



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

REJANE NOBRE BEZERRA

**SISTEMA PARA MONITORAMENTO DE DESEMPENHO DE
PAINÉIS FOTOVOLTAICOS RESIDENCIAIS**

**NATAL-RN
2023**

Rejane Nobre Bezerra

Sistema para monitoramento de desempenho de painéis fotovoltaicos residenciais

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido como parte dos requisitos necessários para conclusão do curso de Engenharia de Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Orientador: Prof. Dr. Luiz Affonso Henderson
Guedes de Oliveira

Natal-RN
2023

Seção de Informação e Referência
Catalogação da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Nobre Bezerra, Rejane .

Rejane Nobre Bezerra

Sistema para monitoramento de desempenho de painéis fotovoltaicos residenciais

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Monografia, submetido como parte dos requisitos necessários para conclusão do curso de Engenharia de Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Aprovado em 25 de abril de 2023:

Prof. Dr. Luiz Affonso Henderson Guedes de Oliveira
– Orientador UFRN

Prof. Dr. Fábio Meneghetti Ugulino De Araujo
– Examinador interno UFRN

Prof. Dr. Heitor Medeiros Florencio – Examinador externo
Instituto Metrópole Digital (IMD)

Natal-RN

2023

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que, mesmo passando por momentos difíceis, continuam lutando pelo que vale a pena.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e aos bons amigos espirituais por me manterem firme em todos os momentos, até nos mais sombrios.

Agradeço à minha família pelo amor, compreensão e apoio incondicional sem o qual nada disso seria possível. O amor que sinto por vocês não pode ser descrito em palavras.

Agradeço ao professor orientador Luiz Affonso pela orientação e compreensão que me ajudou a trilhar esse caminho.

Agradeço aos professores Fabio Meneghetti e Heitor Florencio por se disporem a participar dessa história.

Agradeço à Dra. Magali Fernandes e ao Dr. Rafael Lisboa pelos cuidados e conselhos que me ajudaram a retomar o equilíbrio.

Agradeço a Felipe, da E-solar, por se disponibilizar a tirar dúvidas quando esse trabalho ainda estava sendo construído.

Agradeço a todos os professores e colaboradores da UFRN que possibilitaram essa jornada.

A todos, meu MUITO OBRIGADA.

RESUMO

Sistema para monitoramento de desempenho de painéis fotovoltaicos residenciais

O presente trabalho apresenta uma proposta de desenvolvimento de sistema para monitoramento de desempenho de painéis fotovoltaicos residenciais. O sistema foi concebido utilizando-se de conceitos e técnicas de ciência de dados para se gerar visualizações sobre a produção de energia de painéis fotovoltaicos residenciais. O sistema foi desenvolvido em linguagem Python e executado em ambiente Web. Dentre suas funcionalidades, o sistema permite a geração de gráficos interativos de monitoramento de diversas variáveis associadas com os painéis fotovoltaicos, como correntes e energia gerada pelos painéis fotovoltaicos, cujos períodos de análise são configurados pelo usuário.

Palavras-chave: Ciência de Dados. Energia Elétrica Fotovoltaica. Produção Sustentável.

ABSTRACT

Performance monitoring system on residential photovoltaic panels

The present work presents a proposal for development of a performance monitoring system on residential photovoltaic panels. The system was conceived using data science concepts and techniques to generate visualizations on the energy production of residential photovoltaic panels. The system was developed in Python language and executed in a Web environment. Among its functionalities, the system allows the generation of interactive graphs for monitoring several variables associated with the photovoltaic panels, such as currents and the energy generated by the photovoltaic panels, whose analysis periods are configured by the user.

Keywords: Data Science. Photovoltaic Electricity. Sustainable Production.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SIGLA	SIGNIFICADO
Aneel	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESMAP	<i>Energy Sector Management Assistance Program</i>
FV	Fotovoltaico
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ONU	Organização das Nações Unidas
PV	Photovoltaic
SIN	Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. OBJETIVOS	12
1.2. DIVISÃO	12
2.1. ELETRICIDADE E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	13
2.2. ENERGIA FOTOVOLTAICA	15
2.4. VISUALIZAÇÃO DE DADOS	22
2.5. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO: PYTHON	22
2.5.1. Pandas	23
2.5.2. Plotly	23
2.5.3. Streamlit	23
3. PROPOSTA	24
4. RESULTADOS	26
5. CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é essencial para a manutenção da vida moderna e tem ocupado cada vez mais espaço no dia a dia das pessoas. Não é à toa que em 2015 a Organização das Nações Unidas (ONU) definiu “Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos”¹ como um dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030². Em casa, no trabalho, no campo ou nas cidades é possível ver inúmeros itens cotidianos dependentes dessa tecnologia. Ainda mais visível se torna nossa dependência quando ela falta: sinais de trânsito, redes de comunicação, hospitais e diversos sistemas de produção e preservação tanto de alimentos como de medicamentos são altamente dependentes da rede elétrica.

O sistema brasileiro de distribuição elétrica é quase inteiramente interligado³. Conhecido como Sistema Interligado Nacional (SIN), essa rede permite que a eletricidade produzida em uma localidade possa ser direcionada para outras partes do território nacional, no entanto, isso também faz com que problemas locais afetem facilmente outras regiões. Em março de 2018, segundo o então ministro de Minas e Energia, Fernando Coelho Filho, uma falha no sistema no Pará ocasionou um “apagão” em 14 estados das regiões Norte e Nordeste, além de falta de luz ou variação de energia em algumas cidades das outras três regiões⁴.

Para a solução de problemas deve-se levar em consideração não apenas falhas técnicas, mas também a interferência de agentes externos ao sistema. De acordo com Balanço Energético Nacional (BEN) de 2022 com dados de 2021, aproximadamente 57% da matriz elétrica brasileira é hídrica, o que a torna dependente dos regimes de chuva⁵. Seu principal

¹ Nações Unidas Brasil. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil: 7 energia limpa e acessível.** Brasil: ONU Brasil Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7> . Acesso em: 03 fev. 2023.

² United Nations: Department of Economic and Social Affairs. **Transforming our world:** the 2030 agenda for sustainable development. Nova Iorque: Department of Economic and Social Affairs United Nations. 2015 Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda> . Acesso em: 03 fev. 2023.

³ OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICA – ONS. **SOBRE O SIN:** o que é o sin: o sistema interligado nacional Brasília: ONS. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. Acesso em: 03 fev. 2023.

⁴ Apagão atinge Norte e Nordeste, com reflexos em todas regiões do país. **G1.** São Paulo, 21 de mar. de 2018. Jornal Nacional Disponível em: [Jornal Nacional - Apagão atinge Norte e Nordeste, com reflexos em todas regiões do país \(globo.com\)](https://g1.globo.com/politica/noticia/2018/03/21/apagao-atinge-norte-e-nordeste-com-reflexos-em-todas-regioes-do-pais.ghtml) Acesso em: 26 fev. 2023

⁵ EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Balanço Energético Nacional (BEN) 2022: Ano base 21 [Brasília]: Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf> . Acesso em: 03 fev. 2023

suplementar são as termelétricas, as quais são responsáveis por suprir a demanda quando as demais fontes são incapazes.

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a geração termelétrica é mais cara que a hídrica e essa variação reflete na Conta de Luz, paga pelos brasileiros, através das chamadas “Bandeiras Tarifárias” que indicam um aumento na cobrança proporcional ao uso de meios mais custosos de geração⁶. Em 2021, com o país enfrentando “a pior crise hídrica dos últimos 91 anos”⁷, o governo e a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) anunciaram em agosto a criação da "bandeira escassez hídrica", sinalizando o estado crítico das barragens e o alto custo da produção de energia elétrica. A bandeira esteve em vigor entre setembro e abril do ano subsequente⁸.

Em contraposição, mesmo sendo um país de dimensões continentais, o predomínio dos climas Equatorial e Tropical permite ao Brasil longos períodos de sol. Fonte rica e abundante, o sol tem contribuído de forma direta e indireta para a produção de energia utilizada pelo ser humano mesmo antes desta produção ser realizada de forma consciente. Há várias formas de utilização direta da energia solar, uma que vem se popularizando no Brasil e no mundo nos últimos anos, e à qual vamos nos ater no presente trabalho, é a produção de energia fotovoltaica. Com grande potencial e ainda pouco explorada, essa tecnologia limpa e sustentável tem ganhado espaço rapidamente na produção brasileira, principalmente na forma de mini e microgeração. Segundo dados do BEN2022, dos 9.810 GWh produzidos por mini e microgeradores distribuídos no ano de 2020, 9.019 GWh eram de fontes fotovoltaicas⁹.

Ocupando relativamente pouco espaço, se comparada com outros meios de produção, a tecnologia fotovoltaica tem se mostrado viável por sua flexibilidade e eficiência. Telhados, janelas e praticamente qualquer tipo de área com abundante exposição de luz solar se torna um potencial local de produção. Apesar do custo ainda elevado, políticas públicas vêm sendo criadas para incentivar a adesão de novos potenciais usuários/produtores.

Com locais e produções variadas, uma coisa que podemos destacar é a enorme potencialidade para produção de dados. Desse modo, acredita-se que o desenvolvimento de um Sistema para Monitoramento de Desempenho de Painéis Fotovoltaicos Residenciais

⁶ Empresa de Pesquisa Energética. Fontes de Energia. [Brasília]: Ministério de Minas e Energia. Disponível em:<https://www.epe.gov.br/sites-pt/abcdenergia/Paginas/FONTES-DE-ENERGIA.aspx#TOPO> Acesso em: 03 fev. 2023.

⁷ SANT'ANA, Jéssica. **Governo anuncia bandeira tarifária 'escassez hídrica'; custo será de R\$ 14,20 a cada 100 kWh.** G1: Brasília. 31 ago. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/crise-da-agua/noticia/2021/08/31/governo-anuncia-criacao-da-bandeira-tarifaria-escassez-hidrica-acima-da-vermelha-patamar-2.ghtml> Acesso em: 03 fev. 2023.

⁸ Ibidem

⁹ . EPE [Empresa de Pesquisa Energética] 2022. op. cit p.15-16

auxiliaria na análise e monitoramento dos dados de produção energética fotovoltaica, contribuindo para o esclarecimento das reais vantagens e desvantagens do ampliamento de investimentos e trabalhos nessa área de produção energética.

1.1. OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é estruturar um Sistema para Monitoramento de Desempenho de Painéis Fotovoltaicos Residenciais juntamente com uma revisão dos materiais publicados existente sobre o tema objetivando melhor modelar o sistema, além de apresentar a produção de energia elétrica Fotovoltaica como uma opção viável para o território brasileiro.

Os objetivos específicos deste trabalhos são:

- Encontrar materiais publicados nos últimos 10 anos sobre o assunto, nos idiomas português e inglês;
- Encontrar e analisar dados e informações pertinentes que possam ajudar a esclarecer dúvidas sobre o tema;
- Estabelecer parâmetros que ajudem a indicar vantagens e desvantagens do ampliamento ao apoio à tecnologia fotovoltaica;
- Estruturar um Sistema para Monitoramento de Desempenho de Painéis Fotovoltaicos.

1.2. DIVISÃO

O restante deste trabalho está dividido em mais 4 capítulos, os quais possuem os seguintes conteúdos:

- Capítulo 2: Fundamentação Teórica: visa apresentar os conceitos que alicerçaram os temas aqui estudados e apresentados, bem como as ferramentas utilizadas;
- Capítulo 3: Proposta: onde apresentaremos o sistema pretendido, suas funcionalidades e estrutura;
- Capítulo 4: Resultados: expõe e explica o que foi posto em prática durante o projeto como também uma pequena discussão sobre o tema;
- Capítulo 5: Conclusões: apresentaremos as conclusões principais, como também as vantagens da solução e trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados de forma resumida os principais aspectos relacionados à energia e geração fotovoltaica e os conceitos de ciência de dados, de modo a dar embasamento para melhor compreensão do trabalho.

2.1. ELETRICIDADE E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A importância da eletricidade para a vida moderna é inegável. Em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) reconheceu sua relevância ao adicionar “Energia limpa e Acessível” como um dos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável no documento “Transformando o Nossa Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”. O documento reúne uma série de objetivos que abordam os principais desafios de desenvolvimento enfrentados por pessoas no Brasil e no mundo, Figura 2.1, e são “um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade”.¹⁰

Figura 2.1: Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil



Fonte: Nações Unidas Brasil¹¹

¹⁰ Nações Unidas Brasil. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.** Brasil: ONU Brasil Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 03 fev. 2023.

¹¹ Ibidem

Segundo Francisco et al¹², a preocupação com a questão da sustentabilidade tem aumentado em todo o Brasil. O grande desafio é atender a demanda energética de forma não somente eficiente e consistente, como também inteligente e consciente.

De acordo com Balanço Energético Nacional (BEN) de 2022 com dados de 2021, aproximadamente 57% da matriz elétrica brasileira é hídrica, o que a torna dependente dos regimes de chuva¹³. Devido ao vasto território brasileiro e à predominância de geração hidrelétrica, há a necessidade de linhas de transmissão muito extensas para alcançar os grandes centros de consumo, ocasionando muita perda de energia (Francisco et al., 2019 apud Dias et al., 2017).

Provavelmente visando contornar esses e outros problemas, pode-se perceber que a micro e minigeração distribuída tem recebido incentivos por ações regulatórias¹⁴. Robson da Silva Dias define Geração Distribuída (GD) como “uma fonte de energia elétrica conectada diretamente à rede de distribuição ou situada no próprio consumidor”¹⁵. A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) explica em seu site que para se qualificar como GD a energia deve ser gerada através de uma fonte renovável e a central geradora deve estar conectada à rede de distribuição local por meio de instalações de unidades consumidoras¹⁶. A agência difere também micro e a minigeração distribuída, sendo a primeira a central geradora com potência instalada de até 75 quilowatts (KW), e a segunda a central geradora com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW.

Dias¹⁷ aponta alguns dos principais benefícios da GD, que são:

- Diversificação da matriz energética (o que reduz a dependência da geração hídrica);
- Redução de perdas por transmissão de energia;
- Matriz energética mais sustentável;
- Melhor aproveitamento dos recursos;
- Maior eficiência energética nos empreendimentos.

¹² FRANCISCO, Ana Carolina Camargo; VIEIRA, Henrique Ewbank de Miranda; ROMANO, Regiane Relva; ROVEDA, Sandra Regina Monteiro Masalskiene. Influência de parâmetros meteorológicos na geração de energia em painéis fotovoltaicos: um caso de estudo do smart campus facens, sp, brasil. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [S.L.], v. 11, n. 2019, p. 1-15, 09 set. 2019. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20190027>. Acesso em: 13 nov. 2022.

¹³ EPE [Empresa de Pesquisa Energética] 2022. op. cit p.13

¹⁴ EPE [Empresa de Pesquisa Energética] 2022. op. cit p.15-16

¹⁵ DIAS, Robson da Silva. Geração Fotovoltaica Distribuída - Importância dos Agentes Reguladores na Expansão da Geração Distribuída no Nordeste. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 40, n. 1, p. 1-15, 19 jun. 2019. Fundação Edson Queiroz. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5020/23180730.2019.8712>. Acesso em: 14 nov. 2022 p.

¹⁶ Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída**. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 7 fev. 2023.

¹⁷ DIAS 2022 op. cit.p.

2.2. ENERGIA FOTOVOLTAICA

O sol é a maior fonte de energia que o ser humano tem disponível e é fácil esquecer que, seja em forma de luz ou calor, o astro-rei tem participação crucial na produção energética. Ele está presente na evaporação a qual alimenta o ciclo da água e que permite a geração hidrelétrica, e no aquecimento das correntes de ar atmosférico as quais movem os moinhos eólicos. O homem foi aprendendo e moldando seu entorno para melhor utilizar os recursos naturais, como, por exemplo, a arquitetura bioclimática que modela suas estruturas para o melhor aproveitamento da iluminação e manutenção da temperatura nas suas construções e no desenvolvimento de tecnologias capazes de gerar energia elétrica, como também aplicá-la.

Segundo o site da BlueSol, uma das empresas pioneiras na instalação de energia fotovoltaica no Brasil, “a energia solar fotovoltaica é a energia elétrica gerada através da conversão direta da luz do sol”¹⁸. Essa tecnologia ganhou esse nome por ter como base o efeito fotovoltaico (FV, ou do inglês: Photovoltaic PV), descoberto pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel por volta de 1839. Ao expor, accidentalmente, eletrodos de platina e prata à luz na oficina de seu pai, Becquerel pôde observar a geração de uma tensão elétrica. Dessa forma, pode-se dizer que, de forma simplificada, o efeito fotovoltaico consiste na geração de uma tensão elétrica em um material semicondutor durante a exposição à luz visível¹⁹.

Por terem como base o movimento de elétrons ao serem expostos a radiação da luz, o Efeito Fotovoltaico pode ser confundido com o Efeito Fotoelétrico, mas eles são diferentes. Esse último ocorre geralmente em metais (condutores) e é considerado um fenômeno externo, uma vez que, ao ser atingido por um fóton com energia suficiente, um elétron da superfície é “ejetado” do material, sem nenhum destino definido. Já o primeiro ocorre comumente em semi-metais (semicondutores) e é considerado um fenômeno interno, isso porque ao ser atingido por um fóton a ligação química do material é quebrada liberando um elétron em sua superfície; assumindo que o elétron recebe energia suficiente para ultrapassar a “banda proibida” (ou “gap”), naturalmente ele se transfere da “banda de valência” para a “banda de

¹⁸ BlueSol energia solar. **Efeito Fotoelétrico e Efeito Fotovoltaico: Entenda Qual É Geração de Energia Elétrica** Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/efeito-fotoeletrico-fotovoltaico/>

¹⁹ Ibidem

condução”, gerando uma diferença de potencial entre as bandas; caso contrário ele simplesmente se reorganiza.²⁰

Ainda de acordo com o site da BlueSol, o Silício (Si) é o elemento utilizado na fabricação da maioria das células solares comercializadas no mundo por sua natureza e abundância. Como um semicondutor em seu estado puro (ou intrínseco) tende a se tornar eletricamente neutro com facilidade, o silício passa por um processo denominado “dopagem”, que recombina a formação natural do material com outros elementos²¹. Esse processo de dopagem visa criar duas camadas opostas no semicondutor que não se neutralizam com facilidade, uma positiva (Tipo P, pobre em elétrons) e uma negativa (Tipo N, rica em elétrons). As duas camadas se estabelecerão juntas como uma junção P-N e essa estrutura será envolta por uma fina grade composta por três partes principais: contato frontal, contato base e fiação, como é ilustrado na Figura 2.2. A grade deve ser projetada de forma que o contato frontal permita a máxima exposição à luminosidade da camada tipo N enquanto permite que os elétrons se movimentam de forma adequada, garantindo a realimentação do sistema.²²

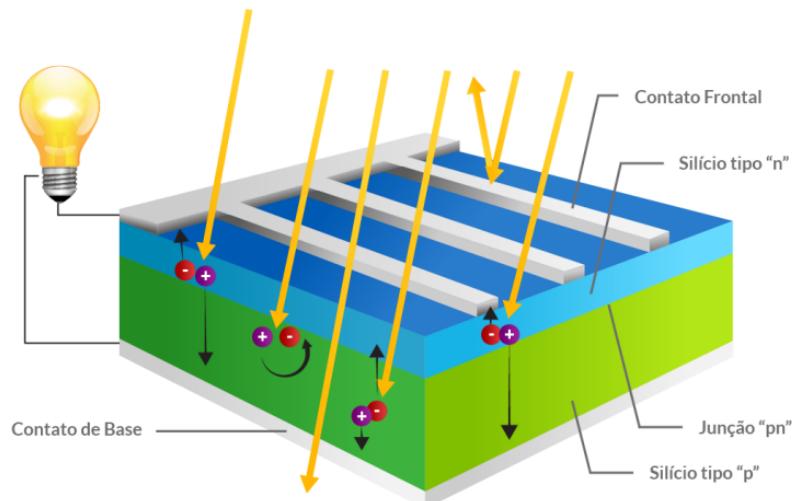
A palavra “realimentação” é aqui empregada pela natureza do sistema. A luz solar deve incidir na camada tipo N de forma mais abundante possível, liberando os elétrons de suas ligações e “empurmando-os” para a camada tipo P. Como todo sistema na natureza busca o equilíbrio, os elétrons tentarão encontrar uma forma de “retornar” à camada negativa e, não podendo atravessar a camada proibida no sentido contrário, utilizarão a estrutura metálica que compõe a base para atingir seu objetivo, gerando uma corrente elétrica.

²⁰Ibidem

²¹ BlueSol energia solar. **O Guia mais Absurdamente Completo da Energia Solar Fotovoltaica: Entenda Tudo!** Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-fotovoltaica-guia-supremo/>. Acesso em: 13 nov. 2022.

²² Ibidem

Figura 2.2: A célula fotovoltaica como representação gráfica do efeito fotovoltaico.



Fonte: BlueSol energia solar²³

Francisco et al (2019) e Dias (2019) apontam a produção de energia fotovoltaica como uma alternativa viável para a produção de energia no Brasil, seja em larga escala ou como Geração Distribuída. A produção fotovoltaica se destaca por ser uma fonte renovável abundante e pelo fato da instalação do sistema ser rápida, com alta confiabilidade e durabilidade. Também sendo uma excelente solução para áreas remotas, pela possibilidade de ser local e independente da rede com os ajustes adequados.

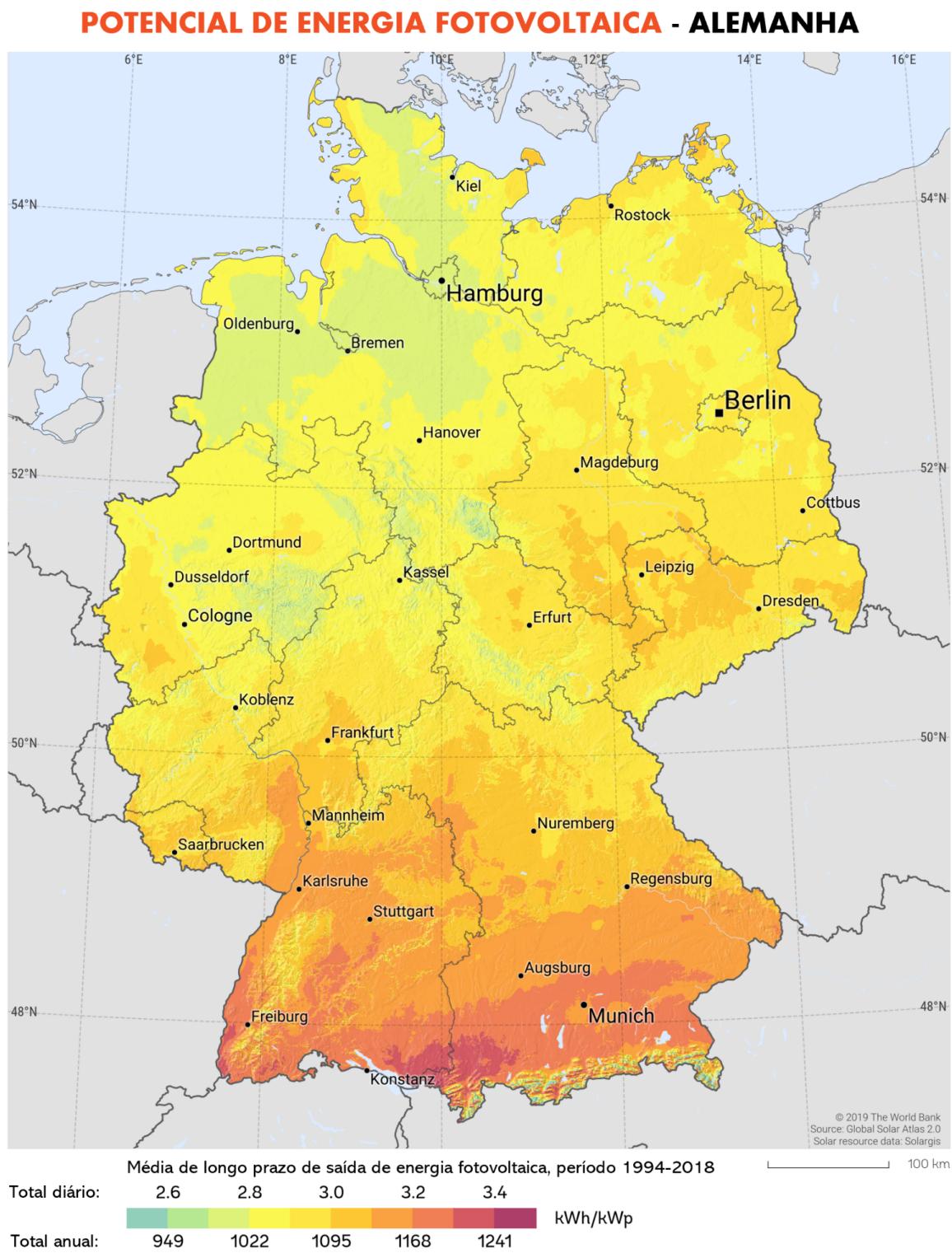
As desvantagens citadas por Francisco et al. (2019 apud Tsoutsos et al., 2005) são:

- “Alto custo”: principalmente devido ao custo dos painéis fotovoltaicos, inversores de energia e, em alguns casos, o uso de baterias (vale salientar que os custos estão sendo barateados com a modernização e popularização da tecnologia);
- “Intermitência”: como a produção de energia depende do nível de exposição à luz solar, esta acompanha o ciclo solar local (gera durante o dia mas não durante a noite). A produção sofre também influência das estações e do clima, gerando mais quando está ensolarado e menos quando está nublado, por exemplo;
- “Baixa eficiência em algumas regiões do planeta por causa da baixa irradiação solar”: mais uma vez pela natureza da produção, a energia fotovoltaica acaba sendo influenciada pelo clima e posição geográfica local, gerando mais onde há mais radiação solar e menos quando a radiação é menor;
- “Possíveis impactos ambientais relacionados a aves”.

²³ Ibidem

Francisco et al (2019) ressalta que, no caso particular do Brasil, as vantagens superam a desvantagens. O Brasil possui um potencial para produção de energia solar maior do que a maioria dos países europeus, maior inclusive do que a Alemanha que é o país que mais investe em produção fotovoltaica atualmente (Francisco et al, 2019 apud Pereira et al., 2017; Ferreira et al., 2018). Nas Figuras 2.3 e 2.4 pode ser observada uma comparação entre o potencial energético fotovoltaico entre a Alemanha e o Brasil de acordo com o *Global Solar Atlas*, uma parceria entre o Banco Mundial, Programa de Assistência ao Gerenciamento do Setor de Energia (em inglês: *Energy Sector Management Assistance Program - ESMAP*) e a SOLARGIS, empresa especializada no monitoramento e apoio à produção de energia solar no mundo. Vale salientar que há variações de escalas entre os dois mapas.

Figura 2.3: Mapa de Recursos Solares - Potencial de energia fotovoltaica - Alemanha



Fonte: Potencial global de energia fotovoltaica por país - Alemanha (*Global Solar Atlas*, adaptado)²⁴

²⁴ World Bank Group. ESMAP. SOLARGIS. **GLOBAL SOLAR ATLAS: Download maps for your country or region - Germany**. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/download/germany>. Acesso em: 20 mar. 2023.

Figura 2.4: Mapa de Recursos Solares - Potencial de energia fotovoltaica - Brasil



Fonte: Potencial global de energia fotovoltaica por país - Brasil (*Global Solar Atlas*, adaptado)²⁵

Outro ponto levantado por Francisco et al (2019) e Dias (2019) em prol da implementação da energia fotovoltaica no Brasil é o fato da produção de energia solar ser complementar ao regime hídrico, que é a fonte de energia predominante atualmente no país. Com isso eles tentam salientar que nos meses mais quentes e secos as plantas solares conectadas à rede podem economizar água dos reservatórios; assim como nos meses chuvosos, devido à maior cobertura de nuvens, os níveis de irradiação caem, enquanto os reservatórios estão mais cheios.

²⁵ World Bank Group. ESMAP. SOLARGIS. **GLOBAL SOLAR ATLAS: Download maps for your country or region - Brazil**. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/download/brazil>. Acesso em: 20 mar. 2023.

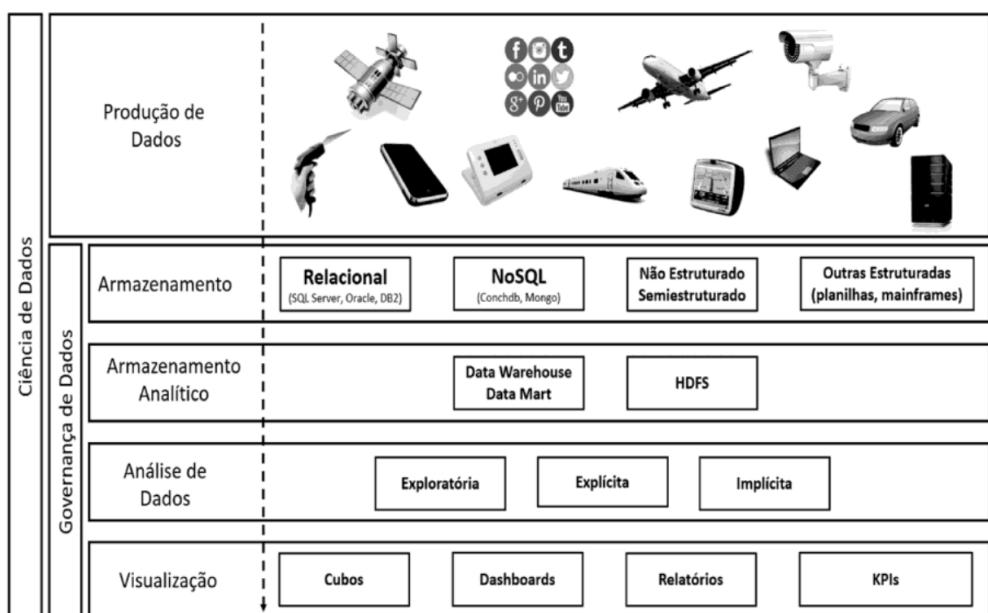
2.3. CIÊNCIA DE DADOS

Fernando Amaral (2016) define a Ciência de Dados como “os processos, modelos e tecnologias que estudam os dados durante todo o seu ciclo de vida: da produção ao descarte”²⁶. Essa nova Ciência surgiu da necessidade de se lidar com a Big Data, a grande quantidade de dados sendo produzidos e armazenados.

Não há registro na história humana de um desenvolvimento tão acelerado da tecnologia como o que se tem visto nas últimas décadas. No trabalho, nas horas de lazer, no mercado ou na consulta médica, a tecnologia está em quase todos os lugares, na vida cotidiana.

Dados são produzidos de forma cada vez mais volumosa, veloz e variada. Big Data não é uma tecnologia em si, é um fenômeno sociocultural gerado pelo desenvolvimento e disseminação de tecnologias capazes de produzir e armazenar dados de forma cada vez mais simples, barata e diversificada e a Ciência de Dados é a área que se dedica ao estudo e aperfeiçoamento dos métodos de Produção, Armazenamento, Transformação, Análise e Descarte destes dados. Podemos ver na Figura 2.5 um panorama dado por Amaral²⁷ em seu livro “Introdução à ciência de dados”.

Figura 2.5 - Panorama da Ciência de Dados



Fonte: Amaral (2016)

²⁶ AMARAL, Fernando. Introdução à ciência de dados: mineração de dados e big. Rio de Janeiro: Alta Books, 2016.p.06

²⁷ Ibidem p.07

2.4. VISUALIZAÇÃO DE DADOS

Mais uma vez, retornamos para a questão dos dados. Amaral diz que “Visualizar dados permite resumir informações, comunicar de forma mais efetiva, compreender, explorar, interpretar e analisar”²⁸. De forma simples, é o uso estratégico de diversas ferramentas como gráficos, tabelas e marcadores para que o usuário seja capaz de extrair informações dos dados disponíveis. Sua aplicação pode se dar em vários contextos, do estudo à tomada de decisão; a apresentação deve ser clara e permitir uma rápida compreensão do que se deseja informar. As aplicações de uso pessoal são diversas, também se aplica caso haja a necessidade de apresentá-los a terceiros. Exemplos de visualização de dados populares são relatórios e *dashboards*. Sempre se deve levar em consideração que a visualização deve ser projetada para melhor atingir o objetivo a que se propõe.

2.5. LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO: PYTHON

Para estruturar o Sistema para Monitoramento de Desempenho de Painéis Fotovoltaicos Residenciais foi escolhida a linguagem de programação Python por sua facilidade e versatilidade.

De acordo como o site, Python²⁹ é uma linguagem de programação interpretada, orientada a objetos e de alto nível (High Level Language) com semântica dinâmica. Considerada uma linguagem de sintaxe relativamente simples e fácil de aprender, vem se popularizando em várias plataformas, como web e mobile. Uma de suas características marcantes é o suporte de módulos e pacotes (ou bibliotecas) que encorajam a modulação de programas e a reutilização de códigos³⁰. Com a popularização entre os usuários, a disseminação de conteúdos e bibliotecas vem crescendo e se aperfeiçoando. Com o passar do tempo, o desenvolvimento em Python está se tornando cada vez mais acessível e simples. A seguir, serão apresentadas algumas das principais bibliotecas utilizadas ao longo do desenvolvimento do presente projeto.

²⁸ Ibidem p.227

²⁹ What is Python? Executive Summary. Python, 2001 Disponível em: <https://www.python.org/doc/essays/blurb/> Acesso em: 03 fev. 2023.

³⁰ Ibidem.

2.5.1. Pandas

De acordo com o seu site oficial, “Pandas é uma ferramenta *open source* (de código aberto) para análise e manipulação de dados rápida, poderosa, flexível e fácil de usar construída a base da linguagem de programação Python”³¹.

Basicamente, Pandas é uma biblioteca que tem como finalidade tornar o manejo de dados simples e intuitivo. Desenhada para trabalhar com estruturas “relacionais” ou “rotuladas”, suas duas principais estruturas de dados são as *Series* (unidimensional) e os *DataFrame* (bidimensional) e pode ser aplicada nos mais diversos setores como finanças, estatísticas, ciências sociais e várias áreas da engenharia³².

2.5.2. Plotly

Plotly é uma biblioteca gráfica Python *open source* (de código aberto) desenvolvida para a criação de gráficos interativos e de qualidade de publicação. Poderosa e fácil de usar, dispõe de diversas opções de gráficos e personalizações que possibilitam a apresentação de dados de diversas formas.³³

2.5.3. Streamlit

Streamlit é uma biblioteca Python *open source* (de código aberto) desenvolvida para facilitar a criação e compartilhamento de aplicativos web voltados para aprendizado de máquina e ciência de dados.³⁴

³¹ Panda. Panda, 2023. Disponível em: <https://pandas.pydata.org/> Acesso em: 03 fev. 2023.

³² Package overview. Pandas, 2023. Disponível em: https://pandas.pydata.org/docs/getting_started/overview.html Acesso em: 03 fev. 2023

³³ Plotly Open Source Graphing Library for Python. Plotly: graphing libraries, 2023. Disponível em: <https://plotly.com/python/>. Acesso em: 03 fev. 2023

³⁴ STREAMLIT, Streamlit documentation, 2023 Disponível em: <https://docs.streamlit.io/> Acesso em: 03 fev. 2023

3. PROPOSTA

A produção de energia elétrica é essencial para a manutenção da vida moderna. Levando esse fato em consideração, acredita-se que a análise e definição das melhores aplicações para as tecnologias já existentes é tão importante quanto a busca de novas tecnologias e métodos de produção. Neste sentido, no Brasil vem se expandindo fortemente a adoção de geração distribuída fotovoltaica residencial. Porém, os proprietários desses painéis nem sempre possuem à sua disposição ferramentas amigáveis e simples que permitam o acompanhamento da energia produzida e da sua eficiência energética.

De acordo com Basnet et al.³⁵, o objetivo de qualquer produtor de energia elétrica é maximizar a produção, minimizar as perdas e o custo de manutenção, além da operação segura da instalação. Os sistemas fotovoltaicos não são diferentes e para se manter uma boa operação é essencial conhecer seu sistema. Dessa forma, o desenvolvimento de uma ferramenta computacional de monitoramento de desempenho de painéis fotovoltaicos residenciais contribui com a ampliação dos conhecimentos sobre funcionamento e produção de energia dos mesmos, sanando dúvidas e preenchendo lacunas ao combinar pesquisas pré-existentes com novas análises.

Diante da relevância do monitoramento de desempenho de painéis fotovoltaicos residenciais, o presente projeto apresenta uma proposta inicial de Sistema para Monitoramento de Desempenho de Painéis Fotovoltaicos Residenciais, que consiste em uma aplicação Web com gráficos interativos sobre a produção de energia. Por ser um sistema Web, o usuário pode acessá-lo através de diversas plataformas, computadores e celulares. O programa está estruturado na linguagem de programação Python, sua estrutura versátil e o suporte de módulos e pacotes não apenas simplifica a modelagem, como também oferece o apoio necessário para uma variação ampla de aplicações tanto na parte estrutural quanto estética.

O aplicativo permitirá a análise visual de informações geradas pela planta fotovoltaica ao longo do tempo. O usuário será capaz de monitorar o desempenho da sua planta fotovoltaica: correntes, tensões, potências e energia gerada de maneira dinâmica e simples.

³⁵ BASNET, Barun, CHUN, Hyunjung, BANG, Junho. An Intelligent Fault Detection Model for Fault Detection in Photovoltaic Systems. **Journal Of Sensors**, [S.L.], v. 2020, p. 1-11, 9 jun. 2020. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2020/6960328>. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2020/6960328>. Acesso em: 15 nov. 2022.p.01

Visa-se apresentar gráficos interativos, com as especificações escolhidas pelo usuário, de forma que ele possa examinar seus dados do modo que lhe pareça mais conveniente. Recursos como zoom e movimento serão implementados.

Informações complementares como o valor máximo e mínimo para as variáveis no período analisado, apresentando o momento do ocorrido com dia e horário também serão apresentados.

As variáveis a serem analisadas serão: Horário, Correntes MPPT (em Amperes, A) e Voltagens MPPT (em Volts, V) de cada grupo de placas conectadas aos conversores pertencentes à planta, Potência CC total (em Quilowatt, kW), Corrente da fase A (em Amperes, A), Tensão da Fase A (em Volts, V), Potência ativa total (em Quilowatt, kW), Rendimento diário (em Quilowatt-hora, kWh) e Geração de energia total (em Quilowatt-hora, kWh).

O usuário poderá:

- Determinar período a ser analisado através de dois calendários, não podendo exercer as datas inicial e final disponíveis no banco de dados;
- Frequência amostral: como tratamos com uma grande quantidade de informações temporais, o usuário poderá definir com que frequência os dados deverão ser representados podendo escolher entre: horas, dias, semanas, meses ou anos.

O usuário poderá escolher qual “Sistema” deseja analisar. Dependendo da estrutura da planta fotovoltaica monitorada, a quantidade de variáveis pode variar, porém nos basearmos na seguinte divisão:

- Potência: onde monitoramos as Potência CC total (em Quilowatt, kW) e Potência ativa total (em Quilowatt, kW) do sistema;
- Sistema de Corrente Contínua (CC): onde se monitoram as correntes e voltagens MPPT (*maximum power point tracking* ou rastreamento do ponto de máxima potência, em português) e Potência CC total (em Quilowatt, kW);
- Sistema de Corrente Alternada (CA): onde haverá o monitoramento da Corrente da fase A (em Amperes, A), Tensão da Fase A (em Volts, V) e Potência ativa total (em Quilowatt, kW) da planta;
- Rendimento: onde se monitora o Rendimento diário (em Quilowatt-hora, kWh) da planta;

- Geração: onde se monitora a Geração de energia total (em Quilowatt-hora, kWh) da planta.

4. RESULTADOS

Devido às limitadas fontes confiáveis e acessíveis, esse estudo restringiu-se às informações apresentadas a um conjunto pré-definido de dados de uma planta fotovoltaica de microgeração real à qual tivemos acesso. Os dados foram produzidos por um Inversor Residencial Monofásico da marca SUNGROW, modelo SG6K-D, que realiza registros de 15 em 15 minutos através da rede Wi-Fi local.

O Inversor possui duas entradas de Corrente Contínua (CC), cada uma ligada a um conjunto de placas fotovoltaicas independentes, e uma saída de Corrente Alternada (CA) ligada à rede elétrica local.

O banco de dados utilizado possui 126.481 amostras, os dados aqui apresentados correspondem ao período de 01 maio de 2019 até 31 de dezembro de 2022 e foram disponibilizados junto ao código fonte do programa no repositório do Github.

As variáveis disponibilizadas foram:

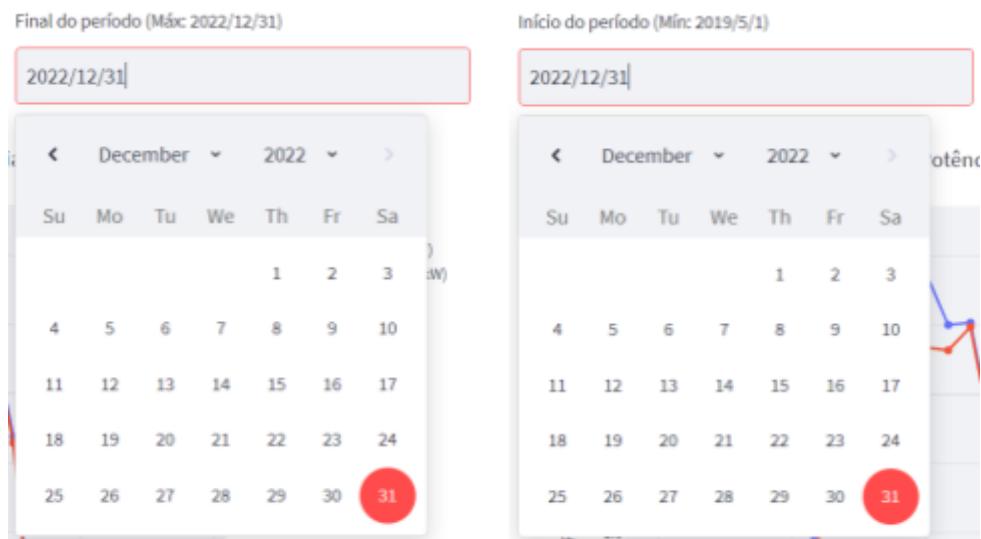
- Horário: Data e horário do registro.
- MPPT1(A), MPPT2(A), MPPT1(V), MPPT2(V): valores de entrada do inversor. São os valores de corrente e voltagem do Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (MPPT, do inglês *Maximum Power Point Tracking*) utilizados na conversão de energia elétrica de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). Os números 1 e 2 são referentes à identificação do conjunto de placas que está gerando essa informação.
- Corrente da fase A (A) e Tensão da Fase A (V): os valores de corrente e voltagem gerados pelo sistema como um todo, como saída.
- Potência CC total (kW): potência gerada pelas placas, em corrente contínua;
- Potência ativa total (kW): potência ativa gerada pelo sistema, já em corrente alternada de 60 Hz (frequência da eletricidade local).
- Rendimento diário (kWh): é um somatório da potência gerada no dia. É zerada à meia-noite para reiniciar a contagem.
- Geração de energia total (kWh): é um somatório da potência gerada pelo sistema durante toda sua vida útil, não zera como o rendimento diário.

Como descrito na proposta, o usuário terá acesso a um sistema de gráficos interativos disponibilizados de forma online. Há uma série de personalizações que podem ser aplicadas pelo usuário para que a análise do banco de dados possa ser realizada como melhor lhe convir.

Opções:

- Determinar período a ser analisado (data inicial e final), apresentado na Figura 4.1.

Figura 4.1 - Controle de período do sistema



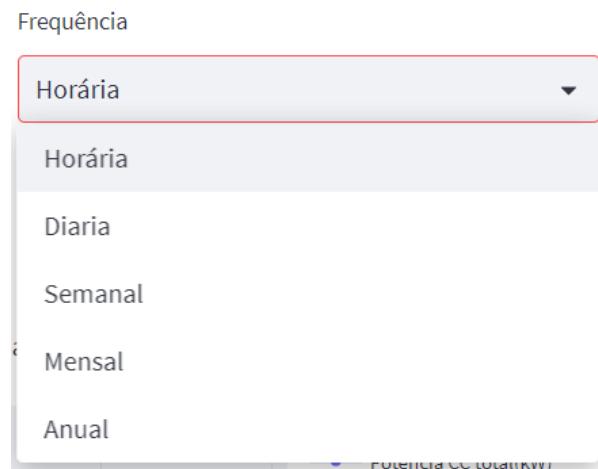
a) Final do período

b) Início do período

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

- Frequência amostral (horas, dias, semanas, meses ou anos), apresentado na Figura 4.2.

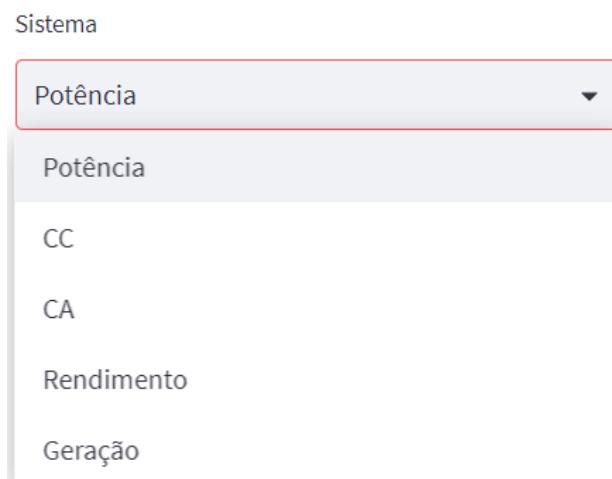
Figura 4.2 - Controle de Frequência do sistema



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

- Quais sistemas e variáveis serão trabalhadas, apresentado na Figura 4.3.

Figura 4.3 - Controle de seleção do sistema da aplicação



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Como sugerido na proposta, os “sistemas” apresentam as seguintes variáveis da planta de painéis fotovoltaicos:

- Potência: na qual são monitoradas as Potência CC total (em Quilowatt, kW) e Potência ativa total (em Quilowatt, kW).
- Sistema de Corrente Contínua (CC): no qual são monitoradas as correntes e voltagens MPPT (*maximum power point tracking* ou rastreamento do ponto de máxima potência, em português) e Potência CC total (em Quilowatt, kW).

- Sistema de Corrente Alternada (CA): onde haverá o monitoramento da Corrente da fase A (em Amperes, A), Tensão da Fase A (em Volts, V) e Potência ativa total (em Quilowatt, kW) da planta.
- Rendimento: no qual será monitorado o Rendimento diário (em Quilowatt-hora, kWh) da planta.
- Geração: no qual será monitorada a Geração de energia total (em Quilowatt-hora, kWh) da planta.

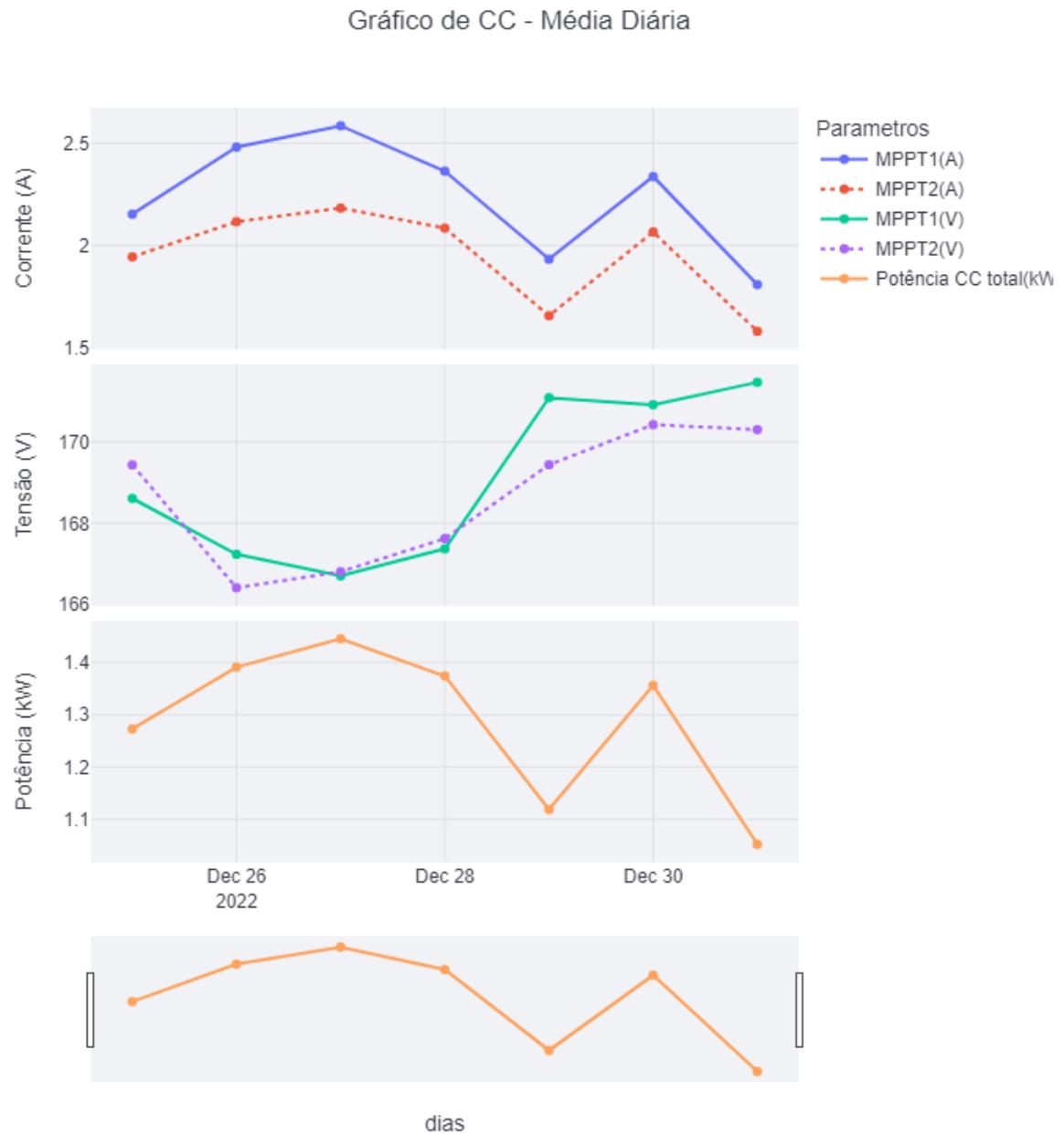
Os gráficos apresentados são gráficos de linha com marcadores que sinalizam exatamente o local da amostra para melhor visualização, com exceção aos primeiros gráficos da opção “Geração” que será apresentado posteriormente. Seguindo a frequência amostral desejada, o valor apresentado é um valor médio diário, semanal e assim por diante.

Os gráficos interativos permitem ao usuário dar zoom, selecionar áreas específicas para análise, selecionar as variáveis do sistema que deseja ocultar clicando em sua representação na sessão "Parâmetros", além de funcionalidades como realizar download do gráfico no momento atual.

Em seu artigo Basnet et al. ressaltam que: “Os dois parâmetros mais importantes na determinação do desempenho de um sistema fotovoltaico são corrente e tensão”³⁶, assim que o monitoramento desses elementos é crucial para prevenir e solucionar rapidamente problemas e falhas que possam ocorrer. Devido a importância dos elementos individuais, optou-se por apresentar as variáveis de acordo com sua unidade de medida em gráficos com eixos y (ou eixo das ordenadas) específicos, porém interligados pelo eixo x (ou eixo das abscissas) para maior comodidade, como pode ser observado na Figura 4.4.

³⁶ BASNET 2022 Op. cit. p.01

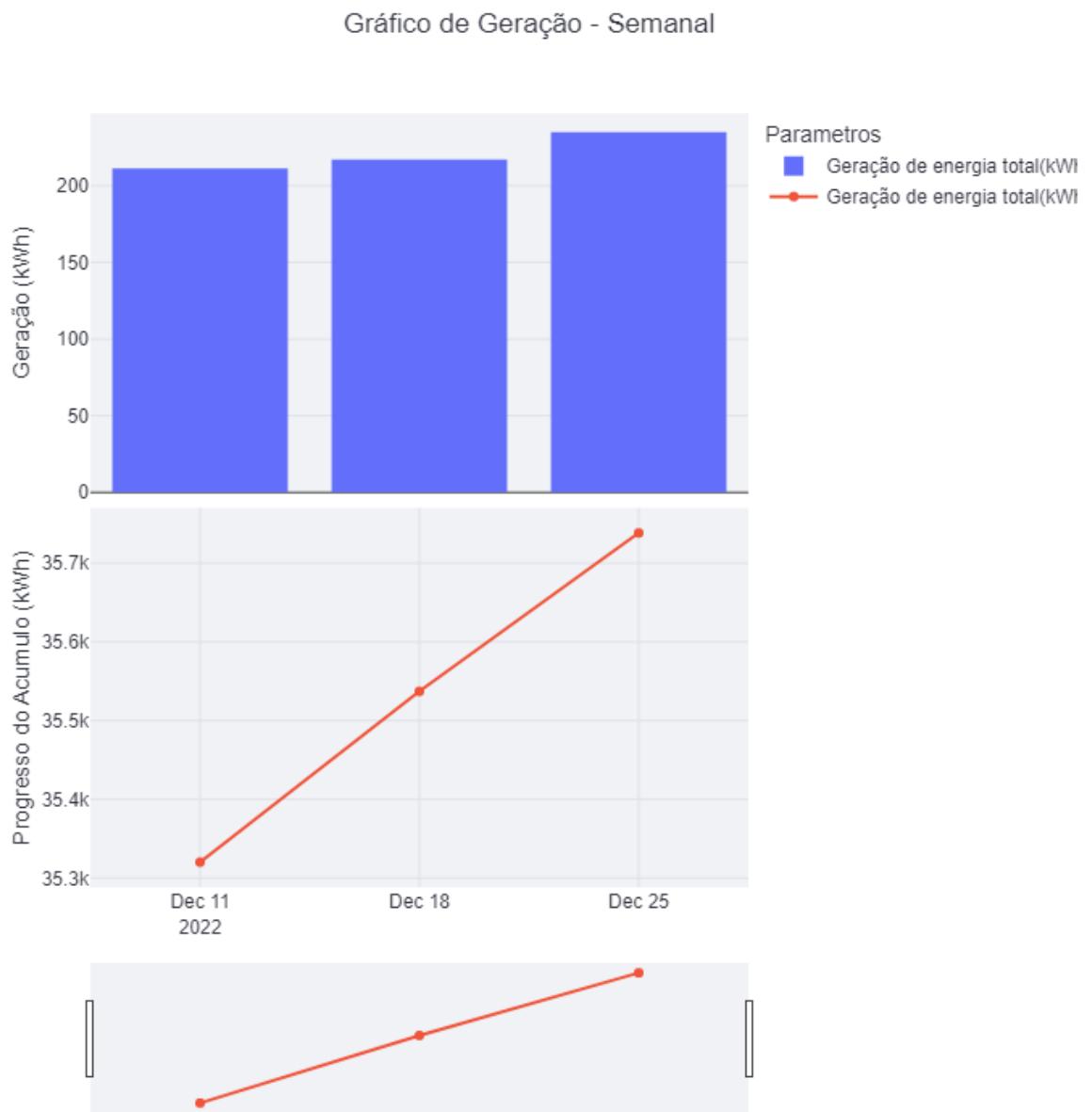
Figura 4.4 - Gráficos do sistema CC apresentando valores médios diários



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

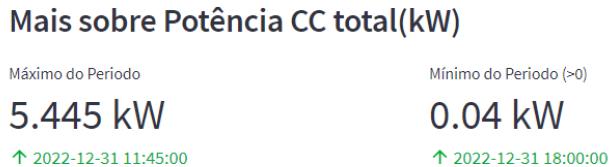
O sistema Geração é construído de maneira diferente aos outros. Ele é composto por dois gráficos: o primeiro é um gráfico de barras e apresenta a geração do período com a frequência desejada; o segundo é um gráfico de linha que apresenta o progresso acumulativo do período desejado. Uma amostra de visualização dos gráficos de geração podem ser vistos na Figura 4.5.

Figura 4.5 - Gráfico de geração fotovoltaica com frequência semanal



Métricas são apresentadas nos campos abaixo dos gráficos com os valores máximo e mínimo do período com a informação do momento do ocorrido para cada parâmetro do sistema. Um exemplo dessas métricas pode ser observado na Figura 4.6.

Figura 4.6 - Métricas de Potência total (em Quilowatt, kW)



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Os arquivos podem ser facilmente consultados através do Github e o programa está disponível para consultas, respectivamente nos seguintes links:

- Github: <https://github.com/rejanenobre/TCC2023>
- Aplicação: <https://rejanenobre-tcc2023-app-g87j0o.streamlit.app/>

Os links podem ser vistos também na Seção REFERÊNCIAS do presente trabalho como produções da autora - BEZERRA, Rejane Nobre

Como parte do presente projeto o programa também apresenta uma pequena sessão “Sobre” na barra lateral retrátil onde se apresenta a finalidade do programa e nomes da discente e do professor orientador. Na parte inferior foram adicionados um E-mail para contato, o caminho do repositório do Github e a especificação “UFRN - Natal/RN - 2023”

5. CONCLUSÃO

A partir dos diversos materiais encontrados ao longo do presente trabalho, as vantagens e desvantagens puderam ser analisadas sobre a implementação de energia fotovoltaica no território brasileiro. A tecnologia ainda está se aperfeiçoando, o retorno não é imediato e, no momento, sua adesão ainda é consideravelmente cara.

No entanto, a estrutura geo-climática do Brasil permite que ele possua um potencial para produção de energia solar maior do que a maioria dos países europeus que já investem na tecnologia, adicionando o fato da produção de energia solar ser complementar ao regime hídrico, que é a fonte de energia predominante atualmente no país.

Políticas públicas já estão sendo desenvolvidas para incentivar o ampliamento da matriz elétrica nacional, conclui-se que a Produção de Energia Fotovoltaica é, sim, uma opção viável para a produção energética brasileira. O sistema para monitoramento de desempenho de painéis fotovoltaicos residenciais aqui modelado deverá ser aperfeiçoado, mas a aplicação já é uma ferramenta adequada para análises de produção e possivelmente poderá ser expandida futuramente.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Fernando. ***Introdução à ciência de dados***: mineração de dados e big data. Rio de Janeiro: Alta Books, 2016.

Apagão atinge Norte e Nordeste, com reflexos em todas regiões do país. **G1**. São Paulo, 21 de mar. de 2018. Jornal Nacional Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2018/03/apagao-atinge-todas-regioes-do-pais-so-5-estados-nao-foram-afetados.html>. Acesso em: 26 fev. 2023

BASNET, Barun, CHUN, Hyunjun, BANG, Junho. An Intelligent Fault Detection Model for Fault Detection in Photovoltaic Systems. **Journal Of Sensors**, [S.L.], v. 2020, p. 1-11, 9 jun. 2020. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2020/6960328>. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2020/6960328>. Acesso em: 15 nov. 2022.

BEZERRA, Rejane Nobre. Repositório do Github. Disponível em: <https://github.com/rejanenobre/TCC2023>. Acesso em: 28 mar. 2023.

BEZERRA, Rejane Nobre. Sistema para Monitoramento de Desempenho de Painéis Fotovoltaicos Residenciais. Aplicação streamlit. Disponível em: <https://rejanenobre-tcc2023-app-g87https://rejanenobre-tcc2023-app-g87j0o.streamlit.app/j0o.streamlit.app/>. Acesso em: 28 mar. 2023.

BlueSol energia solar. **Efeito Fotoelétrico e Efeito Fotovoltaico: Entenda Qual É Geração de Energia Elétrica**. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/efeito-fotoelétrico-fotovoltaico/>. Acesso em: 13 nov. 2022.

BlueSol energia solar. **O Guia mais Absurdamente Completo da Energia Solar Fotovoltaica: Entenda Tudo!**. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-fotovoltaica-guia-supremo/>. Acesso em: 13 nov. 2022.

DIAS, Robson da Silva. Geração Fotovoltaica Distribuída - Importância dos Agentes Reguladores na Expansão da Geração Distribuída no Nordeste. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 40, n. 1, p. 1-15, 19 jun. 2019. Fundação Edson Queiroz. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5020/23180730.2019.8712>. Acesso em: 14 nov. 2022

Empresa de Pesquisa Energética. **Fontes de Energia**. [Brasília]: Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/abcdenergia/Paginas/FONTES-DE-ENERGIA.aspx#TOPO>. Acesso em: 03 fev. 2023.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética] **Balanço Energético Nacional (BEN) 2022: Ano base 21 [Brasília]**: Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2023

FRANCISCO, Ana Carolina Camargo; VIEIRA, Henrique Ewbank de Miranda; ROMANO, Regiane Relva; ROVEDA, Sandra Regina Monteiro Masalskiene. Influência de parâmetros meteorológicos na geração de energia em painéis fotovoltaicos: um caso de estudo do smart campus facens, sp, brasil. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [S.L.], v. 11, n. 2019, p. 1-15, 09 set. 2019. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20190027>. Acesso em: 13 nov. 2022.

Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. Geração Distribuída. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 20 mar. 2023.

Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída**. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 7 fev. 2023.

Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída**. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 7 fev. 2023.

Nações Unidas Brasil. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**: 7 energia limpa e acessível. Brasil: ONU Brasil Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/7> . Acesso em: 03 fev. 2023.

Nações Unidas Brasil. **Sobre o nosso trabalho para alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.** Brasil: ONU Brasil Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 03 fev. 2023.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICA – ONS. **SOBRE O SIN:** o que é o sin: o sistema interligado nacional Brasília: ONS. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. Acesso em: 03 fev. 2023.

Package overview. **Pandas,** 2023. Disponível em: https://pandas.pydata.org/docs/getting_started/overview.html Acesso em: 03 fev. 2023.

Panda. **Panda,** 2023. Disponível em: <https://pandas.pydata.org/> Acesso em: 03 fev. 2023

Plotly Open Source Graphing Library for Python. **Plotly: graphing libraries,** 2023. Disponível em: <https://plotly.com/python/>. Acesso em: 03 fev. 2023

SANT'ANA, Jéssica. **Governo anuncia bandeira tarifária 'escassez hídrica'; custo será de R\$ 14,20 a cada 100 kWh.** G1: Brasília. 31 ago. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/crise-da-agua/noticia/2021/08/31/governo-anuncia-criacao-da-bandeira-tarifaria-escassez-hidrica-acima-da-vermelha-patamar-2.ghtml> Acesso em: 03 fev. 2023.

STREAMLIT, **Streamlit documentation,** 2023 Disponível em: <https://docs.streamlit.io/> Acesso em: 03 fev. 2023

United Nations: Department of Economic and Social Affairs. **Transforming our world:** the 2030 agenda for sustainable development. Nova Iorque: Department of Economic and Social Affairs United Nations. 2015 Disponível em: <https://sdgs.un.org/2030agenda> . Acesso em: 03 fev. 2023.

What is Python? Executive Summary. Python, 2001 Disponível em: <https://www.python.org/doc/essays/blurb/> Acesso em: 03 fev. 2023

World Bank Group. ESMAP. SOLARGIS. **GLOBAL SOLAR ATLAS: Download maps for your country or region - Germany.** Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/download/germany>. Acesso em: 20 mar. 2023.

World Bank Group. ESMAP. SOLARGIS. **GLOBAL SOLAR ATLAS: Download maps for your country or region - Brazil.** Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/download/brazil>. Acesso em: 20 mar. 2023.