fontes renováveis e sustentáveis (MELO, 2008).

A partir deste marco é preciso enfatizar importantes características que fizeram com que a energia fotovoltaica se tornar tão popular entre não só as grandes empresas, mas também para os consumidores. A energia fotovoltaica possibilitou que uma grande parte das pessoas que residem em áreas remotas dimensionem e instalem sua própria geração de energia elétrica sem precisar realizar um grande investimento, ou precisar de uma grande área para instalação. É justamente este

ponto que fez com que muitas pessoas aderissem ao que hoje é chamado de geração distribuída (MARINI e ROSSI, 2002).

Atualmente formas alternativas de energia tornaram-se cada vez mais utilizadas pelos consumidores em geral para que, senão gerar energia em lugares onde a concessionárias não consegue fornecer, mas também economizar com a fatura de energia (MARINI e ROSSI, 2002). A energia fotovoltaica é a que mais tem se destacado para tal fim e hoje é uma das que mais possuem consumidores que escolhem por adotá-la, desde construir uma para sua própria casa com poucos painéis fotovoltaicos, mas até grandes “fazendas” com centenas de unidades (GIACOMAZZI DANTAS e MEZADRE POMPERMAYER, 2018).

Atrelado a isto, vivemos hoje na chamada “Era dos Dados” onde todo processo em que compramos, utilizamos, vendemos seja diretamente ou indiretamente, geram dados. Desde que começaram a trabalhar estes dados para que se tornem informações e que, posteriormente se tornassem *insights*, os processos passaram a adotar cada vez mais dispositivos, sensores que obtivessem cada vez mais dados mais recorrentes, mais precisos e dos mais variados tipos (FREITAS, 2020).

Junto a isto, da estatística evoluiu a ciência de dados, que é justamente a ciência que terá todos os métodos, técnicas e ferramentas necessárias para transformarmos um conjunto de dados que é chamado de *raw* (cru em português) em *insights* (MEMÓRIA, 2004). As principais ferramentas utilizadas pela ciência de dados é utilizar o poder da computação moderna a seu favor para extrair, transformar e carregar esses dados, podemos citar por exemplo a utilização da linguagem de programação Python, que é hoje uma das principais linguagens de programação utilizada no mundo por conta da sua simplicidade e da sua grande variedade de bibliotecas que se aplicam não só a ciência de dados, mas em outros âmbitos de desenvolvimento computacional (SIEGEL, 2008).

Portanto, o presente trabalho irá descrever todas as etapas necessárias para entender o processo a ser analisado, categorizar suas variáveis, aplicar as devidas análises baseadas nos parâmetros que necessitam ser avaliados e por fim elaborar não só propostas de melhoria para o sistema, mas também de poder fornecer uma análise matemática e estatística completa de toda a base de dados exportada de inversores de frequência solar de uma geração distribuída.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

Muitas instalações elétricas de geração distribuída como a energia fotovoltaica possuem equipamentos que conseguem realizar algumas análises e sinalizar qualquer parâmetro que esteja fora do padrão. No entanto, este trabalho é focado naqueles que podem apenas fornecer uma grande quantidade de dados para ser analisada e extrair *insights* que podem detectar oportunidades de melhoria no processo ou até mesmo monitorar fatores de qualidade da energia elétrica como fator de potência ou distorção harmônica na rede.

3 HIPÓTESE

A partir da extração de dados dos inversores de frequência será possível montar um banco de dados, o que possibilitará uma análise computacional aplicando métodos e técnicas estatísticas para avaliar a qualidade de geração. Esta análise será feita essencialmente a partir da utilização do editor de código Visual Studio Code (VSCODE) utilizando a linguagem de programação *Python* e suas bibliotecas específicas para cada aplicação.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade de geração de energia de um sistema fotovoltaico, incluindo comparar o desempenho dos inversores de frequência, compreender padrões de funcionamento e identificar oportunidades de melhoria no sistema.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar uma revisão bibliográfica abrangente dos estudos e literaturas fundamentais relacionados à eficiência energética, à qualidade do fator de potência e aos efeitos harmônicos.
- Elaborar um relatório com visualizações gráficas, análises estatísticas e avaliação de cenários a partir da variação de parâmetros específicos.
- Extrair *insights* e a partir deles propor estratégias e melhorias específicas para maximizar a eficiência energética e otimizar o fator de potência.

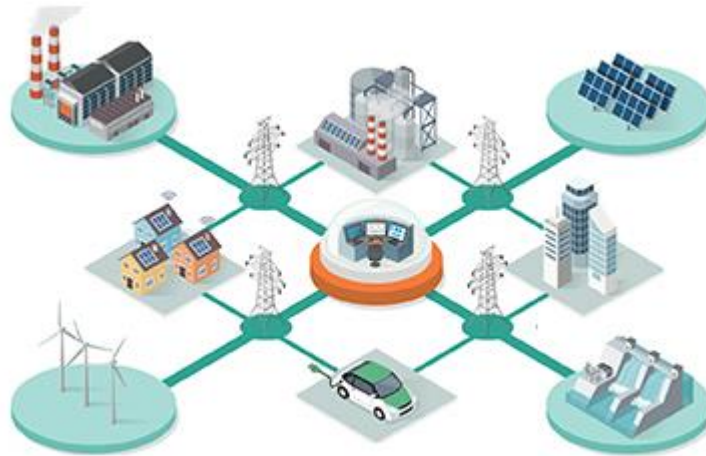
5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Para compreender o conceito de geração distribuída, é necessário, primeiramente, definir o que é geração centralizada. A geração de energia centralizada consiste na concentração de toda a produção de energia em um único gerador ou em um grupo específico de geradores (BOCUZZI, MONACO, *et al.*, 2020). Como exemplo de geração centralizada, temos as concessionárias de energia elétrica, que são empresas responsáveis por construir usinas de diferentes tipos de geração e distribuir a energia para a população, estabelecendo preços por kWh ou GWh, conforme a tipologia do cliente (GOVERNO BRASILEIRO, 2023).

Por outro lado, a geração distribuída consiste na produção de energia, não somente pelas concessionárias, mas também pelos próprios consumidores, em locais muito próximos a eles. Com base nesse princípio, a geração distribuída se caracteriza por integrar tanto as concessionárias quanto os consumidores, formando um sistema unificado e totalmente distribuído (BOCUZZI, MONACO, *et al.*, 2020).

Figura 1 Representação da Geração Distribuída.



Fonte: GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, 2023.

Quando se faz referência à geração distribuída voltada aos consumidores que produzem sua própria energia, estes são denominados micro e minigeradores. Eles podem ser classificados com base em sua capacidade de geração de energia, sendo considerado microgerador aquele que produz

menos de 75 kW, enquanto o minigerador é aquele cuja capacidade de geração varia entre 75 kW e 5 MW (GOVERNO BRASILEIRO, 2021).

A geração distribuída possibilitou não apenas que os consumidores obtivessem a capacidade de gerar sua própria energia, mas também de receber créditos da concessionária de energia elétrica (BEZERRA, 2021). Essa prática é conhecida como sistema de geração *On-grid*, que se refere a um sistema de geração conectado à rede elétrica. Esse tipo de sistema permite que, de acordo com a forma de geração de energia do consumidor, quando sua produção não for suficiente para atender toda a demanda necessária, a concessionária fornecerá a energia necessária através das linhas de distribuição usuais (ROMÃO, 2019).

Entretanto, o inverso também é válido: o consumidor pode gerar mais energia do que consome e, para evitar o desperdício, ele pode fornecer o excedente para a rede de distribuição da concessionária, gerando créditos em sua fatura. Dessa forma, esse consumidor passa a contribuir para a rede distribuída de energia, permitindo que outros consumidores possam usufruir do excedente gerado (BEZERRA, 2021).

Existe também o sistema de geração off grid, o qual representa uma geração completamente desconectada da rede de distribuição elétrica. Aqueles que optam pelo uso do off grid investem em baterias para armazenar a energia excedente, a fim de suprir a demanda em momentos em que a geração local não é suficiente (DE LIMA e A. S. NUNES, 2022).

É importante ressaltar que a maioria das formas de geração de energia apresenta variações significativas, especialmente nos casos da geração fotovoltaica e eólica. Essa variação ocorre devido à dependência dessas fontes de energia em relação a fatores naturais, que são variáveis e imprevisíveis. Por exemplo, no caso da geração eólica, não é possível afirmar com certeza quando haverá vento e com que intensidade ele ocorrerá (FILHO e PORTO BARROS, 2022).

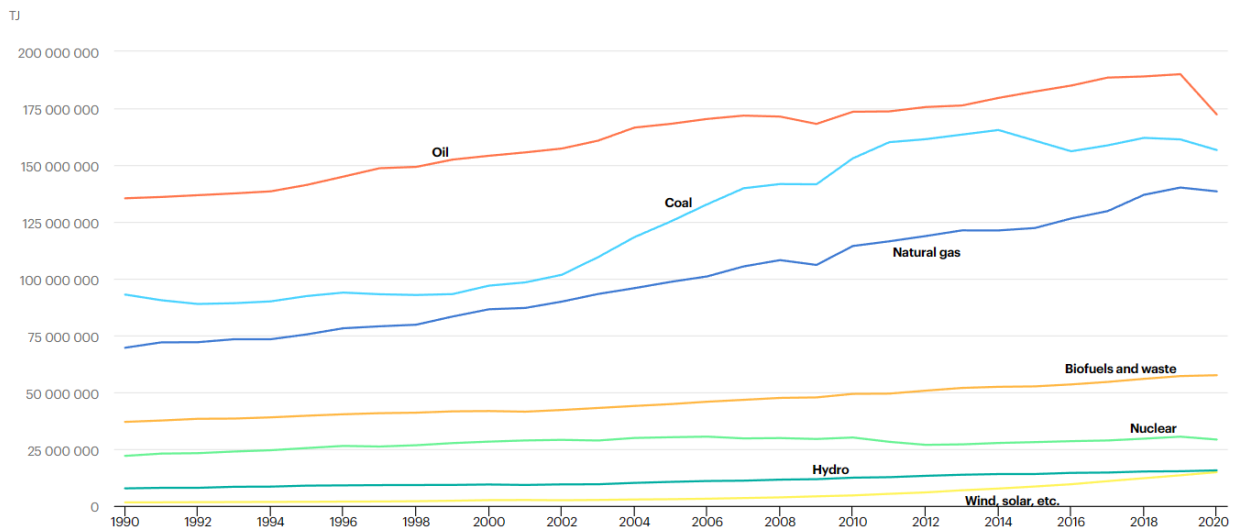
Por isso, os responsáveis pela instalação de usinas geradoras realizam estudos criteriosos dos parâmetros necessários para tornar determinada geração viável em um local específico. Eles instalam campos de geração eólica em áreas mais propensas a ventos de alta intensidade e sistemas fotovoltaicos em locais com maior incidência de irradiação solar. Essa análise cuidadosa contribui para otimizar a eficiência e a viabilidade dessas formas de geração de energia em diferentes regiões (MARINI e ROSSI, 2002).

Todavia, os painéis fotovoltaicos atuais são significativamente mais eficientes do que os produzidos em anos anteriores, e isso tem impulsionado a crescente popularidade da geração de energia por meio da tecnologia fotovoltaica. Essa maior eficiência tornou a energia fotovoltaica ainda mais viável em praticamente todas as regiões do planeta onde haja incidência de luz solar. Esse avanço tecnológico tem contribuído para a ampliação do uso da energia solar como uma opção atrativa e sustentável em diversos contextos geográficos, permitindo diversificar a matriz energética e reduzir a dependência de fontes não renováveis. Conseqüentemente, a energia solar tem se estabelecido como uma alternativa cada vez mais relevante e importante na busca por soluções energéticas sustentáveis em âmbito global (GIACOMAZZI DANTAS e MEZADRE POMPERMAYER, 2018).

5.2 MATRIZ ENERGÉTICA X MATRIZ ELÉTRICA

A matriz energética é a composição mundial ou local das formas de geração de energia. No gráfico abaixo é possível visualizar de que forma a matriz energética mundial tem se comportado desde a década de 90 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2022).

Figura 2 Evolução da Matriz Energética Mundial



Fonte: IEA, 2022

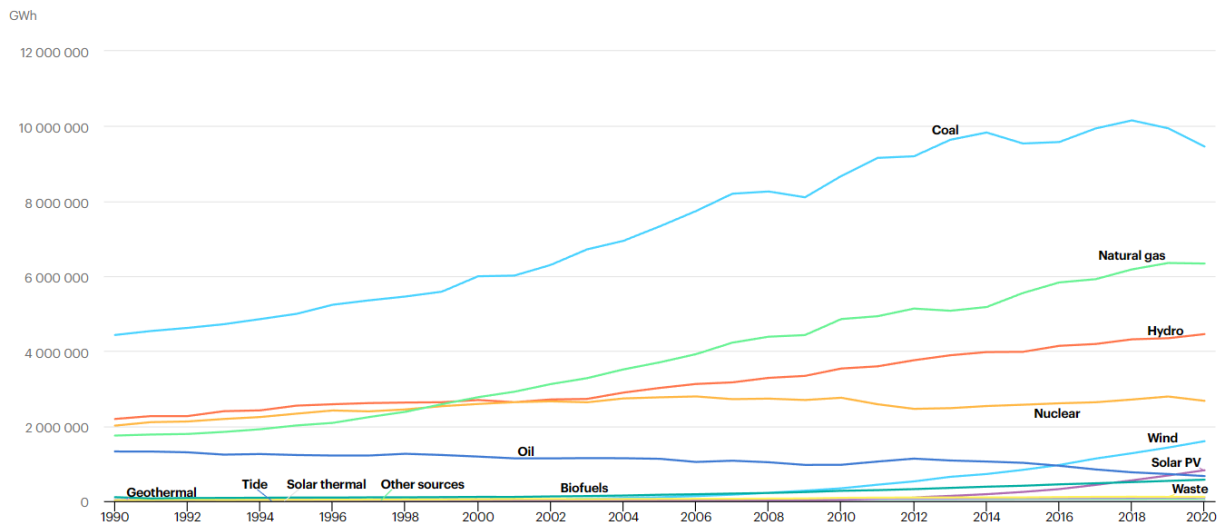
No âmbito mundial pode-se verificar que a maior parte da energia gerada no mundo é provinda de forma de geração não renováveis. Apenas 15% da matriz energética mundial é

produzida por fontes de energia renováveis, quando é somado a de biomassa e a hidráulica (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2022).

Por outro lado, a matriz elétrica é formada pelo conjunto de recursos disponíveis no planeta para geração de energia elétrica em um país, estado e no resto do mundo.

A maior parte da energia elétrica gerada no mundo é provinda do carvão mineral, que não por coincidência é a maior quantidade de recurso disponível para a geração de energia elétrica. No entanto, vale ressaltar que esse recurso não é renovável e impacta diretamente as emissões de carbono na atmosfera aumentando ainda mais as consequências do aquecimento global. Abaixo é possível visualizar de que forma a matriz elétrica mundial tem se comportado desde a década de 90 (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2022).

Figura 3 Evolução da Matriz Elétrica Mundial



Fonte: IEA, 2022.

5.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL

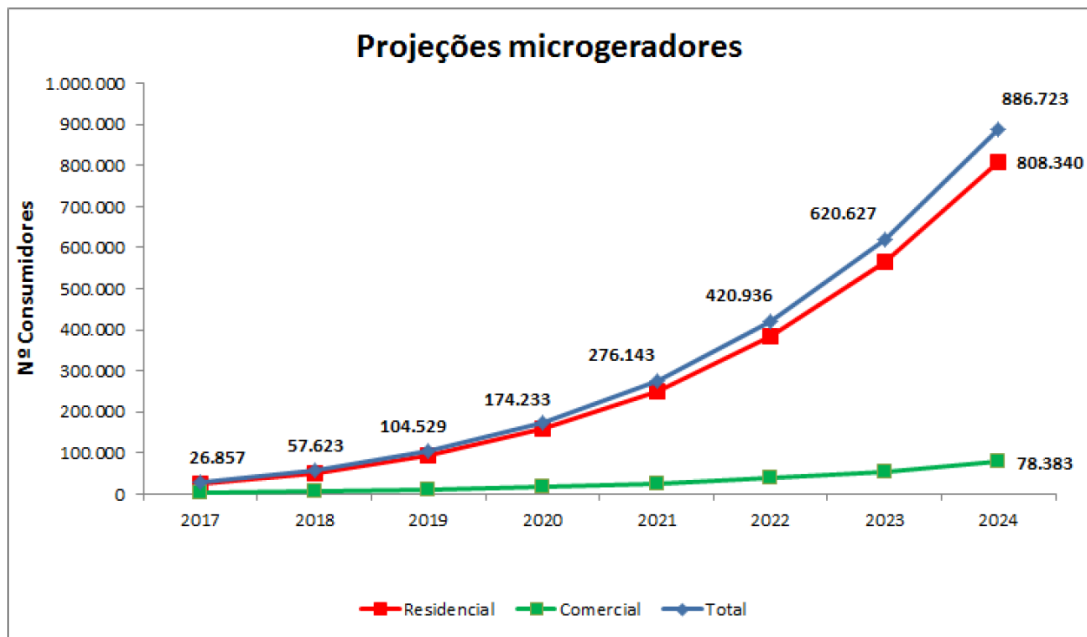
Quando o cenário nacional é considerado, é possível constatar a situação mencionada anteriormente, referente ao consumidor tornar-se um consumidor-gerador ou "prosumidor". Esse termo se refere àqueles que conseguem produzir mais energia do que estão consumindo e, como resultado, podem injetar o excedente na rede geral, recebendo créditos correspondentes em sua próxima fatura, os quais podem ser utilizados em um período de até 60 meses (ANEEL, 2021).

Mensurando toda a energia distribuída instalada no Brasil, de acordo com os dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) até o mês de março de 2023, o país alcançou a marca de 18 GW de potência instalada em sistemas de geração distribuída (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2023).

Esse crescimento expressivo é impulsionado, sobretudo, pelas instalações residenciais, que contribuíram com mais de 4 GW de potência instalada. Em especial, nos dois primeiros meses do ano de 2023, de acordo com informações do site Portal Solar, quase 100 mil sistemas fotovoltaicos, somando 925 MW de capacidade, foram instalados.

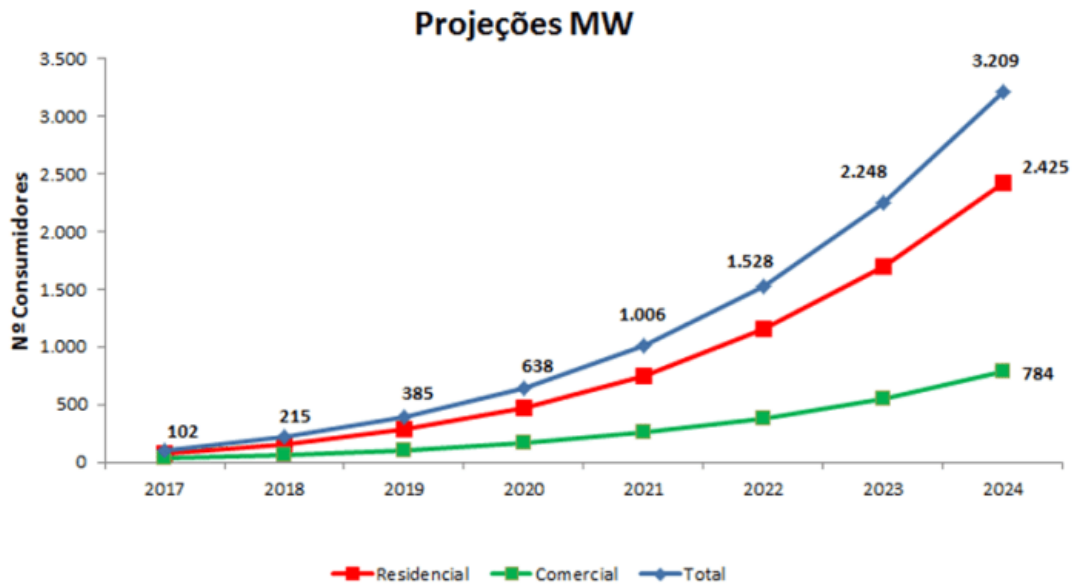
Projetando-se para o futuro, a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) prevê que a geração distribuída atingirá a marca de 21,6 GW até o fim de 2023. Esse contínuo crescimento demonstra o avanço significativo e o papel cada vez mais relevante da geração distribuída no cenário energético do país.

Figura 4 Projeção de Microgeradores



Fonte: ANEEL, 2017.

Figura 5 Projeção de capacidade gerada por energia fotovoltaica



Fonte: ANEEL, 2017

5.4 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

A energia fotovoltaica é obtida a partir da luz que incide sobre um painel composto por um arranjo de células fotovoltaicas de silício dopado. Quando a luz incide sobre essas células, ela excita os átomos de silício, gerando, por sua vez, corrente elétrica - fenômeno denominado efeito fotoelétrico (DE LIVEIRA PACHECO, KELLERMANN SABINO e PINCELLI WESTIN, 2020).

Esse efeito foi descoberto por Heinrich Hertz durante seus experimentos envolvendo a captação de ondas eletromagnéticas. No entanto, a explicação teórica só foi apresentada em 1905 por Albert Einstein. Esse fenômeno pode ser definido como um evento quântico, onde a luz se comporta como partículas denominadas fótons. Ao buscar compreender como ocorria o efeito fotoelétrico, Einstein percebeu que este era dependente de uma frequência específica, variando para cada material exposto à luz (BUCHWALD, 1985).

Com base nos argumentos matemáticos de Max Planck, Einstein constatou que os fótons se comportam como pacotes de energia. A partir dessa observação, ele concluiu que a luz pode se comportar tanto como onda quanto como partícula (WEIGEL, WACHTER, *et al.*, 2016).

O efeito fotoelétrico ocorre quando os fótons incidem sobre um material capaz de liberar elétrons. Cada material apresenta uma quantidade específica de energia, conhecida como função de trabalho, necessária para que seus elétrons sejam removidos (DE LIVEIRA PACHECO, KELLERMANN SABINO e PINCELLI WESTIN, 2020).

Podemos definir que a energia contida em um fóton segue a seguinte forma:

$$E = hf \quad [1]$$

Sendo:

E – energia armazenada no fóton (eV)

h – constante de Planck ($4,0 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$)

f – frequência do foton (Hz)

Os fótons se movem à velocidade da luz e, quando atingem o material, toda essa energia é transferida na forma de energia cinética (BUCHWALD, 1985). Nesse sentido, caso essa energia seja maior do que a energia necessária para manter o elétron preso no átomo, ele será ejetado, e a energia cinética adquirida por esse elétron será igual a:

$$E = hf - \phi \quad [2]$$

Sendo:

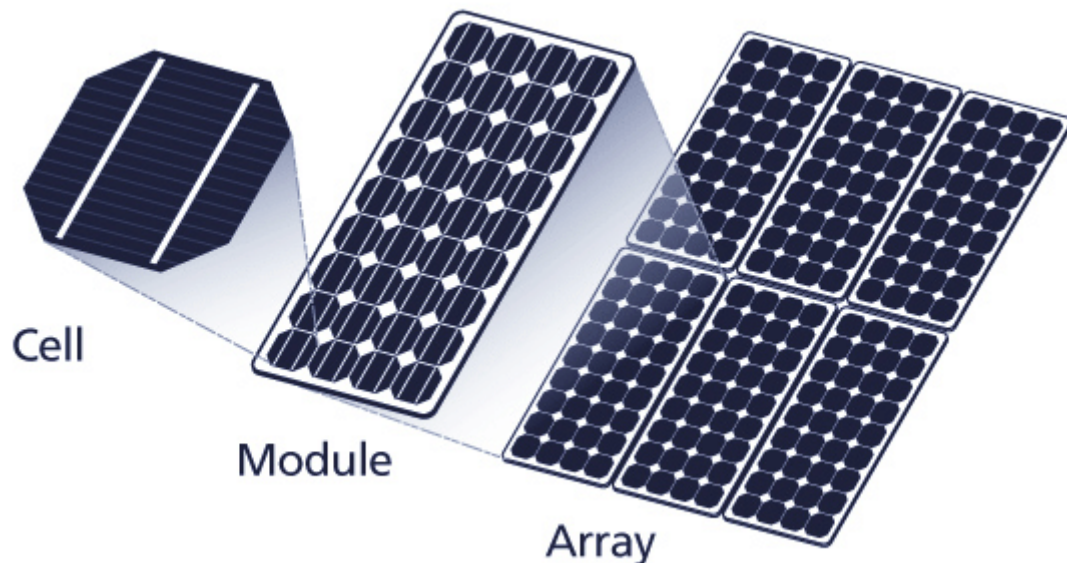
E – energia cinética do elétron ejetado

ϕ – energia que mantém o elétron dentro do material

Partindo desse pressuposto, podemos definir que a energia fotovoltaica se caracteriza como uma fonte de energia renovável e sustentável. Isso significa que tanto os recursos para sua utilização quanto as consequências de seu uso terão impactos mínimos no planeta e, conseqüentemente, no ser humano (GOLDEMBERG e LUCON, 2007).

Com a descoberta do efeito fotoelétrico e sua aplicação na indústria, tornou-se possível agrupar várias células fotovoltaicas em um espaço reduzido, interligando-as em série-paralelo para formar um painel fotovoltaico. Esses painéis, por sua vez, são conectados a outros painéis com o objetivo de aumentar a tensão e a corrente gerada, resultando no aumento da potência instalada e formando um arranjo fotovoltaico (LÉDA, 2021).

Figura 6 Composição e Definição de um Arranjo Fotovoltaico



Fonte: Energias Renováveis: Energia Solar, 2011.

Ao realizar a interligação dos arranjos fotovoltaicos é importante enfatizar que há alguns parâmetros específicos importantes de cada módulo fotovoltaico, de acordo com FERNANDES, 2020, eles podem ser definidos como:

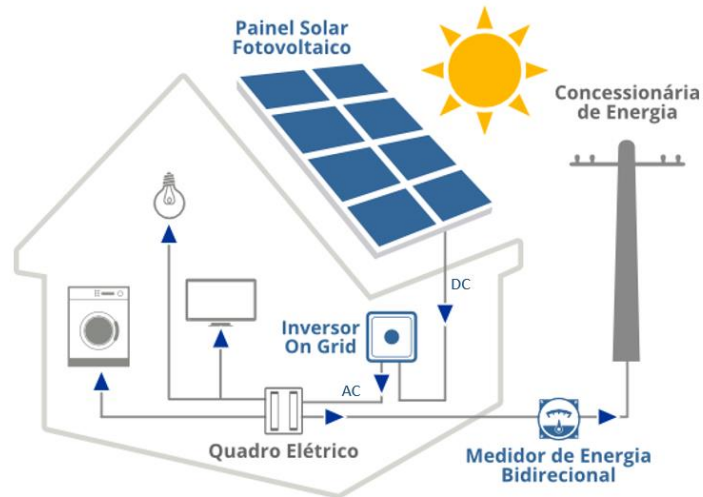
- P_{max} – É a potência máxima, em condições ideais, que o painel pode operar.
- V_{oc} – Significa tensão de circuito aberto (*Open Circuit Voltage*), que é a máxima tensão, em condições ideais, que o módulo pode fornecer.
- I_{sc} – Significa corrente de curto-circuito (*Short-circuit Current*), que é a máxima corrente, em condições ideais, que o módulo pode fornecer.
- V_{mp} e I_{mp} – São as tensões e correntes nominais de operação do módulo quando ele estiver instalado em um arranjo.

Considerando esses parâmetros, é de suma importância realizar um dimensionamento correto do arranjo série-paralelo da geração a ser instalada, visto que os valores de tensão e corrente não podem exceder o máximo do módulo, evitando assim a possibilidade de queima das células fotovoltaicas (ARRIGONE, DO NASCIMENTO MUTTI e PEREIRA JUNIOR, 2016).

Outro ponto relevante a ser considerado é que o painel fotovoltaico gera corrente contínua, o que não é comum para residências em geral. Para solucionar essa questão, é necessário instalar um inversor de frequência entre a carga e o arranjo fotovoltaico, que se encarregará de converter a

corrente contínua em corrente alternada, proporcionando uma tensão adequada ao uso do consumidor (GOLDEMBERG e LUCON, 2007).

Figura 7 Representação de Geração Fotovoltaica



Fonte: FACILITA, 2017.

5.5 ANÁLISE DE DADOS

Antes de definir o que é e para que serve a análise de dados, precisamos introduzir o conceito de big data.

Figura 8 Representação de Big Data



Fonte: SAP, 2020.

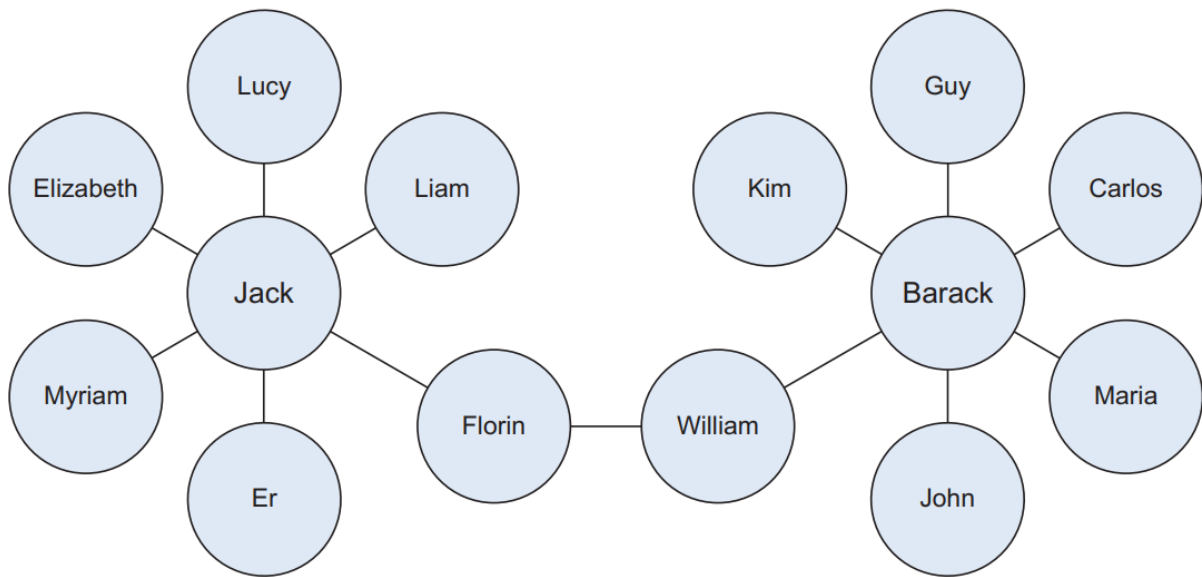
As empresas que se tornam grandes e impactantes no mercado são aquelas que valorizam e conseguem extrair, transformar e obter insights de seus dados gerados. Hoje, ao utilizarmos um computador, um carro elétrico ou um smartphone, estamos gerando dados de diferentes tipos, como latitude, longitude, modelo do celular, idade, cidade, país, região no mundo, entre outros (REVISTA EXAME, 2021).

É importante ressaltar que a tecnologia tem se desenvolvido rapidamente desde o fim da Segunda Guerra Mundial. Esse desenvolvimento foi impulsionado por questões relacionadas à Guerra Fria e à corrida espacial, que exigiram avanços tecnológicos cada vez mais rápidos ao longo dos anos. Como resultado, equipamentos, sensores e processos tornaram-se mais modernos, capazes de obter, gerar e transmitir os dados relevantes para seus respectivos usos (SILVA e PACHECO, 2020).

Ao englobar todo esse conceito abordado, podemos compreender o significado de big data, que se refere literalmente à tradução do termo "grandes dados". Trata-se de uma quantidade massiva de dados, atualizados constantemente, em tempo real e originados de inúmeras variáveis e tipos diversos. Os dados estruturados são os mais comuns de serem trabalhados, pois já estão organizados em formato de linhas e colunas. Além disso, podemos considerar os "4Vs": volume, variedade, velocidade e veracidade. Se todos esses parâmetros existirem em grande quantidade, provavelmente estamos lidando com big data (CIELEN, MEYSMAN e ALI, 2016).

Os dados estruturados são a forma mais simples de trabalhar com banco de dados, pois já estão organizados, permitindo aplicar métodos e técnicas de análise de dados, além de relacionamentos entre as tabelas, conforme necessário (FREITAS, 2020).

Figura 9 Exemplo de Relacionamento entre Dados



Fonte: CIELEN et al., 2023.

No entanto, o mesmo conceito que se compreende quando estudamos as principais equações e fórmulas nas ciências exatas, as aplicações e situações reais são bastante diferentes da ideal, o que nos leva a trabalhar com dados extremamente mais complexos e de diversos tipos, de acordo com CIELEN, MEYSMAN e ALI, 2016, os dados podem ser definidos como:

- Dados estruturados
- Dados desestruturados
- Dados em linguagem natural
- Dados de áudio, vídeo e imagens

Com todos os tópicos abordados anteriormente, surge a necessidade de uma área que se concentre em métodos e técnicas capazes de lidar com dados, em especial big data. Essa área é conhecida como ciência de dados, que reúne as principais ferramentas necessárias para realizar uma análise concisa e eficaz a partir de uma base de dados (FREITAS, 2020).

O trabalho de um cientista de dados não se limita apenas à parte matemática, estatística e de programação, mas também à parte subjetiva, que envolve a obtenção de resultados e a extração de insights. Essa é a parte mais desejada pelas empresas, pois permite realizar alterações significativas nos processos, negócios, pessoas ou em qualquer área que impacte diretamente no aumento da receita.

O trabalho de um cientista de dados começa a partir do modelo ETL (*Extract, Transform and Load*, Extrair, Transformar e Carregar em português), como mencionado anteriormente. Esse trabalho abrange desde a coleta dos dados até a obtenção dos resultados e dos insights almejados. No entanto, devido à diversidade de tipos de dados disponíveis, é necessário aplicar técnicas específicas para cada um, de forma a aplicar o conceito de extrair, transformar e carregar (ABREU, 2008).

Figura 10 Representação de defasagem entre duas tensões diferentes



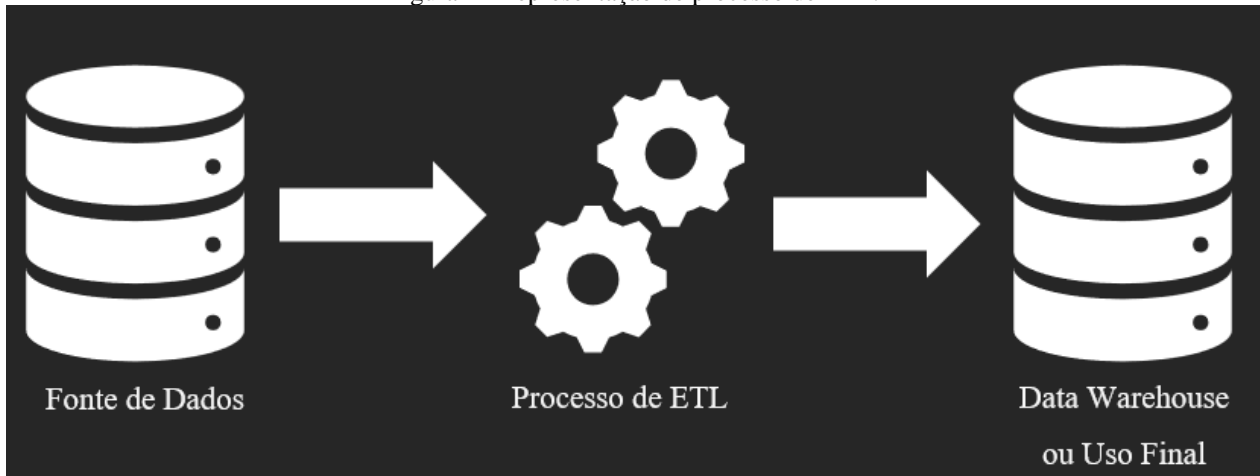
Fonte: REFINARIA DE DADOS, 2020.

A etapa de extração dos dados envolve a obtenção deles, seja por meio de uma API (Interface de Aplicação de Programação, em português), automação, integração entre sistemas ou até mesmo *Web Scrapping*, que é um ramo dentro da ciência de dados focado em obter dados desestruturados disponíveis publicamente na internet (TENORIO FARIAS e ANGELUCI, 2021). As fontes desses dados podem ser obtidas a partir de praticamente qualquer dispositivo conectado à eletricidade para funcionar, como linhas de produção, geração de energia, smartphones, computadores, sites, entre outros.

Quanto à etapa de transformar e carregar os dados, ela envolve a padronização dos nomes das variáveis dos dados, remoção de outliers, informações incorretas, erros e caracteres indesejados. Literalmente, trata-se de limpar toda a base de dados de forma que seja possível

sumarizar e obter números corretos posteriormente (FALCADE, FALCADE, *et al.*, 2019). O carregamento desses dados depende da ferramenta que está sendo utilizada, podendo ser softwares como *Power BI*, *Tableau*, *QuickSight* ou até mesmo a linguagem de programação Python com suas bibliotecas específicas. O termo "carregar" refere-se ao destino dos dados, ou seja, o que eles se tornarão, como gráficos, dashboards, relatórios, entre outros tipos possíveis.

Figura 11 Representação de processo de ETL.



Fonte: Própria, 2022.

Um conceito importante a ser enfatizado é o significado de *Data Lake* (Lago de Dados em português) e *Data Warehouse* (Armazém de Dados em português), ambos os termos são amplamente utilizados quando se trabalha com big data (CIELEN, MEYSMAN e ALI, 2016).

Um *Data Lake* é um repositório utilizado para armazenamento de dados, sejam eles de todos os tipos, como estruturados, não estruturados ou semiestruturados. Uma de suas principais características é que ele comumente é utilizado para armazenar os dados em seu formato nativo ou *raw format* em inglês, o que significa melhor utilização de espaço de armazenamento, visto que arquivos nativos são extremamente menores do que aqueles que sofreram alguma transformação. O termo *Data Lake* significa que assim como um lago é alimentado por vários rios, um *Data Lake* é alimentado por várias fontes de dados, isso significa que você possuirá em um só lugar todos os dados necessários para desenvolver seu modelo ou análise. Os possíveis benefícios que podem ser citados para essa forma de armazenamento de dados é que como você possuirá em apenas um lugar todos os seus dados, você será capaz de desenvolver ferramentas complexas para extrair, transformar e utilizar esses dados da melhor forma possível para seu negócio, a desvantagem é que isso exigirá um alto nível de conhecimento principalmente na área de inteligência artificial e sua subárea de aprendizado de máquina ou *machine learning* em inglês (HAI, QUIX e JARKE, 2021).

Por outro lado, um *Data Warehouse* já possui uma limitação maior quanto ao seu espaço quando comparado a um *data lake*, visto que no *Data Warehouse* você armazena dados estruturados ou processados, eles são geralmente utilizados para aplicações mais simples como inteligência de negócios ou outros setores que lidam com análises de dados, mas de uma forma mais simples (FERREIRA, 2020).

De um lado, surge a necessidade de armazenar vastos volumes de dados por longos períodos, enquanto requer técnicas avançadas de ciência de dados para extrair significado dessas informações em prol do negócio. Por outro lado, apresenta-se uma alternativa que permite armazenar dados processados em menor escala, ideais para aplicações menos complexas quando comparadas aos ambientes de um *data lake*. Este modelo de armazenamento é o *data lake*, notável por ser mais econômico se comparado a um *data warehouse*. Conforme as demandas específicas, as empresas podem optar entre um *data lake* ou um *data warehouse* para sua infraestrutura de dados. No entanto, nos últimos anos, tem sido observado um crescente predomínio da preferência pelo *data lake*, uma escolha fomentada pelo contínuo avanço da ciência de dados, suas ferramentas e técnicas (AISSI, BENANNI, *et al.*, 2020).

A principal ferramenta utilizada para extrair, transformar, carregar e analisar dados atualmente no mercado é a linguagem de programação *Python*. Ela é a mais utilizada para data Science pelo motivo de existir inúmeras bibliotecas específicas para utilização em data Science, além disso a linguagem *Python* é normalmente considerada uma linguagem simples e didática, de forma que aos iniciantes na área não tenham grandes dificuldades em começar a desenvolver suas próprias análises e relatórios. Em uma abordagem mais avançada, a linguagem *Python* se sobressai quando se faz necessário o desenvolvimento de modelos dentro do âmbito da inteligência artificial como modelos de predição, prescrição ou *machine learning*. Abaixo é possível visualizar as principais ferramentas que é possível de utilizar dentro de um relatório em *python* para análise de dados (ROSA, 2018).

De acordo com a definição de cada biblioteca:

- MATPLOTLIB – é uma biblioteca da linguagem de programação Python que é comumente utilizada para visualização de dados e plotagem gráfica. Uma das principais funcionalidades é que ele suporte dezenas de *back-ends* e tipos de saídas, que significa que ele funciona independente do sistema operacional que estiver sendo utilizado ou do formato de saída desejado, isso é conhecido

como plataforma cruzada. Por fim, é possível definir que ele possui duas interfaces, a primeira é baseada no MATLAB, isto é, originalmente ela foi escrita para ser uma alternativa *Python* para usuários MATLAB, a outra interface é a orientada a objetos que é utilizada para situações mais complicadas e para quando você precisa ter o controle sobre sua figura, ou seja, personalizar da forma que você quiser a figura que está mostrando um determinado gráfico.

- PANDAS – é uma biblioteca para ciência de dados suportado pela linguagem de programação Python que é utilizada especificamente para trabalhar com dados relacionais de maneira simples e intuitiva. As suas principais aplicações são, de forma generalizada, para limpeza e tratamento de dados, análise exploratória de dados, *machine learning*, consultas e queries em bancos de dados relacionais, visualização de dados, *web scraping* entre outros.

- SEABORN – é outra biblioteca utilizada na linguagem de programação *Python* muito parecido com *Matplotlib* só que contém uma interface mais elaborada para construir gráficos, mas com maior enfoque estatístico.

- NUMPY – é a principal biblioteca para trabalhar com operações rápidas para tratamento e limpeza de dados, geração de subconjuntos e filtragens, manipulação de dados, entre outras operações matemáticas mais complexas principalmente envolvendo matrizes e vetores, ou seja, bastante utilizado no campo da álgebra linear.

- JUPYTER NOTEBOOK – No sentido literal da palavra ele funciona de forma generalizada como um caderno, onde você pode realizar suas análises digitando seu código através de células que podem ser executadas de forma única e independente, no notebook você pode colocar títulos, subtítulos, entre outros recursos. O *Jupyter Notebook* oferece um ambiente possível que o cientista de dados não irá precisar executar um código completo para obter sua saída, ele precisa apenas alterar a célula no que tange a sua necessidade de saída.

5.6 POTÊNCIA ELÉTRICA EM CIRCUITOS DE CORRENTE CONTÍNUA E ALTERNADA

De acordo com ALEXANDER e SADIKU, 2013, pode-se definir que potência elétrica é uma grandeza física que mensura a quantidade de energia que variou em um espaço de tempo.

$$P = \frac{dw}{dt} \quad [3]$$

Onde:

P – Potência medida em watts (W)

dw – Variação de Energia medida em joules (J)

Δt – Espaço de Tempo medida em segundos (S)

Quando utilizamos esta equação no contexto de circuitos elétricos percebemos que a variação de energia ao longo do tempo é igual a

$$p = v \cdot i \quad [4]$$

Onde:

p – Potência Elétrica

v – Diferença de potencial (tensão) medida em volts (V)

i – Corrente elétrica medida em ampéres (A)

No entanto assim como a corrente elétrica, a potência também pode ser calculada no contexto contínuo ou alternado. Considerando a potência elétrica na corrente contínua ela sempre é flui na mesma direção entre os positivos positivo e negativo. Por outro lado, na presença da corrente alternada podemos calcular três tipos diferentes de potências elétricas, conforme BOYLESTAD, 2004, podem ser conceituadas da seguinte forma:

- Potência Ativa (P) – a que de fato é utilizada pelos sistemas, que é medido em watts (W).
- Potência Reativa (Q) – a que não realiza trabalhos efetivos ou diretamente para que o sistema em questão funcione plenamente, que é medido em volt-ampere reativo (VAr).
- Potência Aparente (S) – soma vetorial total das outras duas potências, ou em outras palavras, a potência total, que é medido em volt-ampere (VA).

Existe um parâmetro que é capaz de mensurar a eficiência de um determinado sistema a partir da avaliação da relação entre as potências, o fator de potência. O fator de potência possui várias formas de ser calculado, no entanto a principal delas é dividir a potência ativa pela aparente, o que se pode interpretar como um cálculo de eficiência, já que é a quantidade da energia que está sendo utilizada dividida pelo total fornecido ao sistema (RIEDEL e NILSSON, 2008) .

$$\phi = \frac{P}{S} \quad [5]$$

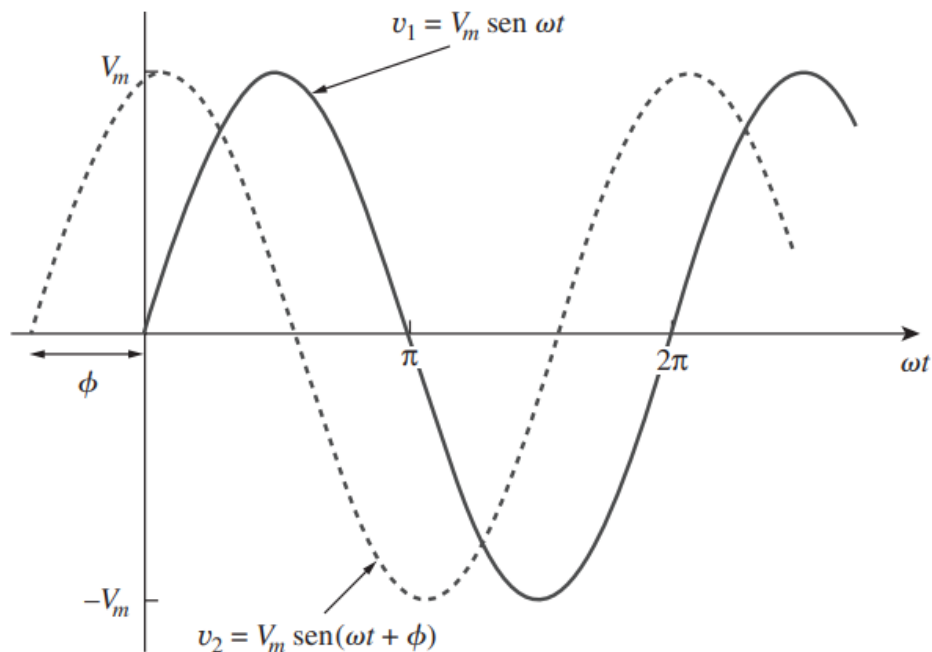
O fator de potência não possui unidade e não pode exceder o valor de 1. O que se pode interpretar a partir desse conceito é que quanto mais próximo a 1 o fator de potência for, mais eficiente é o sistema elétrico a ser avaliado. É com o fator de potência que também conseguimos calcular as potências ativas e potências reativas do sistema (ALEXANDER e SADIKU, 2013).

$$P = V \cdot i \cdot \cos\phi [6]$$

$$Q = V \cdot i \cdot \sin\phi [7]$$

BOYLESTAD, 2004 aborda que se pode interpretar o fator de potência como um ângulo. Isto acontece por conta de que quando as respostas senoidais do circuito alternado a ser utilizado são avaliadas percebe-se que existe um atraso da corrente em relação tensão. Isso acontece justamente por conta da perda causa pela existência de alguns fatores na rede tais como distorções harmônicas ou alto valor de energia reativa presente no sistema. Esse atraso, ou defasagem, notado entre tensão e corrente é possível calcular em forma de ângulo, dessa forma quando o ângulo for zero significa que a corrente e a tensão estão em fase, resultando em uma em um cosseno de fator de potência igual a 1 (valor máximo possível da equação de potência ativa) e um valor igual a 0 para a potência reativa (valor mínimo possível para equação de potência reativa).

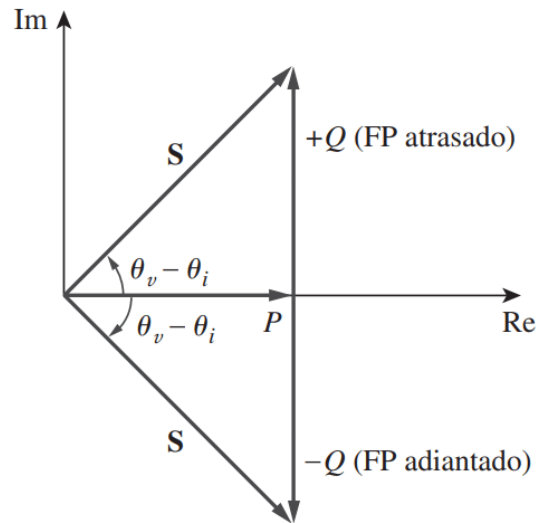
Figura 12 Representação de Defasagem entre Duas Tensões Diferentes



Fonte: Alexander e Sadiku, 2013.

Partindo desse conceito podemos interpretar as potências e o fator de potência em um eixo complexo onde o eixo y é o conjunto dos números imaginários e o eixo x o conjunto dos números reais e então realizar uma soma vetorial.

Figura 13 Triângulo das potências em diferentes quadrantes



Fonte: Alexander e Sadiku, 2013.

Ainda a partir da resolução de BOYLESTAD, 2004, percebe-se que a parcela ativa de potência está sobre o eixo x, que é a energia que efetivamente é utilizada no sistema, no eixo Y está a parcela reativa de potência, que é a energia perdida no sistema, então a soma vetorial de ambos as parcelas resultam na potência aparente ou total. Na figura também é possível notar que o ângulo do fator de potência está entre a parcela ativa e a potência aparente que corrobora com o que explicado anteriormente que se o ângulo do fator de potência é igual a 0, significa que a potência aparente está sobre a parcela real de potência, fazendo com que a potência aparente seja igual a potência ativa.

Outro ponto importante ainda referente a imagem acima é que o ângulo do fator de potência além de ser calculado com a diferença entre a defasagem da tensão e a corrente, ele também pode ser positivo ou negativo, o que significa que pode ocorrer da corrente está atrasada em relação à tensão ou o contrário acontecer. A partir destes conceitos podemos definir que existem três tipos de circuitos alternados que RIELDEL e NILSSON, 2008 definem da seguinte forma:

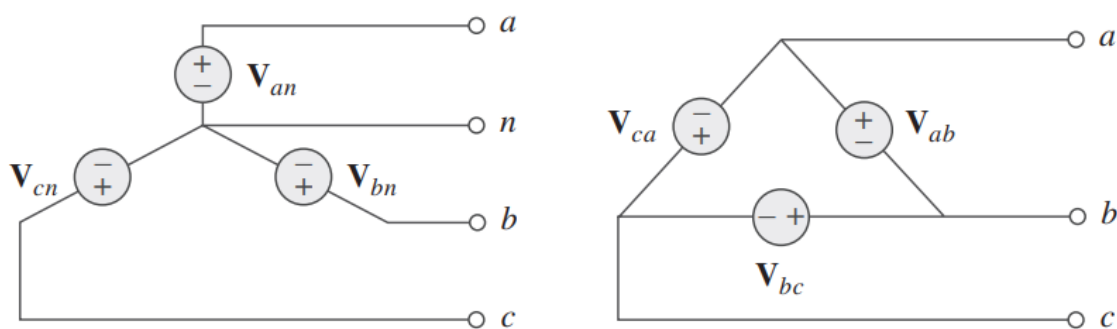
- Capacitivos – quando a tensão está atrasada em relação a corrente, o que significa que o ângulo do fator de potência é negativo.

- Indutivos – quando a corrente está atrasada em relação a tensão, o que significa que o ângulo do fator de potência é positivo.
- Resistivos – quando não há presença de potência reativa no sistema, o que significa que o ângulo do fator de potência é zero.

ALEXSANDER e SADIKU, 2013, explicam que a partir das mesmas equações e conceitos apresentados podemos aplicar as análises também em sistemas trifásicos. Sistemas trifásicos é quando ao invés de apenas uma componente de tensão elétrica, existem três que são defasados 120 graus entre si em relação ao tempo. Esses sistemas são compostos por dois tipos: triângulo ou estrela. A grande diferença entre os dois sistemas é que o sistema estrela possui um neutro o triângulo não, além disso ambos possuem suas particularidades em relação às tensões de linha e tensões de fase. A tensão de fase é a tensão medida entre uma das fases e o ponto neutro (quando presente) em um sistema trifásico, ela é usada para alimentar dispositivos monofásicos ou cargas monofásicas em sistemas trifásicos. Por outro lado, a tensão de linhas é a medida entre duas fases adjacentes em um sistema trifásico.

BOYLESTAD, 2004, complementa que, no entanto, cada uma possui suas particularidades, enquanto a tensão de linha é bastante utilizada para alimentar sistemas trifásicos a tensão de fase é mais utilizada como tensão de entrada da maioria dos equipamentos, mas também eles são utilizados para fechamento de circuito de motores para alterar seu tipo de partida e conseqüentemente o seu funcionamento.

Figura 14 Representação de Ligação Estrela e Triângulo.



Fonte: Alexander e Sadiku, 2013.

RIELDEL e NILSSON, 2008, explicam que alguns dos efeitos que é possível de encontrar em sistemas com baixo fator de potência são:

- Variação de tensão
- Condutores aquecidos
- Perda de energia
- Redução do aproveitamento de capacidade de transformadores
- Fatura de energia mais cara.

Dentre esses efeitos que ocorrem em sistemas com baixo fator de potência o que pode gerar algum tipo de dúvida é a fatura de energia ficar mais cara, ou até mesmo uma multa ser aplicada. Isso acontece pois os condutores de distribuição e transmissão de energia instalados pelas concessionárias são projetados para suportar um certo valor de corrente, e considerando que a potência reativa é uma energia que não é fornecida ou consumida, ela não gera nenhum tipo de produto ou resultado diretamente, mesmo que a energia reativa seja necessária para o funcionamento de indutores, capacitores, ou seja, por consequência motores elétricos (BOYLESTAD, 2004).

A resolução 414 de 2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) consta em seu artigo 95 que o fator de potência indutivo ou capacitivo possui um limite mínimo permitido de 0,92. Caso esse limite não seja respeitado há a aplicação de uma cobrança extra na fatura de energia baseado nas seguintes equações:

$$E_{RE} = \sum_{T=1}^{n1} \left[EEAM_T + \left(\frac{f_r}{f_T} - 1 \right) \right] \cdot VR_{ERE} \quad [8]$$

$$D_{RE}(p) = \left[MAX_{T=1}^{n2} \cdot \left(PAM_T \cdot \frac{f_R}{f_T} \right) - PAF(p) \right] \cdot VR_{DRE} \quad [9]$$

Onde:

ERE = Excesso de energia reativa no período de faturamento (R\$).

- EEAMT = Energia ativa medida durante o intervalo de tempo faturado (MWh).
- fR = Coeficiente de potência referencial, fixado em 0.92.
- fT = Coeficiente de potência da instalação elétrica, calculado no intervalo de faturamento.
- VRERE = Valor de referência equivalente à tarifa de energia "TE" da bandeira verde, aplicada ao subgrupo B1, em Reais por megawatt-hora (R\$/MWh).

- $DRE(p)$ = Valor por posto tarifário “p” correspondente à demanda excedente de potência reativa além do limite definido pelo coeficiente de potência referencial “fR” durante o período de faturamento, em Reais (R\$).
- PAMT = Demanda de potência ativa medida durante o intervalo de uma hora “T” no período de faturamento, em quilowatt (kW).
- PAF(p) = Demanda de potência ativa faturável em cada posto tarifário “p” durante o período de faturamento, em quilowatt.
- VRDRE = Valor de referência, expresso em Reais por quilowatt (R\$/kW), correspondente às tarifas de demanda de potência para o posto tarifário fora de ponta, aplicadas às modalidades tarifárias horárias azuis dos subgrupos do grupo A.
- MAX = Função que determina o valor máximo da equação dentro dos parênteses correspondentes para cada posto tarifário “p”.
- T = Representa um intervalo de uma hora no período de faturamento.
- p = Indica o posto tarifário ponta ou fora de ponta para as modalidades tarifárias horárias, ou o período de faturamento para a modalidade tarifária convencional binômia.
- n1 = Número de intervalos de uma hora “T” no período de faturamento para os postos tarifários ponta e fora de ponta.
- n2 = Número de intervalos de uma hora “T” por posto tarifário “p” no período de faturamento.

Uma das maneiras mais utilizadas em qualquer sistema para correção do fator de potência é a utilização de banco de capacitores. Isso acontece devido que a maioria das cargas que podem aumentar o consumo de energia reativa são cargas indutivas, tais como motores. Com a instalação de energia capacitiva ocorrerá uma neutralização das cargas indutivas fazendo com que o fator de potência fique mais próximo de 1. Essa instalação do banco de capacitores pode ocorrer em vários locais, isto é, na entrada de alta, entrada de baixa ou localizada na carga em específico (SOUZA, 2021).

5.7 DISTORÇÕES HARMÔNICAS

As distorções harmônicas são perturbações indesejáveis que ocorrem nas formas de onda de tensão e corrente elétrica em sistemas de energia. Elas consistem em componentes de frequência múltipla da frequência fundamental do sistema e são resultado de várias causas, como a operação

de dispositivos não lineares, problemas na geração ou transmissão de energia e má qualidade dos equipamentos elétricos (ALEXANDER e SADIKU, 2013).

BOYLESTAD, 2004, complementa que para compreender como que esta perturbação ocorre é preciso definirmos de que forma analisamos as formas de ondas de um sistema elétrico alternado. Podemos definir que em um circuito elétrico de corrente alternada a tensão e a corrente são calculadas a partir das equações a seguir.

$$v = \sqrt{2} \cdot v \cdot \text{sen}(wt) \quad [10]$$

$$i = \sqrt{2} \cdot i \cdot \text{sen}(wt - \varphi) \quad [11]$$

Onde:

v = valor eficaz da tensão

i = valor eficaz da corrente

w = frequência da rede

φ = ângulo de defasagem entre as ondas de tensão e corrente

Percebe-se que ambos as equações definem senoides que variam conforme o tempo, a partir disto podemos aplicar a análise de Fourier para decompô-las e analisar se há presença de distorções de frequência através de suas componentes. O Teorema da Decomposição de Fourier ou Teorema da Série de Fourier dita que é possível representar qualquer forma de onda periódica, e algumas não periódicas, através de um somatório de senos e cossenos. De acordo com RIELDEL e NILSSON, 2008, a forma geral da série de Fourier para uma função periódica $f(t)$ é dada por:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos nwt + b_n \sin nwt) \quad [10]$$

Onde:

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ é a frequência angular fundamental e T é o período.

a_0 é o coeficiente de amplitude da componente contínua, comumente chamada de média da função ou nível DC.

a_n e b_n são os coeficientes de amplitude das componentes senoidais de frequência nw .

n é o um número inteiro positivo que representa a ordem do harmônica (componente).

ALEXANDER e SADIKU, 2013, abordam que quando uma forma de onda, seja de tensão ou corrente, de um sistema elétrico alternado é decomposta através da Análise de Fourier é possível verificar que a expressão conterá várias parcelas, cada uma com uma amplitude e frequência, quanto maior a ordem da parcela (*n*) menor será sua amplitude e sua frequência. No entanto é justamente através dessas parcelas que é possível identificar a presença de qualquer distúrbio que possa estar acontecendo na rede pois a primeira parcela é a principal onde possui a frequência fundamental na qual os equipamentos receberão a energia elétrica. Além da fundamental as outras parcelas são consideradas como distúrbios na rede, mas que, quando controlados, não ocasionam nenhum impacto negativo no sistema, logo é possível calcular uma taxa de distorção harmônica, definida por:

$$THD(\%) = \frac{\sqrt{\sum_2^n V_i^2}}{V_1} * 100 \quad [12]$$

Onde:

V_1 é o valor de amplitude do modo fundamental.

V_i é a amplitude subsequente de cada harmônico.

A relação existente entre as distorções harmônicas e o fator de potência está diretamente ligada à forma de onda da corrente elétrica em sistemas de corrente alternada (CA). Quando há a presença de cargas não lineares, como inversores e retificadores, as correntes harmônicas são introduzidas, causando variações na forma de onda da corrente elétrica que podem estar defasadas em relação à tensão (BOYLESTAD, 2004).

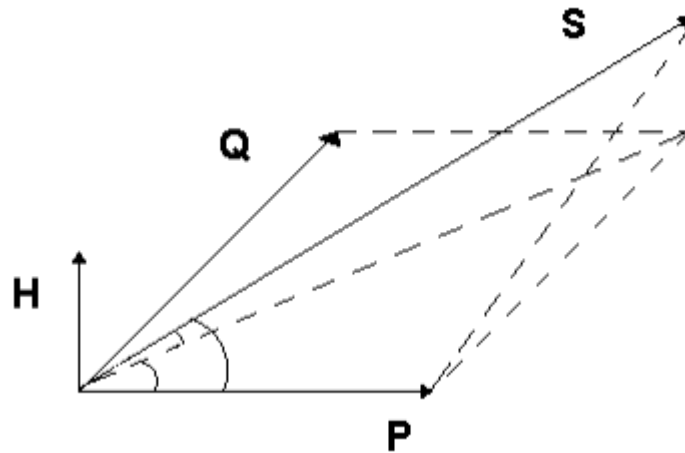
Essas correntes harmônicas adicionais resultam em um aumento da potência aparente (kVA) do sistema, pois a potência aparente é a soma vetorial da potência ativa (kW) e potência reativa (kVAR). Como a potência aparente é calculada multiplicando a tensão pela corrente aparente, que é a soma vetorial das correntes harmônicas e a componente fundamental, esse aumento da potência aparente é observado quando há distorções harmônicas (RIEDEL e NILSSON, 2008).

A relação entre as distorções harmônicas e o fator de potência é estabelecida pelo fato de que o fator de potência é a razão entre a potência ativa e a potência aparente. Portanto, com as

correntes harmônicas adicionais causando um aumento da potência aparente sem um aumento correspondente na potência ativa, o fator de potência é reduzido (ALEXANDER e SADIKU, 2013).

Ao considerar um conceito parecido com o triângulo das potências podemos inserir mais uma componente, a potência de distorção (D), que representa a relação física com perdas além de ser o acréscimo quando existem componentes harmônicas. A medida de D é kVA (kVA de distorção). Além disso é preciso considerar uma nova potência aparente definida como S_{tot} levando em conta a presença de harmônicas (GOMES, 2002).

Figura 15 Tetraedro das Potências



Fonte: GOMES, 2002.

De acordo com GOMES, 2002, a partir da figura acima podemos deduzir as equações abaixo.

Para o cálculo de S_{tot} :

$$S_{tot}^2 = S^2 + H^2 \quad [13]$$

Para o cálculo do fator de potência real (FPr):

$$FPr = \frac{P}{S_{TOT}} \quad [14]$$

A partir do tetraedro das potências podemos calcular a potência aparente total da seguinte forma:

$$S_{TOT} = \frac{S}{\cos \lambda} \quad [15]$$

Manipulando as equações acima é possível chegar na seguinte relação:

$$FPr = \cos \varphi \cdot \cos \lambda \quad [16]$$

Para que o cálculo fique dependente de valores conhecidos em um sistema:

$$FPr = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 + \left(\frac{THD}{100}\right)^2}} \quad [17]$$

Pode-se então concluir que, matematicamente, as distorções harmônicas impactam diretamente no valor do fator de potência do sistema.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente seção descreve os materiais utilizados e os procedimentos metodológicos adotados para a realização da pesquisa proposta neste trabalho, que visa analisar os dados fornecidos pelos inversores de frequência na instalação de uma planta de geração de energia solar fotovoltaica com 462 kWp de potência, todos os dados, todos os dados foram coletados durante o mês de outubro de 2023 em Manaus.

6.1 ESPECIFICAÇÕES DO SISTEMA

A instalação em questão consiste em uma planta de geração de energia solar fotovoltaica conectada à rede de distribuição de energia elétrica de média tensão, com capacidade de 462 kWp de potência de painéis fotovoltaicos e 375 kW de potência total dos inversores. Essa instalação atende a um imóvel comercial e opera sem o uso de baterias, sendo projetada para suprir o consumo elétrico do local. Adicionalmente, há a possibilidade de injeção do excedente de produção na rede de distribuição da concessionária, caracterizando o sistema de compensação de energia elétrica conforme previsto na Resolução Normativa nº 482/2010 da ANEEL, com as revisões posteriores das Resoluções Normativas ANEEL nº 517/2012 e nº 687/2015.

6.1.1 Especificações Gerais do Sistema

Conforme os dados de dimensionamento providos pelo engenheiro projetista do sistema, as especificações gerais do sistema possuem os seguintes valores mostrados abaixo.

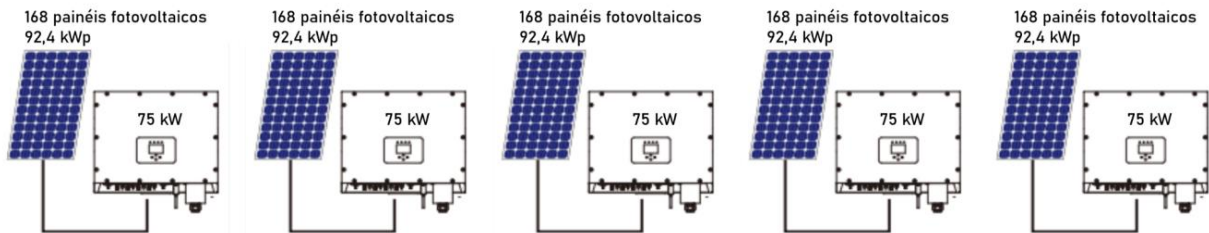
Tabela 1 Especificações Gerais do Sistema

	462.000 W
Fabricante e modelo dos módulos	Solar Schutten STM-550/144-S3
Quantidade total de módulos	840
Número total de fileira (strings)	60
Potência total do sistema	375.000 W
Fabricante e modelo do inversor	Deye SUN-75K-G
Quantidade de inversores	05
Fabricante e modelo do autotransformador	PHB Solar Autotrafo 90 kVA
Quantidade de autotransformadores	05

Fonte: Própria, 2023.

A disposição de ligação entre as strings de módulos fotovoltaicos e o restante dos elementos que compõem o sistema é exemplificado na imagem e tabela abaixo.

Figura 16 Representação da Instalação Fotovoltaica



Fonte: Própria, 2023.

Portanto, a partir da representação anterior é possível visualizar de que forma cada inversor está conectado com seu devido MPPT, que já interno ao dispositivo, além da quantidade de strings e painéis fotovoltaicos.

Tabela 2 Especificações de Conexões do Arranjo Fotovoltaico

Inversor	MPPT	Quantidade de Strings e Painéis por MPPT
Inversor 01 a 05	MPPT1	3 strings com 14 painéis fotovoltaicos em série = 42 painéis fotovoltaicos
	MPPT2	3 strings com 14 painéis fotovoltaicos em série = 42 painéis fotovoltaicos
	MPPT3	3 strings com 14 painéis fotovoltaicos em série = 42 painéis fotovoltaicos
	MPPT4	3 strings com 14 painéis fotovoltaicos em série = 42 painéis fotovoltaicos
Total		3 x 14 x 4 = 168 painéis fotovoltaicos em cada inversor

Fonte: Própria, 2023.

6.1.2 Especificação de Módulo Fotovoltaico

Cada módulo fotovoltaico segue a seguinte tabela abaixo de parâmetros padrões que foram considerados no momento de dimensionamento do sistema.

Tabela 3 Especificações de Módulo Fotovoltaico

DESCRIÇÃO	STM-550/144-S3
Fabricante	Solar Schutten
Potência máxima (Wp)	550
Tensão no ponto de máx. potência (Vmp)	41,96
Corrente no ponto de máx. potência (Imp)	13,11
Tensão de circuito aberto (Voc)	49,90
Corrente de curto circuito (Isc)	14,00
Eficiência (%)	21,30
Temp-coeff Voc (%/°C)	-0,275
Temp-coeff Isc (%/°C)	0,045
Temp-coeff Pmax (%/°C)	-0,350
Temperatura de operação (°C)	-125
Peso (kg)	28.6
Dimensões (mm)	2279x1134x35
Tipo de célula	Monocristalino

Fonte: Própria, 2023.

6.1.3 Especificação de Inversor

Por fim, o último dispositivo necessário para definir seus parâmetros é o inversor fotovoltaico. A partir das especificações é possível analisar seus parâmetros máximos suportados que auxiliam principalmente no dimensionamento, mas também no monitoramento de performance do sistema.

Tabela 4 Especificações do Inversor

	Inversor (fabricante e modelo)	DEYE SUN-75K-G
Dados de entrada (CC)	Potência máxima em CC (W)	97.5
	Máxima corrente de entrada por string (A)	44
	Corrente de curto-circuito por string (A)	60
	Tensão de inicialização (V)	250
	Tensão máxima CC (V)	1000
	Número MPPT/Strings por MPPT	45020
Dados de saída (CA)	Potência nominal de saída CA (W)	75
	Potência máxima de saída CA (W)	82.5
	Corrente nominal de saída CA (A)	108,7
	Corrente máxima de saída CA (A)	119,6
	Tensão nominal CA (V)	3/N/PE, 380
	Frequência de grade CA (Hz)	50 - 60
	Fator de potência (ajustável)	-0.8...1...+0.8
	Distorção total de harmônicos	<3%
Características mecânicas	Dimensões (mm)	700×575×297
	Massa (Kg)	60
	Grau de proteção	IP 65

	Faixa de temperatura de operação	-25°C / +60 °C
	Resfriamento	Resfriamento inteligente
	Topologia	Sem transformador
Proteção de polaridade reversa		Sim
Interruptor CC		Sim
Proteção contra surtos CC		Sim
Monitoramento de falta à terra		Sim
Proteção contra curto-circuito de saída		Sim
Proteção contra surtos de CA		Sim
Monitoramento de falha de string		Sim
Máxima eficiência		98,7%
MPPT eficiência		>99%
Declaração de conformidade		NBR 16149, NBR 16150, IEC 62116, IEC 61000-3-4/- 5, IEC 61000-3-11/-12
Certificados Internacionais		IEC 62109-1/-2, IEC 61000- 6-2/-4

Fonte: Própria, 2023.

6.2 PROCEDIMENTO PARA COLETA DE DADOS

Os dados para a realização desta pesquisa serão obtidos diretamente dos inversores de frequência instalados na planta de geração de energia solar fotovoltaica. Esses dados serão

exportados em formato CSV, possibilitando sua manipulação e análise de forma eficiente. O software dos inversores permitirá a extração dos dados relevantes, incluindo informações sobre potência, tensão, corrente e outras variáveis importantes para o estudo. Em seguida, o *dataset* contendo os dados exportados será utilizado no ambiente do *Jupyter Notebook*, integrado ao *Visual Studio Code*, onde ocorrerá a aplicação dos métodos estatísticos e a construção das visualizações gráficas para a análise dos resultados. Essa abordagem proporcionará uma análise detalhada e sistemática dos dados coletados, permitindo a identificação de padrões, tendências e eventuais anomalias que possam influenciar no desempenho da geração distribuída. Dessa forma, o uso das ferramentas e plataformas mencionadas possibilitará uma investigação aprofundada e precisa para avaliar a eficiência e performance do sistema fotovoltaico em estudo.

Figura 17 Representação do Processo de Obtenção dos Dados para Análise



Fonte: Própria, 2023.

6.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A análise dos dados gerados pelos inversores é um componente crucial desta pesquisa. Serão aplicados os principais métodos estatísticos adequados ao contexto desta análise, utilizando a linguagem de programação *Python*, juntamente com a *IDE Visual Studio Code*.

Dentre os métodos a serem utilizados, destacam-se:

Análise Descritiva: Utilizando bibliotecas como *Pandas* e *Numpy*, serão aplicadas técnicas de estatística descritiva para resumir e descrever os dados coletados dos inversores, como médias, desvios padrão, máximos e mínimos, distribuição de frequências e gráficos relevantes.

Análise de Tendências Temporais: Através de bibliotecas como *Matplotlib* e *Seaborn*, será realizada uma análise temporal dos dados, investigando possíveis tendências de comportamento e sazonalidades ao longo do período de coleta.

Análise de Correlação: Com o auxílio de *Pandas*, *Numpy* e *Matplotlib*, será conduzida uma análise de correlação para verificar possíveis relações entre as variáveis analisadas, buscando identificar dependência linear entre os dados.

Modelagem Preditiva: Com o uso de técnicas avançadas de *data science*, como regressão e séries temporais, e utilizando bibliotecas como *Scikit-learn*, será explorada a possibilidade de desenvolver modelos de previsão com base nos dados dos inversores, visando antecipar o desempenho futuro do sistema.

Deteção de Anomalias: Por meio de bibliotecas como *Scipy*, *Pandas* e *Matplotlib*, será aplicada uma análise para identificar possíveis anomalias ou falhas no funcionamento do sistema, utilizando técnicas de deteção de outliers e anomalias nos dados coletados.

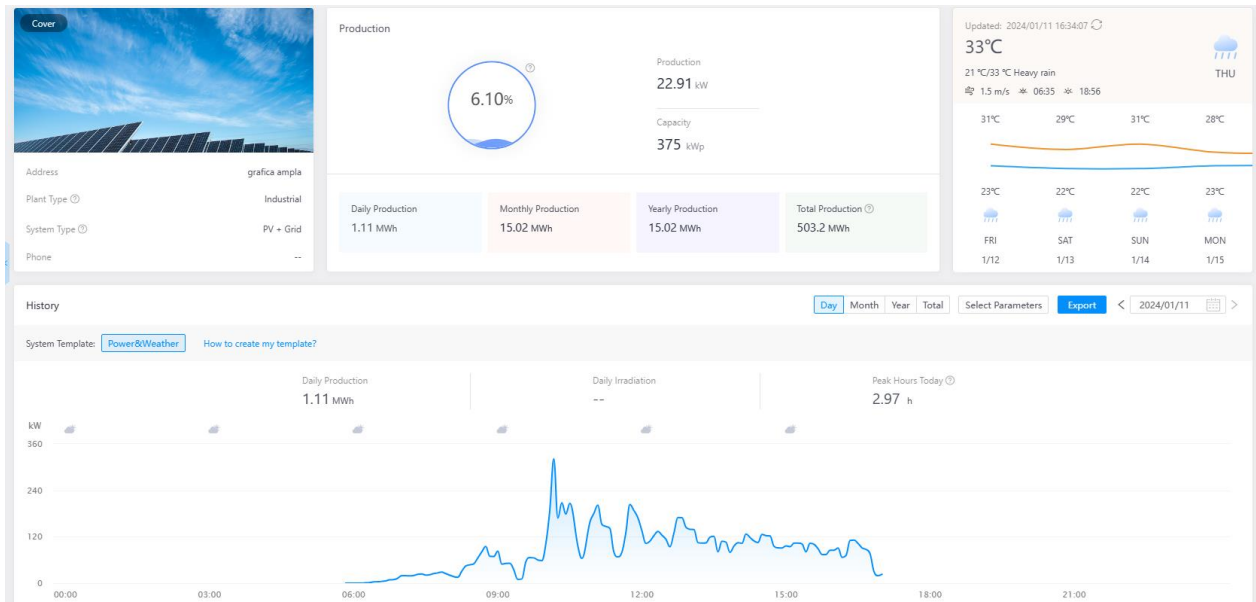
A utilização dessas ferramentas e métodos estatísticos permitirá uma análise detalhada dos dados obtidos dos inversores, fornecendo informações valiosas sobre o desempenho e eficiência do sistema de geração distribuída em estudo. A partir dessas análises, será possível propor melhorias e otimizações para maximizar a eficiência energética e identificar eventuais oportunidades de aprimoramento em todo o processo de geração fotovoltaica.

Espera-se que os resultados obtidos por meio dessa abordagem contribuam para a efetivação das metas de eficiência energética e sustentabilidade, possibilitando avanços significativos na utilização de sistemas de geração distribuída como fontes de energia limpa e renovável.

7 RESULTADOS

Inicialmente, foi discutido com o engenheiro responsável pelo desenvolvimento e implementação do projeto a melhor abordagem para coleta de dados, visando facilitar a análise subsequente. A partir do modelo do inversor, foi possível acessar um portal online que permitia monitorar diversas métricas e exportar os dados em diferentes formatos.

Figura 18 Website para obtenção e acompanhamento de performance de geração



Fonte: Solarman Website, 2023.

No entanto, os dados essenciais eram dois: a potência total gerada pela instalação e informações específicas sobre a geração por inversor. Ao analisar a exportação de dados, observou-se que essa exportação ocorria diariamente. Em outras palavras, para avaliar o desempenho ao longo de um mês, seria necessário exportar diariamente e, posteriormente, consolidar todas as informações em uma única planilha.

Após exportar todos os dados necessários, utilizou-se a linguagem de programação Python em conjunto com a biblioteca Pandas para consolidar as informações em duas planilhas distintas: a primeira contendo a potência total gerada por hora em cada dia e a segunda incluindo dados de tensão, corrente, temperatura e potência de saída de cada um dos cinco inversores do sistema. Agora, é hora de iniciar a fase de limpeza e padronização dos dados. Por fim, foi possível reunir

dados de um mês completo de geração de energia do sistema. Todos os valores de potência apresentados estarão na escala de kilowatt.

7.1 TRATAMENTO DOS DADOS

Após a obtenção dos dados, foi possível visualizá-los por meio da interface do editor de código VSCode e identificar os principais pontos que precisavam ser abordados na etapa de limpeza dos dados. O primeiro aspecto observado foi a presença de muitas colunas com registros em branco em ambos os arquivos. Portanto, todas as colunas consideradas desnecessárias para a análise foram removidas dos arquivos. Isso resultou na retenção das colunas de potência, data, hora, inversor e fator de potência em cada arquivo.

Além disso, os inversores não possuíam categorias atribuídas, sendo representados pelos números de série de cada um. Logo, foi necessário criar uma coluna que servisse como uma identificação simplificada para cada inversor, facilitando a visualização nos gráficos a serem gerados e indicando a qual inversor cada métrica se referia.

É importante destacar a necessidade de realizar a tipagem dos dados para garantir que todas as operações de manipulação e consulta sejam executadas corretamente. Nas tabelas utilizadas, os tipos de dados incluem: numéricos, texto, data e decimal.

A primeira tabela chamada de *df_potencia* possui os dados consolidados de geração total do sistema e possui a seguinte forma apresentada abaixo.

Figura 19 Tabela tratada de potência total gerada pelo sistema

	Tempo	Producao	Data	Hora	Dia da Semana	Producao_media_movel	Producao Suavizada
0	2023-10-27 06:10:00	10.60	2023-10-27	6	Friday	93.707062	61.700777
1	2023-10-27 06:15:00	15.66	2023-10-27	6	Friday	93.804938	61.128842
2	2023-10-27 06:20:00	18.35	2023-10-27	6	Friday	93.919625	60.597428
3	2023-10-27 06:25:00	21.54	2023-10-27	6	Friday	94.054250	60.112242
4	2023-10-27 06:30:00	29.57	2023-10-27	6	Friday	94.239063	59.732835
...
4479	2023-11-06 17:45:00	0.00	2023-11-06	17	Monday	100.533375	101.181397
4480	2023-11-06 17:50:00	0.00	2023-11-06	17	Monday	100.408500	99.924486
4481	2023-11-06 17:55:00	0.00	2023-11-06	17	Monday	100.308625	98.683188
4482	2023-11-06 18:00:00	0.00	2023-11-06	18	Monday	100.231313	97.457309
4483	2023-11-06 18:05:00	0.00	2023-11-06	18	Monday	100.164750	96.246660

Fonte: Própria, 2023.

Note que o resumo está trazendo as primeiras e as últimas cinco linhas, há quase 4900 registros nesta tabela, além disso foram criadas colunas para agrupar os dados de diferentes formas como por hora, dia da semana, data etc. Por fim, as últimas duas colunas são referentes a técnicas de estatísticas que estão abordadas nas visualizações gráficas.

A última tabela é a *df_inversores* que apresenta os dados de geração por inversor. Como é possível notar, além da coluna de geração de energia em W, há o campo de *Label_Inversor* que identifica qual inversor aquele registro está se referindo baseado no número de série. Além disso, como as linhas que foram mostradas abaixo representa o início e final de geração o fator de potência é *None* por se tornar irrelevante tendo em vista que a potência de saída é zero.

Figura 20 Tabela tratada de geração por inversor

	Número de série	Dispositivo Mestre	Tempo	Saída CA Potência Total (Ativa)(W)	Label_Inversor	Data	Hora	Fator de Potência
0	2207057372	2378639030	2023-10-06 05:50:15	71	Inversor 4	2023-10-06	5	0.93
1	2207057372	2378639030	2023-10-06 05:56:11	478	Inversor 4	2023-10-06	5	0.91
2	2207057372	2378639030	2023-10-06 06:02:05	950	Inversor 4	2023-10-06	6	0.92
3	2207057372	2378639030	2023-10-06 06:08:04	1479	Inversor 4	2023-10-06	6	0.91
4	2207057372	2378639030	2023-10-06 06:14:13	2002	Inversor 4	2023-10-06	6	0.92
...
23120	2207057380	2378551570	2023-11-06 17:20:02	622	Inversor 1	2023-11-06	17	0.93
23121	2207057380	2378551570	2023-11-06 17:26:59	428	Inversor 1	2023-11-06	17	0.91
23122	2207057380	2378551570	2023-11-06 17:29:21	315	Inversor 1	2023-11-06	17	0.92
23123	2207057380	2378551570	2023-11-06 17:35:11	170	Inversor 1	2023-11-06	17	0.92
23124	2207057380	2378551570	2023-11-06 17:40:15	79	Inversor 1	2023-11-06	17	0.91

Fonte: Própria, 2023.

Para a parte de tipagem dos dados cada coluna possui foi definida da seguinte forma abaixo.

Tabela 4 Tabela de Tipagem de Dados

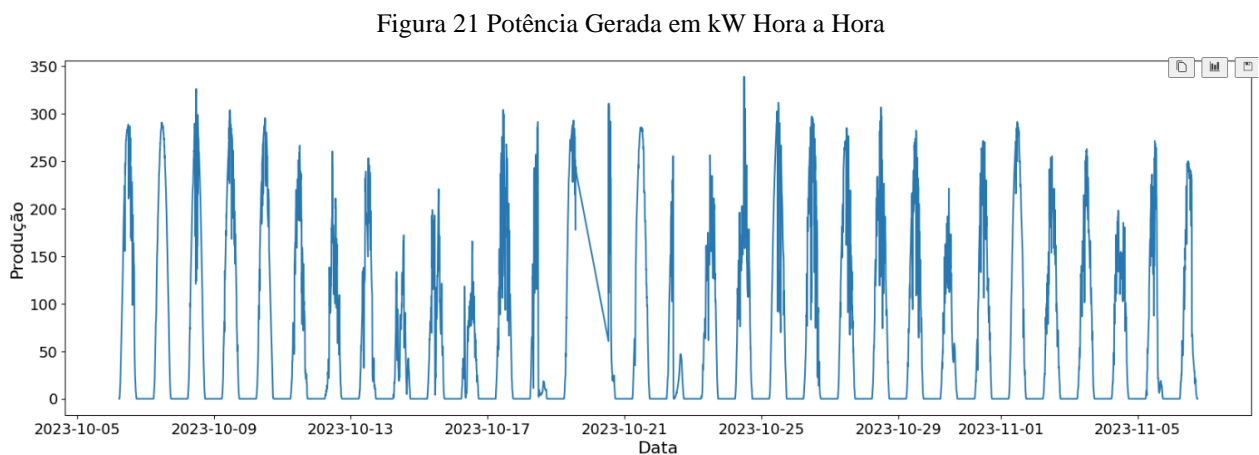
Tabela	Campo (Coluna)	Tipo de Dado
df_inversores	Número de série	<i>object</i>
	Dispositivo mestre	<i>object</i>
	Tempo	<i>datetime64[ns]</i>
	Saída CA Potência Total (Ativa) (W)	<i>int64</i>
	Inversor	<i>object</i>
	Data	<i>datetime64[ns]</i>
	Hora	<i>int32</i>
	Fator de Potência	<i>object</i>
df_potencia	Tempo	<i>datetime64[ns]</i>
	Producao	<i>float64</i>
	Data	<i>datetime64[ns]</i>
	Hora	<i>int32</i>
	Dia da Semana	<i>object</i>
	Producao_media_movel	<i>float64</i>
	Producao Suavizada	<i>float64</i>

Fonte: Própria, 2023.

7.2 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

Na etapa de análise exploratória dos dados, é crucial empregar ferramentas e conceitos de análise e visualização de dados. Agora que as bases de dados foram tratadas e carregadas no editor de código, torna-se possível avaliar o comportamento de cada campo (coluna) em relação aos outros. Neste contexto, ao analisar variáveis ao longo do tempo, podemos explorar o campo de data especificando-o em formas como dia, nome do dia da semana, hora, semana, entre outras. Essa abordagem permite avaliar e buscar insights variando a variável sob análise.

Inicialmente, examinemos como a potência total gerada se comporta de maneira bruta, ou seja, sem a aplicação de técnicas específicas, apenas plotando a potência gerada em um gráfico com base nos registros da tabela, ou seja, a cada 10 minutos. Isso resulta em um gráfico com o formato:



Fonte: Própria, 2023.

Observa-se que o gráfico está praticamente ilegível, mostrando partes que, em nossa aplicação, são irrelevantes. Por exemplo:

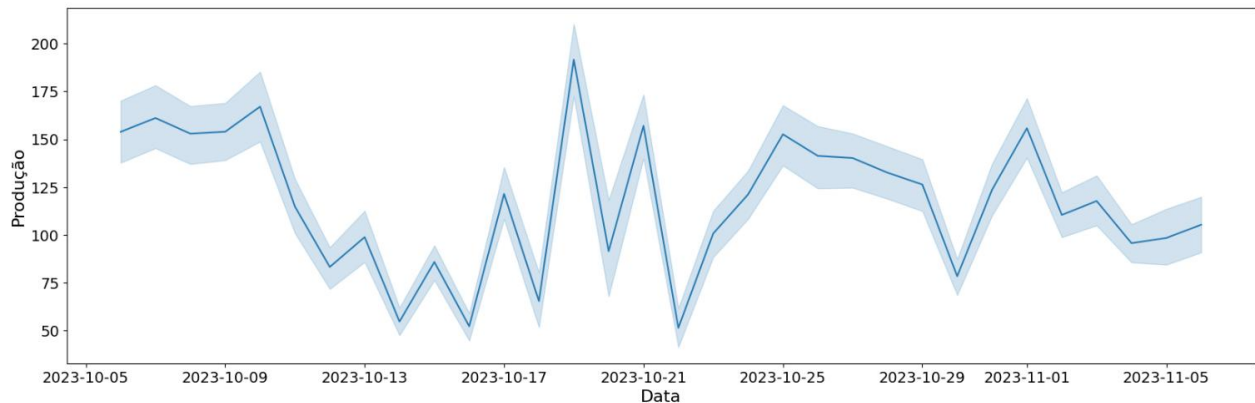
Visualização dos dados entre as 18 horas de um dia e as 5 horas da manhã do dia seguinte: Isso não faz sentido, uma vez que não há luz solar durante esse período, o que implica em ausência de geração.

Visualização de cada registro singular da tabela: Embora seja comum plotar todos os registros de tabelas com poucos dados, para grandes conjuntos de dados, torna-se mais legível agrupar algumas informações usando medidas básicas de estatísticas, como média, soma,

porcentagem etc. É importante notar que a plotagem de todos os registros da tabela resulta em uma taxa de ruído muito alta no gráfico.

Ao aplicarmos técnicas e medidas básicas de estatística, conseguimos ajustar a visualização do gráfico, resultando no seguinte formato:

Figura 22 Potência Gerada em kW por dia

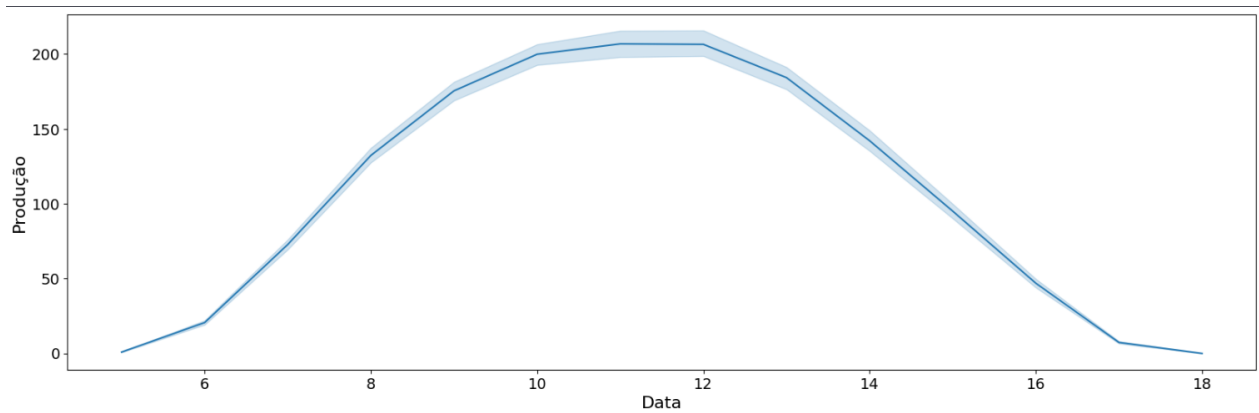


Fonte: Própria, 2023.

Agora, podemos observar o gráfico de geração diária média, onde é calculada a média da quantidade de energia gerada pelo sistema em cada dia específico. Isso nos permite extrair insights, como, por exemplo, entender por que a produção entre os dias 9 e 17 foi significativamente menor em comparação aos demais. Além disso, podemos identificar padrões sazonais, como os movimentos de subida abrupta em determinados dias, indicando uma potência mais elevada em relação aos dias anteriores. Posteriormente, exploraremos as ocorrências no sistema durante esses padrões identificados para responder às diversas questões que surgem durante a análise visual dos gráficos.

Ao explorarmos outras formas de agrupamento, como por hora, obtivemos um gráfico que apresenta de maneira aproximada o funcionamento da geração de energia de um sistema fotovoltaico.

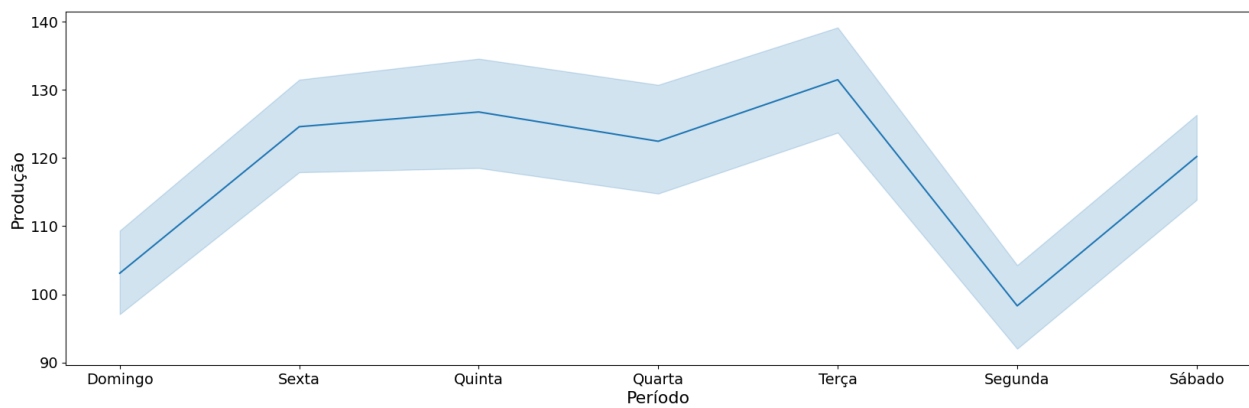
Figura 23 Potência Média Gerada por Hora em kW



Fonte: Própria, 2023.

A análise do comportamento médio do sistema ao longo da semana revela o seguinte gráfico:

Figura 24 Potência Média Gerada por dia da semana em kW

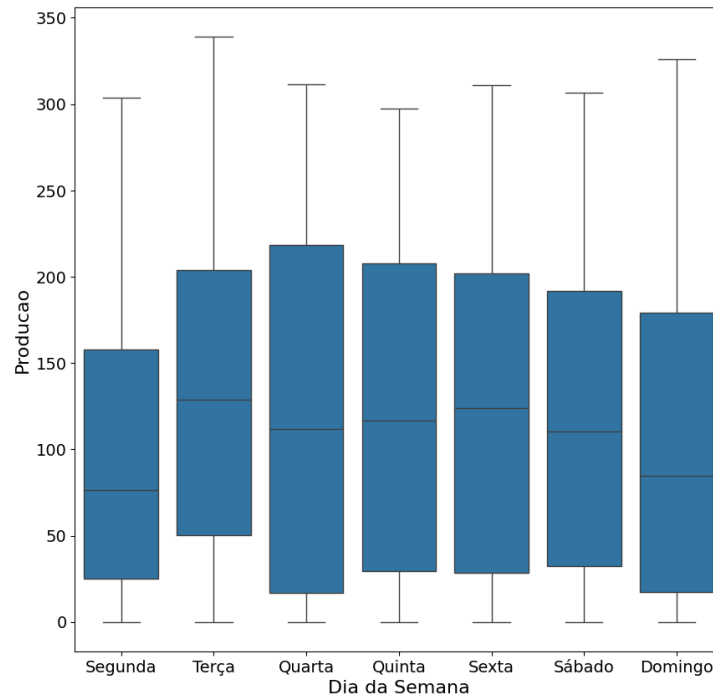


Fonte: Própria, 2023.

Pontos notáveis incluem dias em que a produção atinge níveis destacados que serão discutidos posteriormente.

Aplicando uma outra forma de visualização conhecida como Boxplot, torna-se possível analisar a distribuição dos dados em relação a si mesmos, identificando valores máximos, mínimos, quartis, outliers e medianas.

Figura 25 Boxplot de geração de energia por dia da semana



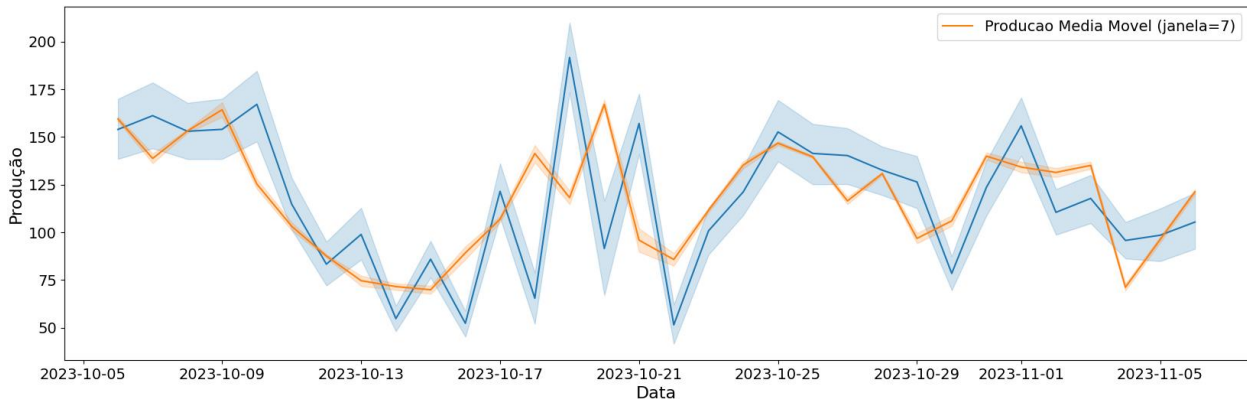
Fonte: Própria, 2023.

Observa-se que no gráfico acima, a produção mantém um equilíbrio constante ao longo do mês, independentemente do dia da semana. Este aspecto não foi evidenciado no gráfico de linhas.

Ao estender esse conceito ao gráfico de produção por hora, percebemos a formação de uma curva de produção semelhante àquela apresentada no gráfico de linhas. Contudo, alguns pontos notáveis incluem a presença de outliers nas horas 5, 6, 8, 10, 16 e 17, além de um quartil superior de produção na hora 11, em vez de ocorrer na hora 12.

A aplicação de outra técnica de análise de dados, chamada média móvel, proporciona uma visão geral do comportamento da produção ao longo do tempo.

Figura 26 Potência gerada em kW por dia com média de 7 dias



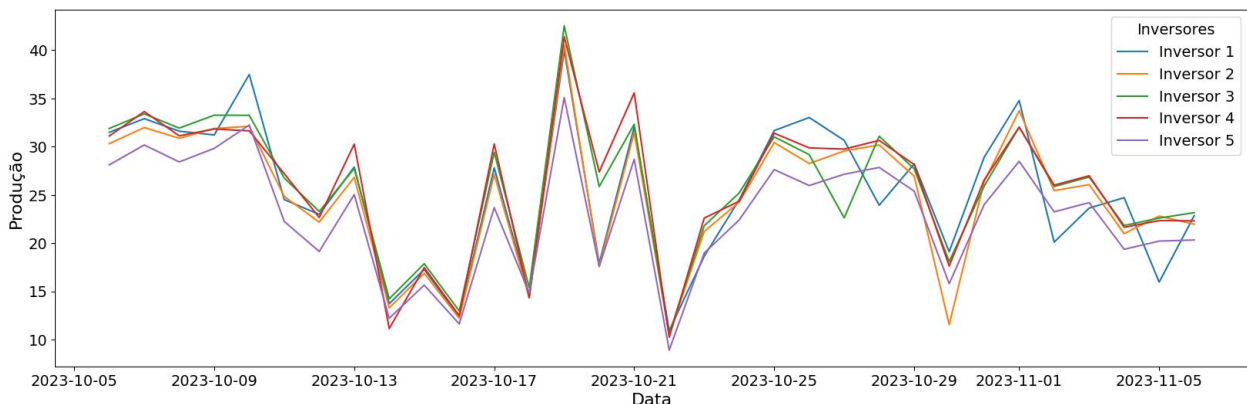
Fonte: Própria, 2023.

Ao utilizar esta técnica, é possível suavizar a curva original, tornando-a mais legível para a audiência que irá visualizar o gráfico. Ao focar exclusivamente na curva laranja, obtém-se uma representação geral de como a produção se comportou ao longo do mês de outubro, reduzindo a quantidade de detalhes que as pessoas precisariam notar em comparação com o gráfico original. Importante destacar que essa janela é variável e pode ser ajustada com base na variável em questão, seja ela dias, horas, meses etc.

Na análise mais específica do sistema, é viável comparar a performance de cada inversor. De maneira semelhante à avaliação da produção global do sistema, podemos examinar como os inversores estão gerando energia diariamente.

7.3 COMPARAÇÃO ENTRE INVERSORES

Figura 27 Potência gerada em kW por dia - Comparação entre inversores

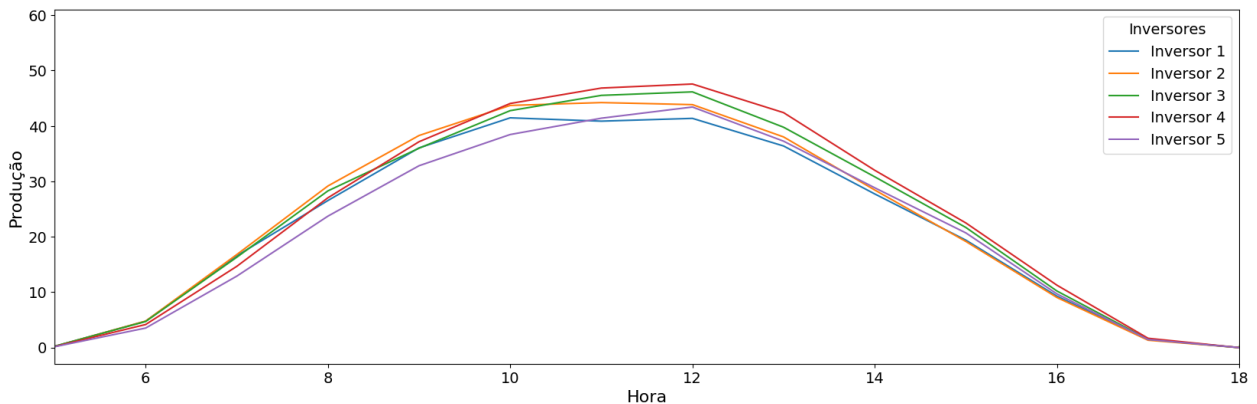


Fonte: Própria, 2023.

Observa-se uma tendência notável entre os inversores, cada um exibindo picos de geração em determinados dias do mês, mantendo um padrão consistente. No geral, a produção está equilibrada, com os inversores 1, 3, 4 e 2 variando como os principais geradores dentro do sistema. Entretanto, o inversor 5 demonstra a menor performance em comparação com os demais, uma questão que será discutida na conclusão.

Ao analisar a produção média por hora de cada inversor, destaca-se a baixa performance do inversor 5 em comparação com os demais. Além disso, nota-se uma excelente performance de geração do inversor 4 no período das 10 da manhã às 14 da tarde, estendendo-se até o final do dia.

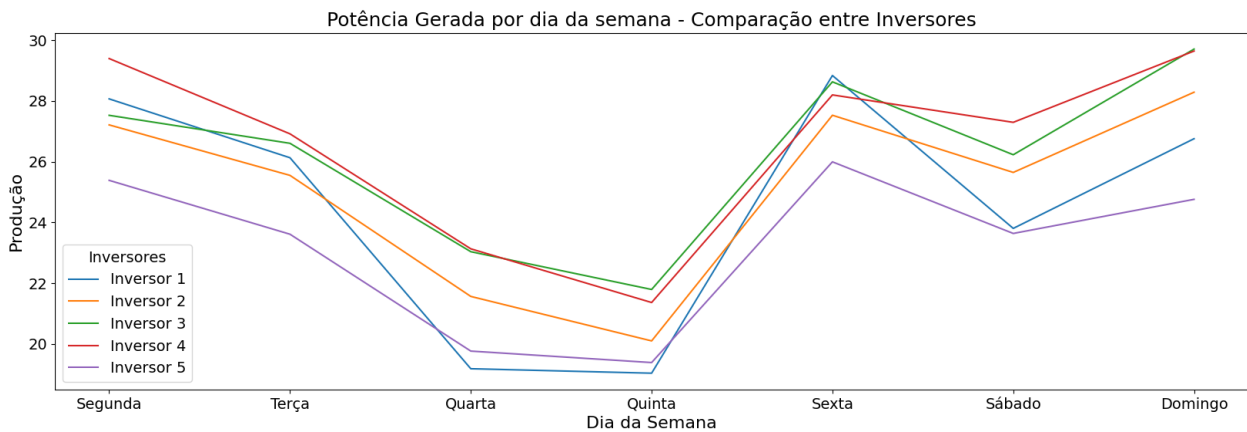
Figura 28 Potência Gerada em kW por hora - Comparação entre inversores



Fonte: Própria, 2023.

Refinando ainda mais, é possível obter o gráfico de comparação dos inversores em função do dia da semana, corroborando os resultados dos gráficos anteriores, onde o inversor 5 mantém-se consistentemente abaixo dos demais.

Figura 29 Potência gerada por dia da semana - Comparação entre Inversores

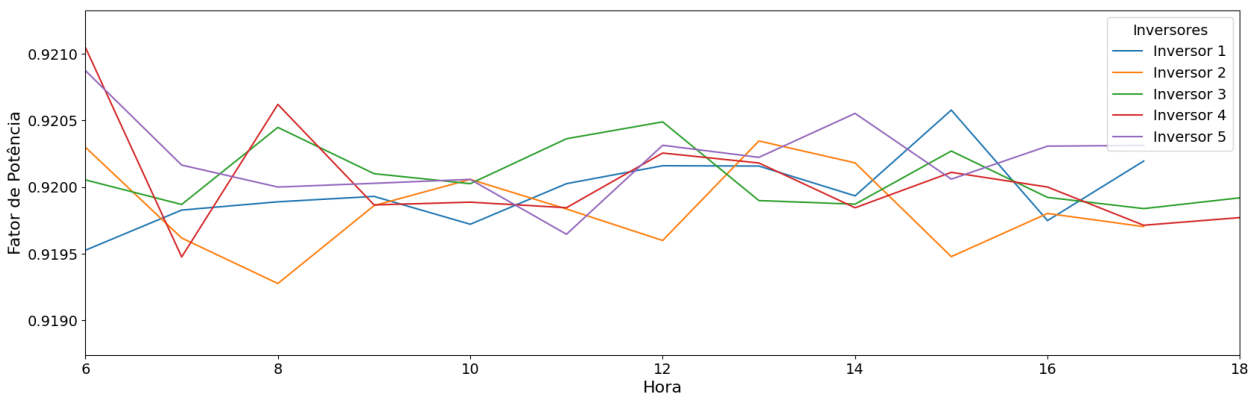


Fonte: Própria, 2023.

7.4 FATOR DE POTÊNCIA E CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

Ao analisar o fator de potência, destaca-se que todos os inversores apresentaram resultados satisfatórios, aproximadamente em 0.92. Embora o ideal seja sempre mais próximo de 1, para um sistema de geração com mais de 800 painéis e 5 inversores, esse resultado é considerado satisfatório.

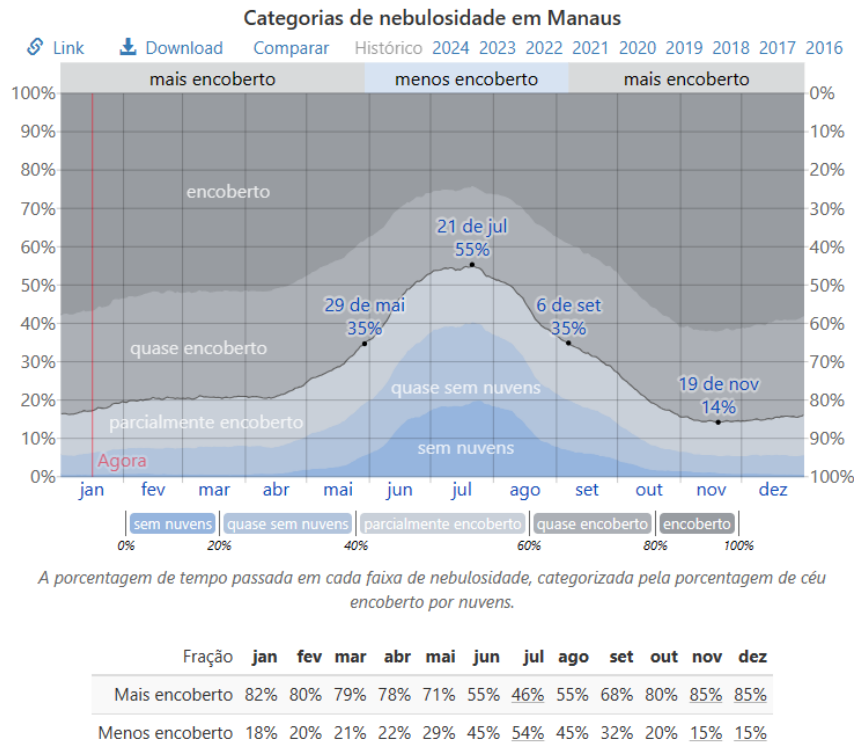
Figura 30 Fator de potência por hora - Comparação entre Inversores



Fonte: Própria, 2023.

Por fim, é importante pontuar como o clima estava presente no mês de outubro na cidade de Manaus durante o período em que a geração está sendo analisada.

Figura 31 Categoria de Nebulosidade em Manaus ao longo do ano



Fonte: Weather Sparks, 2023.

Como se pode observar, outubro é marcado pelo início do inverno amazônico, o que significa que a probabilidade de tempo nublado é muito alta ao longo dos dias, o que conseqüentemente impacta diretamente a produção de energia do sistema que estamos analisando. Essa informação é de grande importância para discutir possíveis melhorias e causas para os pontos de destaque que ocorreram, conforme apresentados nos resultados.

7.5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A análise do sistema de geração de energia fotovoltaica revelou um cenário satisfatório em termos de consistência e eficiência na produção de energia. Mesmo com o pleno funcionamento do sistema, alguns pontos de destaque foram observados durante a análise da geração, fornecendo insights valiosos para possíveis otimizações futuras.

Um dos maiores desafios enfrentados foi a complexidade na obtenção dos dados devido ao sistema predominantemente manual, demandando vários dias para consolidar todas as informações necessárias. Diante dessa dificuldade, uma recomendação valiosa para o futuro é a construção de uma ferramenta automatizada, como uma API, capaz de extrair os dados diretamente do site onde os inversores disponibilizam informações em tempo real.

Mesmo com o pleno funcionamento do sistema, alguns pontos de destaque foram identificados:

1. **Baixa Performance do Inversor 5 em Comparação com os Demais:** A análise evidenciou uma baixa performance do Inversor 5 em comparação com os demais. Possíveis causas podem incluir:
 - Defeito ou falha técnica no inversor.
 - Condições ambientais específicas, como sombreamento ou obstruções, afetando a eficiência do inversor.
 - Necessidade de ajustes nos parâmetros de operação do inversor.
2. **Falta de Constância na Geração Média ao Longo dos Dias da Semana:** A inconsistência na geração média ao longo dos dias da semana foi identificada como um ponto de destaque. Este padrão pode ser atribuído ao início do inverno amazônico, que ocorre entre outubro e novembro. Durante esse período, observa-se um aumento na cobertura de nuvens e maior incidência de chuvas, resultando em menos irradiância solar. A falta de constância pode ser explicada pela transição climática nesse período, influenciando a quantidade de luz solar disponível em cada dia da semana.
3. **Oportunidades de Melhoria no Fator de Potência:** Durante a análise, observou-se oportunidades para aprimorar o fator de potência. Recomenda-se a inclusão de um banco de capacitores para correção do fator de potência. Essa medida visa reduzir a defasagem entre tensão e corrente, melhorando a eficiência do sistema e minimizando perdas energéticas.

Estratégias de Otimização Propostas:

- **Para o Inversor 5:**
 - Realizar uma inspeção técnica detalhada para identificar possíveis falhas ou defeitos.
 - Verificar e otimizar os parâmetros de operação do inversor.
 - Considerar a instalação de sensores adicionais para monitorar as condições ambientais específicas que podem afetar o desempenho.
- **Para a Falta de Constância na Geração Média:**

- Implementar um sistema de previsão meteorológica local para ajustar as expectativas de geração durante o inverno amazônico.
 - Explorar estratégias de armazenamento de energia para compensar variações na geração solar durante períodos menos irradiados.
- **Para Otimização do Fator de Potência:**
 - Incluir um banco de capacitores para correção do fator de potência.
 - Monitorar continuamente o fator de potência e ajustar a capacidade do banco de capacitores conforme necessário.

8 CONCLUSÃO

Diante da análise realizada, que alcançou com êxito os objetivos propostos, destaca-se a abrangente revisão bibliográfica sobre eficiência energética, qualidade do fator de potência e efeitos harmônicos. A aplicação de técnicas avançadas de análise de dados utilizando Python revelou insights valiosos, contribuindo significativamente para o aprimoramento da eficiência do sistema de geração distribuída.

Os resultados obtidos indicaram uma consistência satisfatória na produção de energia, embora tenham surgido desafios significativos, notadamente a complexidade na obtenção manual de dados. Como próximos passos, recomenda-se o desenvolvimento de um Dashboard interativo, proporcionando uma visualização dinâmica e intuitiva dos dados, a exploração de ferramentas de *Business Analytics* para extrair insights estratégicos na gestão do sistema, e a construção de um modelo preditivo para antecipar comportamentos do sistema.

Pontos de destaque, como a baixa performance do Inversor 5, a falta de constância na geração média ao longo dos dias da semana e as oportunidades de melhoria no fator de potência, demandam abordagens específicas. Estratégias detalhadas foram propostas para cada cenário, incluindo inspeções técnicas minuciosas, otimizações nos parâmetros de operação, previsão meteorológica local e a inclusão de um banco de capacitores.

A implementação dessas estratégias, em conjunto com a construção de uma ferramenta automatizada, como uma API, busca maximizar a eficiência energética e otimizar o fator de potência do sistema. Destaca-se a proposta concreta de incluir um banco de capacitores, especialmente relevante para enfrentar desafios sazonais, como o inverno amazônico.

Apesar dos desafios enfrentados na obtenção manual de dados, os resultados indicam uma estabilidade considerável no sistema de geração distribuída. Os destaques observados fornecem orientações claras para otimizações futuras, contribuindo para uma gestão mais eficaz da geração de energia fotovoltaica em contextos específicos.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F. S. G. D. G. DESMISTIFICANDO O CONCEITO DE ETL. **Revista de Sistemas de Informação**, São Luís, p. 6, Dez 2008.

AISSI, M. E. et al. **Data Lake Versus Data Warehouse Architecture: A Comparative Study**. Springer. 2020.

ALEXANDER, C. K.; SADIKU, M. N. O. **Fundamentos de circuitos elétricos**. 5nd. ed. Porto Alegre: AMGH, v. I, 2013.

ANDRADE, S. M. **DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA IDENTIFICAÇÃO DE ANOMALIAS EM CURVAS DE ENERGIA EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. MANAUS, p. 88. 2022. (CDU 620.91).

ANEEL. **Resolução Normativa ANEEL Número 414 de 09/09/2010**. [S.l.], p. 202. 2010.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.000**. ANEEL. Brasil, p. 309. 2021.

ARRIGONE, G. M.; DO NASCIMENTO MUTTI, C.; PEREIRA JUNIOR, E. J. **Orientação de Painéis Fotovoltaicos e Possíveis Soluções de Otimização da Eficiência Introduzindo Refletores Planos Fixos**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 13. 2016.

BEZERRA, F. D. **Micro e Minigeração Distribuída**. Caderno Setorial ETENE / BNB. Fortaleza, p. 15. 2021.

BEZERRA, R. N. **ANÁLISE DE DADOS DE DESEMPENHO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS RESIDENCIAIS**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE. NATAL, p. 40. 2023. (CDU 681.5).

BOCUZZI, D. et al. **Geração Distribuída: Evolução Brasileira e Perspectivas**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 5. 2020.

BOYLESTAD, R. L. **Introdução à Análise de Circuitos**. 10. ed. [S.l.]: Pearson, v. 1, 2004.

BUCHWALD, J. **From Maxwell to Microphysics. Aspects of Electromagnet Theory in the Last Quarter of the Nineteenth Century**. 1. ed. Chicago: The University of Chicago Press, v. 1, 1985.

CARVALHO, K. D. **Imprensa e Informação no Brasil, Século XIX**. Universidade Federal da Bahia. [S.l.], p. 6. 1996. (<https://repositorio.ufba.br/handle/ri/1946>).

CIELEN, D.; MEYSMAN, A. D. B.; ALI, M. **Introducing Data Science**. 1nd. ed. New York: Manning, v. I, 2016.

DE LIMA, J. R.; A. S. NUNES, L. **GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA**. Universidade Federal Rural do Semiárido. Semiárido, p. 8. 2022.

DE LIVEIRA PACHECO, J. L.; KELLERMANN SABINO, I.; PINCELLI WESTIN, N. **O Efeito Fotoelétrico**. Universidade de Campinas. Campinas, p. 11. 2020.

FALCADE, A. et al. Técnicas de produção e tratamento de dados qualitativos em teses e dissertações sobre Tecnologias Educacionais Digitais utilizando a pesquisa-ação. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 100, Junho 2019. ISSN <https://doi.org/10.24109/2176-6681.rbep.100i256.4141>.

FEDERICO, M. **A Python-based Software Tool for Power System Analysis**. IEEE. [S.l.], p. 5. 2013. (10.1109/PESMG.2013.6672387).

FERNANDES, D. G. **ANÁLISE DA IMPLANTAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS INSTALADOS NA SEDE DA PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA**. UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. CURITIBA, p. 96. 2020.

FERREIRA, R. G. C. **DATA WAREHOUSE NA PRÁTICA: FUNDAMENTOS E IMPLANTAÇÃO**. UNIVRSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. PORTO ALEGRE, p. 71. 2020.

FILHO, L. B. D. M.; PORTO BARROS, R. H. **Estudo Comparativo da Geração de Energia Fotovoltaica em Diferentes Períodos Anuais**. Pontífica Universidade Católica de Goiás. Goiânia, p. 9. 2022.

FLORES, T. S. **Um breve Estudo Comparativo entre as Energias Eólica e Nuclear**. 1. ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, v. 37, 2015.

FREITAS, C. G. D. **CIÊNCIA DE DADOS: BIG DATA E GESTÃO DE DADOS**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. São Paulo, p. 10. 2020. (448-0959).

GIACOMAZZI DANTAS, S.; MEZADRE POMPERMAYER, F. **VIABILIDADE ECONÔMICA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL E POSSÍVEIS EFEITOS NO SETOR ELÉTRICO**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro, p. 42. 2018.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energias Renováveis: um futuro sustentável. **Revista USP**, São Paulo, Fevereiro 2007. 10.

GOMES, A. M. D. M. B. **MEDIÇÃO, CÁLCULO E MONITORAÇÃO DE POTÊNCIAS INSTANTÂNEAS**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, p. 40. 2002.

GONZALES, J. D. O.; MARTINS, F. R.; COSTA, R. S. **Estudo de Performance de Sistema Fotovoltaico Operando na Baixada Santista**. IX Congresso Brasileiro de Energia Solar. Florianópolis: [s.n.]. 2022. p. 10.

GOVERNO BRASILEIRO. **Projeto de Lei nº 5.829/2019**. [S.l.], p. 16. 2021.

GOVERNO BRASILEIRO. Ranking das Tarifas. **gov.br**, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/ranking-das-tarifas>>. Acesso em: 18 jan. 2024.

HAI, R.; QUIX, C.; JARKE, M. **Data lake concept and systems: a survey**. Delft University of Technology. Delft, p. 25. 2021.

HAMILTON, J. D.; DOUGLAS, J. **Time series analysis**. 1nd. ed. Chinchester: Princenton University, v. 1, 1994.

IDRIS, I. **Python Data Analysis**. 1nd. ed. Birmingham: Packt Publishing Ltd., v. I, 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Energy Statistics Data Browser. **IEA**, 2022. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource>>. Acesso em: 18 jan. 2024.

JUNIOR, A. R. D. M.; MATTOS MENDES, L. A. **TRANSMISSÃO DE DADOS POR PLC: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS TECNOLOGIAS CABEADAS E WI-FI**. **Universidade Presidente Antônio Carlos**, Antônio Carlos, p. 15, 2019.

JUPYER NOTEBOOK. Project Jupyter Documentation. **Jupyter**, 2024. Disponível em: <<https://docs.jupyter.org/en/latest/>>. Acesso em: 19 jan. 2024.

LÉDA, A. G. C. **A GERAÇÃO DE ENENRGIA POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL E AS SUAS PERSPECTIVAS DE FUNCIONAMENTOS**. Faculdade Pitágoras. Imperatriz, p. 29. 2021.

LIMA, M. T. D. S. L.; DE SOUZA, M. C. Discorrendo Sobre o Uso das Termelétricas no Brasil. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM**, Santa Maria, v. 37, p. 7, 2014. ISSN 10.5902/2179460X18493.

LIMA, V. L. S. D. **METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZANDO OPENDSS E PYTHON PARA OBTENÇÃO DE IMPACTOS DEVIDO A INSERÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. SANTA MARIA, p. 49. 2021.

MARINI, J. A.; ROSSI, L. A. **PROJETO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA A COMUNIDADES RURAIS**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 6. 2002.

MATPLOTLIB. Matplotlib 3.8.2 documentation. **matplotlib**, 2024. Disponível em: <<https://matplotlib.org/stable/index.html>>. Acesso em: 19 jan. 2024.

MELO, I. E. D. **AS CRISES DO PETRÓLEO E SEUS IMPACTOS SOBRE A INFLAÇÃO DO BRASIL**. Pontífica Univerisdade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 2008. 2008.

MEMÓRIA, J. M. P. **Breve História da Estatística**. 1. ed. Brasília: Embrapa, v. 1, 2004.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Capacidade instalada de geração distribuída solar cresce e atinge 18 GW. **gov.br**, 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/capacidade-instalada-de-geracao-solar-cresce-e-atinge-18-gw>>. Acesso em: 18 jan. 2024.

NOGUEIRA, W. B. **Avaliação de desempenho de uma usina solar fotovoltaica com base no grupamento k-menas**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 57. 2022. (CDD 621.3).

NUMPY. NumPy Documentation. **NumPy**, 2024. Disponível em: <<https://numpy.org/doc/stable/>>. Acesso em: 19 jan. 2024.

O que é Big Data? **SAP BUSINESS TECHNOLOGY PLATFORM**. Disponível em: <<https://www.sap.com/brazil/products/technology-platform/what-is-big-data.html>>. Acesso em: 21 ago. 2023.

OLIVEIRA, J. C. D. A EVOLUÇÃO DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA E AS FONTES RENOVÁVEIS NA FUTURA ECONOMIA DO CARBONO ZERO. **Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, p. 39, 2021.

PANDAS. pandas documentation. **pandas**, 2024. Disponível em: <<https://pandas.pydata.org/docs/>>. Acesso em: 19 jan. 2024.

REBOLLAR, P. B. M.; RODRIGUES, P. R. **Energias Renováveis: Energia Solar**. 1nd. ed. Tubarão: Editora Unisul, v. I, 2011.

REFINARIA DE DADOS. O que é a geração distribuída. **REFINARIA DE DADOS**. Disponível em: <<https://www.geracaodistribuida.com/geracao-distribuida/>>. Acesso em: 21 ago. 2023.

REVISTA EXAME. O segredo das empresas que sabem usar os dados a seu favor. **EXAME**, 2021. Disponível em: <<https://exame.com/inovacao/o-segredo-das-empresas-que-sabem-usar-os-dados-a-seu-favor/>>. Acesso em: 18 jan. 2024.

RIEDEL, S. A.; NILSSON, J. W. **Circuitos Elétricos**. 8. ed. [S.l.]: Pearson, v. 1, 2008.

ROMÃO, U. G. SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICO LIGADO DIRETAMENTE A REDE ELÉTRICA (ON-GRID, GRID-TIE). **Revista Acadêmica - Ensino de Ciências e Tecnologias**, Cubatão, Julho 2019. 20.

ROSA, C. S. **ESTUDOS SOBRE AS TÉCNICAS E MÉTODOS DE ANÁLISE DE DADOS NO CONTEXTO DE BIG DATA**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA. PATOS DE MINAS, p. 61. 2018.

SAHOO, K. et al. Exploratory Data Analysis using Python. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)**, v. 8, n. 12, p. 9, out. 2019. ISSN 2278-3075.

SEABORN. seaborn: statistical data visualization. **seaborn**, 2024. Disponível em: <<https://seaborn.pydata.org/>>. Acesso em: 19 jan. 2024.

SIEGEL, I. F. **LINGUAGEM PYTHON E SUAS APLICAÇÕES EM CIÊNCIA DE DADOS**. UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE. NITERÓI, p. 57. 2008.

SILVA, V. J.; PACHECO, M. B. M. O sistema tecnológico digital: inteligência artificial, computação em nuvem e Big Data. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, v. 19, dez. 2020. ISSN <https://doi.org/10.20396/rbi.v19i0.8658756>.

SOLARMAN. Dashboard de Geração Fotovoltaica. **Solarman**, 2023. Disponível em: <<https://globalpro.solarmanpv.com/station/main?t=1681839424853&id=3230198>>. Acesso em: 16 jan. 2024.

SOUZA, F. F. D. **Avaliação e Análise da Utilização de Bancos de Capacitores para Correção do Fator de Potência Aplicado a indústria eletrodoméstica**. Universidade do Estado do Amazonas. Manaus, p. 31. 2021.

SPARK, W. Clima e condições meteorológicas médias em manaus no ano todo. **Weather Spark**, 2023. Disponível em: <[TENORIO FARIAS, M.; ANGELUCI, A. P. Web scraping e ciência de dados na pesquisa aplicada em comunicação: um estudo sobre avaliações online. **Revista observatório**, Palmas, v. 7, n. 3, Setembro 2021. ISSN <https://doi.org/10.20873/uft.2447-4266.2021v7n3a1pt>.](https://pt.weatherspark.com/y/28814/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Manaus-Brasil-durante-o-ano#:~:text=Ao%20longo%20do%20ano%2C%20em,superior%20a%2036%20%C2%B0C.>>. Acesso em: 16 jan. 2024.</p></div><div data-bbox=)

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 164. 2023.

WEIGEL, C. et al. Predicting the influence of plate geometry on the eddy-current pendulum. **American Journal of Physics**, v. 1, p. 12, May 2016. ISSN <http://dx.doi.org/10.1119/1.4954016>.