



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE ENERGIA



VITOR HUGO GIALDI BARBOSA

**COMPARAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÔMICA DE TRÊS UNIDADES
FOTOVOLTAICAS OPERANDO EM DIFERENTES LOCAIS DO ESTADO DE
MATO GROSSO DO SUL**

MATO GROSSO DO SUL

2022

VITOR HUGO GIALDI BARBOSA

**COMPARAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÔMICA DE TRÊS UNIDADES
FOTOVOLTAICAS OPERANDO EM DIFERENTES LOCAIS DO ESTADO DE
MATO GROSSO DO SUL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Energia, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Mirko Valenzuela Turdera.

Área de Concentração: 3.04.04.01-0 - Geração da Energia Elétrica

MATO GROSSO DO SUL

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

<p>Barbosa, Vitor Hugo Gialdi</p> <p>Comparação energética e econômica de três unidades fotovoltaicas operando em diferentes locais do Estado de Mato Grosso do Sul. / Vitor Hugo Gialdi Barbosa. – Dourados, 2022.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Eduardo Mirko Valenzuela Turdera</p> <p>TCC (Graduação) Engenharia de Energia - Universidade Federal da Grande Dourados.</p> <p>1. Energia solar fotovoltaica. 2. Mato Grosso do Sul. 3. Análise Econômica. I. Turdera, Eduardo Mirko Valenzuela. II. Título.</p>
--

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO G - ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 14:00 horas do dia 11 de Novembro de 2022, realizou-se de forma remota via reunião em modo online e síncrona a defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Energia, intitulado **COMPARAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÔMICA DE TRÊS UNIDADES FOTOVOLTAICAS OPERANDO EM DIFERENTES LOCAIS DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL** de autoria da discente VITOR HUGO GIALDI BARBOSA como requisito para a aprovação no componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso II. Após a defesa e posterior arguição, a banca examinadora concluiu que o Trabalho apresentado deve ser:

(X) Aprovado () Reprovado

A discente declara ciência de que a sua aprovação está condicionada à entrega da versão final (encadernada, corrigida e assinada) do Trabalho de Conclusão de Curso, nos termos em que especifica o regulamento do componente curricular, em anexo ao Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Energia da UFGD. O(A) orientador(a) se responsabiliza pela verificação e aprovação das correções do manuscrito feitas pelo(a) discente para a elaboração da versão final.

OBSERVAÇÕES ADICIONAIS

DISCENTE

Nome: VITOR HUGO GIALDI BARBOSA

Assinatura: 

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Eduardo Mirko Valenzuela Turdera

Assinatura: 

Membro: Allan Vicente Ribeiro Azambuja

Assinatura: 

Membro: Antônio Carlos Caetano de Souza

Assinatura: 

RESUMO

O Brasil precisa aumentar sua oferta de energia elétrica, no entanto, essa ação estratégica deve ser integrada para desenvolver a sociedade nas esferas econômica, social, e ambiental, que afeta até mesmo as energias renováveis, incluindo a energia solar naturalmente abundante. Como o custo de instalação dos sistemas fotovoltaicos vem caindo a cada ano e os custos ambientais e sociais das centrais elétricas convencionais são cada vez mais altos, os sistemas fotovoltaicos têm se tornado economicamente competitivos. Este estudo tem como objetivo comparar energética e economicamente três unidades fotovoltaicas em cidades diferentes no estado de Mato Grosso do Sul. Para atingir o objetivo proposto, foi realizada uma revisão da literatura especializada, bem como uma análise técnico-econômica quantitativa, utilizando dados que foram obtidos via monitoramento de um *data logger* conectado no inversor fotovoltaico. Concluiu-se que o aproveitamento das condições climáticas é determinante para que aumente o potencial de energia fotovoltaica produzida internamente. Ao analisar as três usinas escolhidas, a de Nova Alvorada apresentou melhores resultados na quantidade de energia produzida, e a Unidade de Rio Brillhante apresentou menor *payback* comparado às outras.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica, Mato Grosso do Sul, Análise Econômica.

ABSTRACT

Brazil needs to increase its electricity supply, however, this strategic action must be integrated to develop society in the economic, social, and environmental spheres, which affects even renewable energies, including naturally abundant solar energy. As the cost of installing photovoltaic systems has been falling every year and the environmental and social costs of conventional power plants are increasing, photovoltaic systems have become economically competitive. This study aims to compare energetically and economically three photovoltaic units in different cities in the state of Mato Grosso do Sul. To achieve the proposed objective, a review of the specialized literature was carried out, as well as a quantitative technical-economic analysis, using data that were obtained by monitoring a data logger connected to the photovoltaic inverter. It was concluded that the use of climatic conditions is crucial to increase the potential of photovoltaic energy produced internally. When analyzing the three plants chosen, the one in Nova Alvorada presented better results in the amount of energy produced, and the Rio Brilhante Unit had the lowest payback compared to the others.

Key-words: Photovoltaic Solar Energy, Mato Grosso do Sul, Economic Analysis.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	7
CAPÍTULO I - “ESTADO DA ARTE” E PANORAMA MUNDIAL DA TECNOLOGIA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	9
1.1 A EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA	9
1.1.1 PARÂMETROS IMPORTANTES NA CONVERSÃO ENERGÉTICA	10
1.1.2 CUSTOS DA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE	11
1.2 O NOTÁVEL CRESCIMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE	11
CAPÍTULO II – OS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NOS SISTEMAS ELÉTRICOS EM REDE	14
2.1 SISTEMA ENERGÉTICO EM REDE	14
2.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	15
2.3 EXCEDENTES DE ELETRICIDADE CRIADOS PELOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	16
2.4 OPERAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COMO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SISTEMA ELÉTRICO – BENEFÍCIOS E GARGALOS	17
2.5 FATORES EXÓGENOS DETERMINANDO A EFICIÊNCIA DE UM SFV	18
2.5.1 LOCALIZAÇÃO	19
2.5.2 INCIDENCIA SOLAR	19
2.5.3 IRRADIÂNCIA SOLAR (SAZONALIDADE)	19
2.6 O ARCABOUÇO REGULATÓRIO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL	21
2.6.1 LEIS E NORMAS	21
2.7 CONCLUSÃO	23
CAPÍTULO III – ANÁLISE E COMPARAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÔMICA DE TRÊS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS LOCALIZADOS EM DIFERENTES MUNICÍPIOS DO MS	24
3.1 IDENTIFICAÇÃO DAS INSTALAÇÕES	24
3.2. UNIDADE FOTOVOLTAICA DE CORUMBÁ	24
3.2.1. COORDENADAS GEO-ESPACIAIS	24
3.2.2 CAPACIDADE INSTALADA	24
3.2.3 DESEMPENHO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	24
3.2.4 CUSTOS DE INVESTIMENTO	27
3.2.5 ANÁLISE ECONÔMICA	27
3.3 UNIDADE FOTOVOLTAICA DE NOVA ALVORADA DO SUL	27
3.3.1. COORDENADAS GEO-ESPACIAIS	27

3.3.2 CAPACIDADE INSTALADA	27
3.3.3 DESEMPENHO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	28
3.3.4 CUSTOS DE INVESTIMENTO	30
3.3.5 ANÁLISE ECONÔMICA	30
3.4 UNIDADE FOTOVOLTAICA DE RIO BRILHANTE	31
3.4.1. COORDENADAS GEO-ESPACIAIS	31
3.4.2 CAPACIDADE INSTALADA	31
3.4.3 DESEMPENHO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	31
3.4.4 CUSTOS DE INVESTIMENTO	34
3.4.5 ANÁLISE ECONÔMICA	34
3.5 COMPARAÇÃO ENTRE AS UNIDADES FOTOVOLTAICAS	35
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS	39

INTRODUÇÃO

As projeções das Nações Unidas para o crescimento da população mundial concentram-se não apenas nos números absolutos, chegando a 9,7 bilhões em 2050 (CEOLIN, 2021), mas também nas consequências e impactos desse crescimento populacional. Nesse cenário, uma das principais questões diz respeito à matriz energética e ao aumento da taxa de emissão de carbono devido ao uso de combustíveis fósseis como matéria-prima para a produção de energia.

Em resposta à esse cenário, a adoção intensiva de métodos e tecnologias alternativas de geração de energia elétrica a partir de uma fonte renovável e de forma sustentável e integrada para atender à crescente demanda global se apresenta como um grande desafio para a humanidade. Um dos recursos renováveis abundantes do Brasil é o Sol. Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar, o potencial instalado é estimado em cerca de 28.500 GW (ANEEL, 2019).

Como o desenvolvimento econômico dos países está cada vez mais atrelado a atividades que consomem grandes quantidades de energia elétrica, a questão da geração de energia para abastecer cidades, indústrias e outras atividades humanas é de grande interesse político e econômico. Diante desse cenário, as principais tendências mundiais do setor energético são minimizar as emissões de poluentes na atmosfera, ser sustentável e fornecer capacidade energética suficiente para as necessidades atuais e futuras, produzindo energia a partir de fontes renováveis (LIMA, 2014).

Considerando a alta radiação solar do Brasil e as vantagens técnicas da autogeração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos integrados em edifícios e conectados à rede, essa tecnologia tem potencial para contribuir significativamente para a matriz energética do país. A integração desse tipo de geração em edifícios e a redução dos custos de pico de carga estão beneficiando os investidores do setor comercial (DOLLA et al., 2018)

Existe uma resolução prescritiva na lei brasileira destinada a incentivar os pequenos produtores de energia renovável a exportar sua energia excedente para a rede pública. A Resolução ANEEL 482/2012 permite que consumidores que possuam pequenas instalações de produção de energia renovável utilizem sua energia elétrica

excedente na rede pública durante o dia e nela à noite. O foco está nas unidades que produzem cogeração por usinas hidrelétricas, solares, eólicas fotovoltaicas, a biomassa ou termelétricas de alto desempenho (ANEEL, 2018).

Este estudo possui como objetivo comparar energética e economicamente três unidades fotovoltaicas em cidades diferentes no estado de Mato Grosso do Sul. Para atingir o objetivo proposto, foi realizada uma revisão da literatura especializada, bem como uma análise técnico-econômica quantitativa, utilizando dados que foram obtidos via monitoramento de um *data logger* conectado no inversor fotovoltaico, onde os mesmos são mandados à rede e coletados por um site/aplicativo chamado SolarZ.

CAPÍTULO I - “ESTADO DA ARTE” E PANORAMA MUNDIAL DA TECNOLOGIA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

1.1 A EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA

De acordo com Araújo et al. (2018), as pesquisas sobre aplicações e tecnologias de conversão de energia solar começaram no Brasil na década de 1950. Períodos de alta produtividade científica estava relacionados à disponibilidade de recursos financeiros, enquanto outros períodos eram menos produtivos por falta de investimento. Na década de 1970, o foco era a pesquisa básica. Os primeiros módulos solares foram desenvolvidos em 1955 no Instituto Nacional de Tecnologia e no Centro Técnico Aeroespacial. As células solares de silício foram desenvolvidas na Universidade de São Paulo (USP) a partir do cultivo de lingotes de silício cristalino pelo método de Czochralski. Os módulos solares de película fina foram fabricados no Instituto Militar de Engenharia (IME). Na década de 1980, células solares feitas de silício amorfo hidrogenado eram estudadas na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) (ARAÚJO et al., 2018).

Entre 1986 e 1994, o financiamento para o campo diminuiu significativamente e vários grupos de pesquisa foram dissolvidos. Na década de 1990, uma pesquisa sobre módulos fotovoltaicos foi realizada na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Em 2003, foi criado na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS) um centro de pesquisa para o desenvolvimento de tecnologia solar de silício cristalino e módulos solares. Foi realizada uma produção piloto de células solares e módulos solares. As células solares fabricadas no Brasil com a maior eficiência de 17,3% foram fabricadas com placas de Si-Cz de grau solar. Diversas universidades e institutos de pesquisa estão atualmente trabalhando no desenvolvimento de células solares de diversas tecnologias, desde a convencional até a terceira geração (ARAÚJO et al., 2018).

No Brasil, a geração de energia está concentrada em fontes renováveis, com apenas 16% de fontes não renováveis. Cerca de 60% da eletricidade é gerada por usinas hidrelétricas. A contribuição de fontes de energia renováveis e alternativas, como energia solar fotovoltaica e eólica, aumentou na última década. Em 2020, a geração de eletricidade a partir de sistemas fotovoltaicos representou cerca de 2% da

matriz elétrica do Brasil. Com base nas tendências globais, espera-se que o uso de energia elétrica aumente em todos os setores, incluindo a agricultura. Em 2020, 8% da eletricidade será produzida no setor da energia solar fotovoltaica e tende a crescer cada vez mais no Brasil (TOLEDO et al., 2022).

1.1.1 PARÂMETROS IMPORTANTES NA CONVERSÃO ENERGÉTICA

A energia solar fotovoltaica é obtida convertendo a luz solar em eletricidade. Isso é causado pelo que é conhecido como o efeito fotovoltaico. Este efeito consiste em uma diferença de potencial nas bordas do material semicondutor devido à absorção de luz. A célula solar é a unidade básica deste processo e os semicondutores em laboratório se comportam como isolantes em temperaturas próximas ao zero absoluto. Quando a temperatura começa a subir, os átomos começam a vibrar e a distância entre os átomos muda, vibrando cada vez mais à medida que a temperatura aumenta. Parte da energia produzida por essas vibrações é transferida para os elétrons e, quando recebe energia suficiente, eles começam a quebrar as ligações covalentes às quais os elétrons pertencem, ganhando elétrons livres e lacunas (LEMOS et al., 2022).

Assim como outras fontes de energia, as células fotovoltaicas não conseguem converter toda a energia incidente em eletricidade devido às limitações tecnológicas e perdas no processo de conversão. A eficiência é outro parâmetro importante que determina o módulo. Este parâmetro determina o quão eficiente é o processo de conversão de energia solar em eletricidade, e pode ser alcançado de forma semelhante às células solares usando potência elétrica máxima (PMP) e entrada de luz do módulo (WATANABE; JÚNIOR; FAESARELLA, 2021).

A temperatura de operação das células solares é o fator mais importante no processo de conversão de energia. Altas temperaturas fazem com que os painéis fotovoltaicos superaqueçam, o que reduz muito a eficiência e a saída de calor. O aumento da temperatura da superfície da célula solar aumenta a resistência do circuito, o que limita a velocidade do elétron, afeta a tensão do circuito aberto e danifica os materiais da célula. A relação entre a queda de tensão e o aumento de temperatura é chamada de fator de correção, que descreve a dependência da

temperatura de um material específico e mostra a relação entre a potência do painel fotovoltaico e a temperatura da superfície do painel (OLIVEIRA, 2022).

1.1.2 CUSTOS DA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE

De acordo com Chaves (2021), existem vários tipos de combustíveis fósseis e existem inúmeras usinas de geração elétrica no mundo que utilizam diferentes tipos de combustíveis. Há um grande *spread* no custo da energia elétrica produzida por esse conjunto de combustíveis fósseis, variando de US\$ 0,05/kWh a US\$ 0,12/kWh, enquanto os custos para produzir energia a partir do solar e eólica fica em torno de US\$ 0,04/kWh. Também é importante notar que o otimismo sobre o futuro das energias renováveis não é consenso total.

De 1976 a 2019, os custos dos painéis caíram em média 20,2% a cada duplicação da produção acumulada, reduzindo no total em 99,6% o custo dos mesmos. Desde 2010, a taxa de redução de custos aumentou muito significativamente. Essa mudança se deve a vários fatores, incluindo incentivos governamentais. Isso não significa que a queda contínua dos preços dependerá da continuidade desse estímulo, o que acaba por tornar o custo da energia fotovoltaica menor do que a energia gerada a partir dos combustíveis fósseis (CHAVES, 2021).

1.2 O NOTÁVEL CRESCIMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE

Em 2020, os recursos hídricos foram responsáveis por mais de 60% da produção de eletricidade do país, o que acaba sendo um problema porque o território do Brasil é grande e o clima é muito variável, podendo haver longos períodos de seca que causam, nas barragens, a perda de grande parte do seu volume de água e muitas vezes atinge um limite crítico. Essas questões vêm sendo discutidas desde 2013, quando as regiões Sul e Sudeste começaram a sofrer com as estiagens mais severas, por isso foram feitos planos para minimizar os efeitos decorrentes (SOUZA, 2020).

Em nível nacional, em 2012, apenas quatro unidades de geração distribuída estavam registradas na ANEEL e, em 2019, esse número aumentou para quase cem mil (ANEEL, 2019). Este desenvolvimento está em linha com a crescente consciência ambiental da população. Nos últimos anos, os impactos ambientais causados pelo homem têm recebido cada vez mais atenção de cientistas, governos e sociedade em geral, e a eletricidade solar tornou-se uma forte aliada, pois reduz significativamente as emissões de dióxido de carbono.

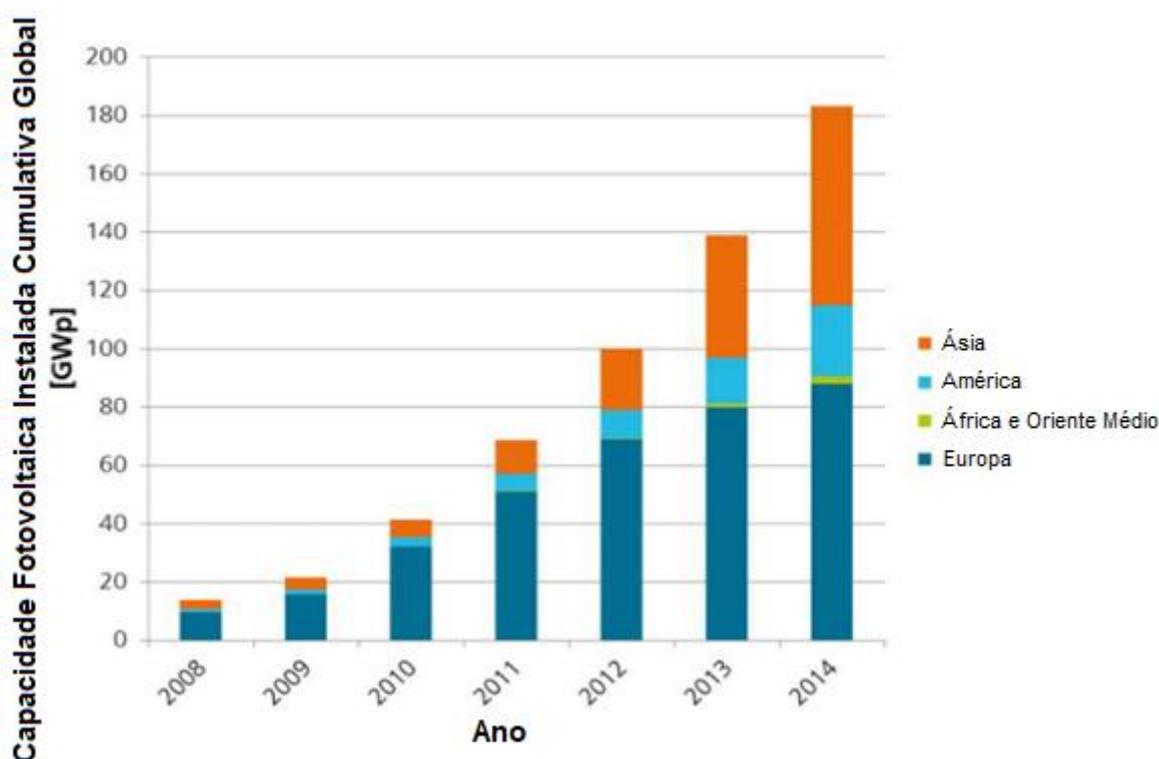
O crescimento do micro e minigeração descentralizada de energia elétrica tem sido acelerado por medidas regulatórias, como aquelas que permitem compensar o excedente de energia produzida por sistemas menores (*net metering*). Em 2020, a micro e minigeração descentralizada atingiu 9.810 GWh com capacidade instalada de 8.965 MW, com foco em energia solar com produção de 9.019 GWh e capacidade instalada de 8.771 MW (BEN, 2022).

Apesar de ter a sua participação entre as fontes renováveis de energia em nossa matriz elétrica, com 0,5% em 2018, a energia fotovoltaica tem apresentado forte crescimento nos últimos anos (em 2017 seu uso foi de apenas 0,1%). O crescimento da energia solar na matriz elétrica brasileira foi de 316,1 vezes de 2017 a 2018. A geração de energia passou de 832 GWh para 3.461 GWh em um ano (ANEEL, 2019). São vários os pontos que justificam o investimento em pesquisa e desenvolvimento de energia fotovoltaica. Um dos aspectos principais tem a ver com os benefícios ambientais, pois é um recurso renovável e limpo e não tem impacto significativo nos ecossistemas locais ou globais. Além disso, utiliza diretamente a fonte de energia primária da Terra, da qual se originam quase todas as outras fontes de energia desenvolvidas ao longo da história.

Segundo Mendes (2016), a eletricidade proveniente da energia solar fotovoltaica, na modalidade fotovoltaica, é de particular importância devido à alta disponibilidade do recurso. Destaca-se o investimento em energia solar fotovoltaica, especialmente na Europa, onde estão instalados cerca de 74% da geração de energia mundial. Alemanha e Itália têm sido grandes investidores até recentemente, com o primeiro tendo os menores custos de produção nos últimos anos, tornando-se a forma de energia renovável mais barata do país.

A Figura 1 mostra o crescimento moderado e a distribuição do investimento solar global de 2008 a 2014. A partir disso, pode-se ver que o mercado asiático está experimentando um crescimento muito mais forte do que outros mercados justificados pelo desenvolvimento tecnológico do setor. O mercado europeu está desacelerando devido à redução dos programas de incentivo. Além disso, foi observado um aumento de cerca de 30 GWp/ano entre 2010 e 2012, e um aumento de 40 GWp/ano entre 2012 e 2014, indicando um aumento gradual do investimento em geração de energia solar na Europa. Em 2014, cerca de 180 GWp foram instalados em todo o mundo (MENDES, 2016).

Figura 1 - Crescimento global do investimento no mercado fotovoltaico



Fonte: Mendes (2016)

Nos estágios iniciais da tecnologia, seu crescimento foi irregular e a capacidade instalada foi baixa, de modo que o valor agregado pode resultar em flutuações percentuais erráticas de ano para ano. Conforme cenário em 2025, a capacidade total dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede no Brasil seria de cerca de 75,6 GWp, equivalente a 98,3 TWh de energia elétrica desta fonte, considerando uma demanda de energia elétrica estimada de 800 TWh em 2025.

CAPÍTULO II – OS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NOS SISTEMAS ELÉTRICOS EM REDE

2.1 SISTEMA ENERGÉTICO EM REDE

Os sistemas *on-grid* são aqueles que trabalham ligados à rede elétrica da distribuidora de energia simultaneamente durante a geração, isso faz com que não seja necessário o uso de baterias. Essa modalidade de geração torna obrigatório o uso do inversor para converter a corrente contínua gerada na fonte de energia para a corrente alternada que é a usada nas linhas de transmissão (CEPEL & CRESESB, 2014).

De acordo com Silva e Caixeta (2006), como canal de comunicação, a rede elétrica é um meio altamente hostil. Uma simples conexão entre duas tomadas dentro de um mesmo dispositivo apresenta uma função de transferência bastante complexa, principalmente devido ao descasamento entre as impedâncias das cargas nas terminações da rede. Portanto, as respostas de magnitude e fase variam em uma ampla faixa com a frequência. Em algumas frequências, o sinal transmitido pode chegar ao receptor com pouca ou nenhuma perda, enquanto em outras frequências o sinal é recebido em um nível de potência abaixo do nível de potência de ruído, completamente bloqueado pelo canal (SILVA; CAIXETA, 2006).

Semelhante aos sistemas de transmissão, a distribuição de energia consiste em condutores, transformadores e vários dispositivos usados para medir, controlar e proteger a rede elétrica. No entanto, diferentemente da rede elétrica de transmissão, a rede de distribuição é muito mais extensa e complexa, pois deve chegar à casa ou endereço de cada consumidor. A rede de distribuição é composta por linhas de alta tensão, média tensão e baixa tensão. Alguns transmissores também possuem linhas com tensões abaixo de 230 kV, conhecidas como Outros Equipamentos de Transmissão (DIT), mas a maioria das linhas com tensões entre 69 kV e 138 kV são de responsabilidade das distribuidoras. Essas linhas também são conhecidas na indústria como linhas de subtransmissão. Além das redes de subtransmissão, as empresas de distribuição operam linhas de transmissão de média e baixa tensão, também conhecidas como redes primárias e secundárias. Linhas de média tensão são linhas com tensão entre 2,3 kV e 44 kV e são comumente de encontrar nas

estradas e avenidas das grandes cidades. Eles geralmente consistem em três linhas aéreas suportadas por postes de madeira ou de concreto (CAMPOS; MACEDO; LOPES, 2019).

2.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Um sistema de geração distribuída administrado pela ANEEL tem visto um aumento no número de conexões nos últimos anos. Dada a complexidade do setor elétrico brasileiro como subsistema, o estado atual da geração distribuída no ordenamento jurídico brasileiro é o marco constitucional que rege o desenvolvimento sustentável e, mais precisamente, a atuação do estado constitucional da ANEEL (SOETHE; BLANCHET, 2020).

Com base nesse sentido, a Agência Nacional de Energia Elétrica buscou viabilizar o acesso à geração distribuída para além do texto legal no cumprimento do mandato regulatório do Setor Elétrico Brasileiro (SEB). Isso foi feito com a participação de membros da sociedade civil. À época, diversos instrumentos legais possibilitavam o diálogo democrático entre os setores público e privado. Foi iniciado com a Audiência Pública nº 15/2010, que foi realizada de 10 de setembro a 9 de novembro de 2010 por meio de troca de documentos. Após a publicação dos resultados, foi promovido o Boletim Técnico nº 0004/2011, seguido da Audiência Pública nº 2/2011 realizada de 11 de agosto a 1 de outubro de 2011 (CALDAS, 2011).

Os sistemas *off-grid* são sistemas fotovoltaicos independentes e autônomos que usam baterias conectadas para atuar como armazenamento de energia. O *kit* do sistema é composto por estruturas de suporte como painéis solares, cabos, inversor e controlador de carga (bloco gerador) e bateria (bloco de armazenamento). Além disso, em um sistema *off-grid* não há conexão direta com a rede de concessão ou cooperativa de energia. Dessa forma, se houver falta de energia, o abastecimento começará a partir da reserva armazenada no banco de baterias e a capacidade de armazenamento terá que ser ajustada para atender às necessidades do local. Nesse caso, a energia excedente gerada pelo sistema vinculado à rede é enviada para a rede de distribuição convencional. Assim, o relógio do contador gira no sentido contrário e o excedente é convertido em crédito ao consumo (PEREIRA, 2019).

Junto com os Estados Unidos, a China também mostra interesse na modalidade geração distribuída. De acordo com a ANEEL (2018a), o investimento da China em energia solar aumentou significativamente. Em 2017, a energia solar centralizada continua a dominar, embora o país tenha aumentado a potência instalada em 5 GW, enquanto a energia solar distribuída também está crescendo rapidamente. Recentemente, esforços foram feitos pela Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma (NDRC) e pela Administração Nacional de Energia (NEA) para criar um novo modelo de negócios para energia solar distribuída no país.

2.3 EXCEDENTES DE ELETRICIDADE CRIADOS PELOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

De acordo com Andrade (2020), os sistemas conectados à rede de distribuição da concessionária permitem que o projeto forneça uma parcela da energia consumida. A eficiência energética é assim alcançada e os empresários pagam a diferença entre o que se produz e o que se consome. Desde que o projeto contenha o número de painéis necessários para cobrir todo o consumo, o projeto tem autonomia energética e pode cobrar um pequeno saldo ou creditar o excedente na conta do mês seguinte.

Este modelo é o mais comum no modo de produção descentralizado e instalado em residências e pequenas empresas. Diferentemente do modelo citado anteriormente, os projetos de sistemas fotovoltaicos podem levar em conta todas as necessidades energéticas da empresa e ainda ter a capacidade de gerar grandes quantidades de energia não utilizada e o excedente ser comercializado (ANDRADE, 2020).

Os sistemas de geração de energia distribuída são independentes de fontes de energia, como calor, solar e eólica, e do tamanho das unidades geradoras e podem ser conectados à rede. Neste caso o consumidor será *prosumer* (do inglês *producer* + *consumer*) ou *off-grid* e exigirá a instalação da bateria para coletar o excesso de energia para uso posterior. A tecnologia *Blockchain* atende a necessidade de segurança no armazenamento de informações, funciona de forma descentralizada, facilita o acesso e tem como característica evitar riscos, reduzindo o balanço energético causado pela produção excedente de *prosumers* individuais. Sua

verificabilidade, rastreabilidade e imutabilidade criam confiança entre distribuidores de energia e *prosumers* (SILVA et al., 2021).

A Resolução Normativa 482/2012 (ANEEL) conceitua a microgeração distribuída de energia e estabelece as condições para o acesso do micro e minigeração distribuída ao sistema de distribuição e ao sistema de balanceamento de energia do Território Brasileiro. Nesta resolução, entende-se por minigeração distribuída as usinas com potência instalada superior a 75 kW, mas não superior a 5 MW, utilizando cogeração ou fontes renováveis certificadas na regulamentação da ANEEL. A energia conectada à rede é distribuída pelas instalações das unidades consumidoras. Ou seja, regulamentou a produção de energia elétrica pelos *prosumers* e também criou um sistema de compensação de energia elétrica. É um mecanismo que permite que a energia excedente produzida por unidades consumidoras de micro ou minigeração seja injetada na rede para posterior utilização e reduza seu consumo mensal.

2.4 OPERAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COMO GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO SISTEMA ELÉTRICO – BENEFÍCIOS E GARGALOS

Os principais benefícios dos sistemas de geração distribuída incluem os incentivos exclusivos. Regulamentações e isenções fiscais são utilizadas no Brasil como incentivos para fontes renováveis de energia para geração distribuída. Vários incentivos foram integrados às empresas interessadas no setor pelo Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída (ProGD) 2015 do governo. A geração distribuída também pode gerar ganhos econômicos por meio da popularização de sistemas conectados à rede e da consequente redução da demanda e da taxa de consumo de energia (PEREIRA, 2019).

Uma das principais desvantagens do sistema de geração distribuída é seu alto custo. Ele é considerado caro, apesar do declínio gradual do preço ao longo dos anos. Atrasos na atualização das normas e decisões das autoridades que regulam os sistemas de geração distribuída deixaram as empresas de distribuição incapazes de expandir por falta de infraestrutura e orçamento para atender aos seus requisitos de qualidade, controle e proteção. A expansão da geração distribuída e a simultânea

descentralização das redes elétricas podem levar a um declínio da influência política em áreas de importância crítica para o desenvolvimento nacional. A centralização é uma vantagem política porque traz unidade em termos de planejamento estratégico por agências governamentais para gerenciar as metas e partes interessadas do setor de energia do país. Além disso, a dificuldade em medir o crescimento da geração distribuída tem dificultado os planos de expansão da geração do país. (PASSATUTO et al, 2020).

A geração distribuída de energia tem atraído muito interesse nos últimos anos. A inovação tecnológica é a principal força motriz por trás desse desenvolvimento devido à mudança do ambiente econômico. A Agência Internacional de Energia cita vários fatores envolvidos nesse desenvolvimento. Por exemplo:

- O desenvolvimento da tecnologia de geração de energia distribuída.
- Restrições à construção de novas linhas de transmissão.
- Aumento da demanda do consumidor por alta segurança e continuidade de fornecimento.
- O processo de desbloqueio do mercado de eletricidade.
- Preocupação com as mudanças climáticas.

Esses fatores tornam a geração distribuída de energia atrativa como forma de tornar o setor energético mais eficiente. A geração distribuída é uma nova forma de geração de energia, mas existem instrumentos regulatórios internacionais e nacionais que visam regular a conexão à rede (SANTOS; MONTENEGRO; SOUZA, 2012).

2.5 FATORES EXÓGENOS DETERMINANDO A EFICIÊNCIA DE UM SFV

Entre as fontes de energia limpa e renovável mais eficientes para atender a projetos de expansão econômica e desenvolvimento social, a energia solar é a fonte de sua confiabilidade e do custo cada vez menor das tecnologias utilizadas para aproveitá-la. No entanto, os níveis de produção de energia elétrica dos painéis solares são erráticos e podem ultrapassar os níveis planejados, por exemplo, em dias com maior ou maior insolação. No entanto, existem fatores mencionados que causam

degradação do desempenho durante o processo de geração de energia do módulo.

2.5.1 LOCALIZAÇÃO

É muito importante salientar que mesmo dentro de uma mesma região, diferentes regiões possuem características geográficas diferentes. Presença de montanhas, vegetação, efeitos do vento e até mesmo um ambiente altamente urbanizado. Assim, estudar o potencial de conversão da radiação solar em energia elétrica em cada cidade, ou pelo menos nas microrregiões, permitirá desenvolver alternativas para a produção de energia mais sustentável, dependendo das características de cada microrregião (SILVA; SOUZA, 2016).

De acordo com os autores, para melhor estudar essas propriedades, existem atualmente diversos softwares que comprimem dados de potencial solar de diferentes locais ao redor do mundo. B. Modelo System Advisor desenvolvido pelo US National Renewable Energy Laboratory. Este software ou modelo contém um banco de dados de várias estações distribuídas em todo o mundo. Além disso, você pode criar projetos de engenharia para custos do sistema solar e eficiência energética e comparar dados sobre irradiância, energia total e irradiância. Níveis de matriz e outros dados importantes no projeto de sistemas utilizando energia fotovoltaica.

2.5.2 INCIDENCIA SOLAR

Os sistemas fotovoltaicos são mais eficientes quando a luz solar é perpendicular à superfície do módulo. Em outras palavras, um sistema automatizado de colocação de módulos fotovoltaicos pode aumentar a produção de energia em até 40% (DE SOUZA; ARISTONE, 2018).

2.5.3 IRRADIÂNCIA SOLAR (SAZONALIDADE)

A disponibilidade de energia solar em uma região é determinada principalmente por sua posição na Terra. Além disso, como mencionado anteriormente, as regiões entre as regiões polares e tropicais podem ser consideradas

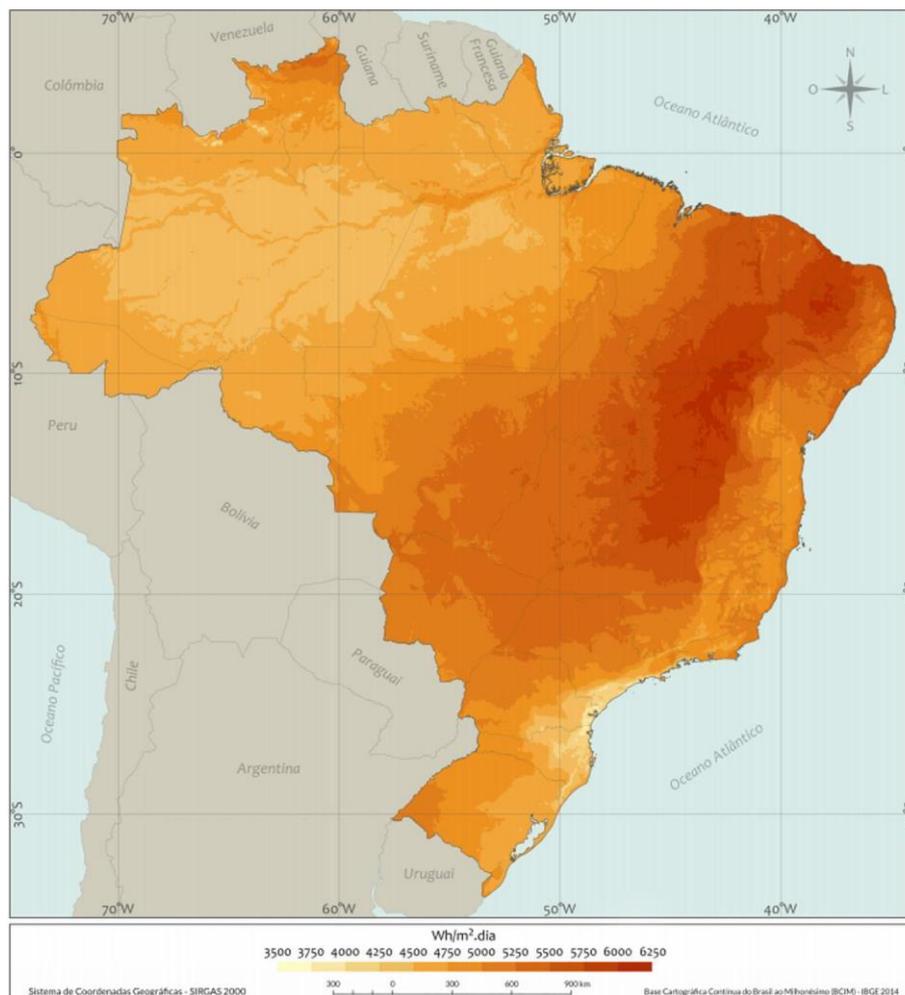
regiões de moderado potencial de energia solar, enquanto as regiões entre trópicos e a linha do Equador podem ser vistas como regiões de alto potencial. O Brasil está localizado no Trópico de Capricórnio e na linha do Equador, favorecendo um alto índice solar. O Atlas Brasileiro de Radiação Solar fornece estimativas de radiação solar incidente para o país, com uma radiação solar média de cerca de 7 horas (GOETZE, 2017).

É importante notar que a quantidade de radiação solar que atinge a superfície da Terra varia em diferentes épocas do ano, dependendo da latitude de cada local e do eixo de inclinação da Terra. Além disso, a radiação depende de fatores como nebulosidade, umidade relativa e composição química do albedo atmosférico e da superfície. Desta forma, cada região do Brasil recebe diferentes quantidades de radiação na superfície durante um determinado mês do ano, devido às diferentes características de cada região (SILVA; SOUZA, 2016).

Observa-se que a temperatura ambiente não tem nada a ver com a radiação solar, mas também afeta o desempenho de geração de energia do módulo. A corrente gerada pelo módulo aumenta proporcionalmente com o aumento da intensidade da luz. Por outro lado, à medida que a temperatura dentro da célula aumenta, a eficiência do módulo diminui e o ponto de operação cai para a potência máxima. Em dias quentes e ensolarados, a radiação solar superaquece os painéis e afeta a geração de energia do sistema fotovoltaico como citado anteriormente (GUIMARÃES; NARIMATU; CRIBARI, 2018).

O Atlas Brasileiro de Energia Solar disponibiliza valores da irradiação solar no Brasil (Figura 2). Através dele pode-se ver a irradiação horizontal do onde mostra que a região nordeste faz parte da área que apresenta as maiores médias. Isso ocorre por conta da proximidade com a linha do Equador, resultando em vantagens econômicas e técnicas para os sistemas solares fotovoltaicos instalados na região.

Figura 2 — Total diário da irradiação horizontal



2.6 O ARCABOUÇO REGULATÓRIO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL

2.6.1 LEIS E NORMAS

Buzanello (2020) relata que os consumidores brasileiros tiveram a opção de gerar sua própria energia elétrica a partir de 2012, pois, foi neste momento que os sistemas fotovoltaicos ganharam destaque no cenário nacional. Isso aconteceu com o advento da Resolução Normativa da ANEEL nº 482/2012, que passou a estabelecer regras para sistemas distribuídos de micro e minigeração, bem como sistemas de compensação de energia.

Três anos após este documento, a burocracia no processo de implantação desses sistemas fotovoltaicos foi reduzida pela Resolução Normativa da ANEEL nº 687/2015 atualizando os respectivos processos. O mesmo documento também estendeu para 60 meses o tempo de consumo dos créditos atribuídos aos excedentes distribuídos na rede, abrindo a possibilidade de autoconsumo à distância, a geração de energia. Ressalta-se que a Resolução Normativa 786/2017 da ANEEL alterou o conceito de minigeração distribuída e, conseqüentemente, o que se enquadra nessa categoria. Isso porque, até a resolução normativa nº 786/2017, resolução normativa nº 482/2012, foi estabelecido que esta categoria, minigeração descentralizada, possui potência instalada maior ou igual a 75 kW. Devido à transição de 2017, a capacidade instalada sobre estes 75 kW foi inferior a 5 MW (GUERRA; LIMA, 2021).

A Lei nº 11.488, de 15 de junho de 2007, dispõe sobre o desenvolvimento de infraestrutura para pessoas jurídicas com projetos aprovados para execução de obras de infraestrutura nas áreas de energia, saneamento básico e irrigação. Depende da conformidade fiscal corporativa. Aos beneficiários desta medida são concedidos incentivos fiscais para o Programa de Inclusão Social e Enriquecimento do Servidor Público (PIS/PASEP) e Contribuições para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), de modo que a ANEEL estabelece uma alíquota reduzida se inferior a 50% (cinquenta por cento) aplicável às tarifas de uso dos sistemas de transmissão e distribuição que afetam a produção e o consumo de energia vendida pelo projeto.

Foi também criada uma política de *net metering* para incentivar o investimento nestes sistemas de produção renovável, embora não seja o caso em Portugal. Naquele país a rede elétrica é utilizada como sistema de armazenamento para facilitar a venda desse excedente por meio de uma tarifa supervalorizada. Nesse caso, os consumidores podem reduzir suas contas de energia elétrica, mas devem controlar a energia injetada durante as horas de sol para evitar a sobrecarga da rede. Hoje, os sistemas mais comuns são os minissistemas de geração de energia, responsáveis pela produção descentralizada em pequena escala onde toda a energia produzida é vendida à rede.

O custo de implantação de um sistema solar *off-grid* pode chegar a 50 vezes o valor de uma pequena central hidrelétrica de mesma capacidade, mas considerando a energia produzida durante a vida útil do equipamento solar de cerca de 30 anos.

Calculando esse valor, o custo resultante é 10 vezes menor que o custo da energia elétrica entregue ao consumidor. Adicionando impostos, custos ambientais e sociais e a energia solar se tornará economicamente competitiva no futuro próximo (LIMA; ABDALA, 2013).

2.7 CONCLUSÃO

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede estão se tornando cada vez mais populares no Brasil e a qualidade desses sistemas deve ser sempre garantida. Nesse sentido, este trabalho representa um procedimento de qualificação do sistema fotovoltaico que é aplicado imediatamente após a instalação ou modificação de um projeto de sistema fotovoltaico para demonstrá-lo (ou defini-lo).

Para diversificar a base energética do país, o governo está dando incentivos para promover a transição da energia fotovoltaica, que deve trazer benefícios significativos para o sistema elétrico. Entre os possíveis benefícios, destacamos o adiamento dos investimentos na expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, a redução de cargas e perdas nas linhas e o cumprimento dos requisitos ambientais vigentes.

CAPÍTULO III – ANÁLISE E COMPARAÇÃO ENERGÉTICA E ECONÔMICA DE TRÊS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS LOCALIZADOS EM DIFERENTES MUNICÍPIOS DO MS

3.1 IDENTIFICAÇÃO DAS INSTALAÇÕES

Para atingir os objetivos do estudo, foram selecionados três sistemas fotovoltaicos localizados em diferentes municípios do Mato Grosso do Sul (MS). Foram escolhidas uma usina localizada no Corumbá, uma usina em Nova Alvorada, e em Rio Brilhante.

3.2. UNIDADE FOTOVOLTAICA DE CORUMBÁ

3.2.1. COORDENADAS GEO-ESPACIAIS

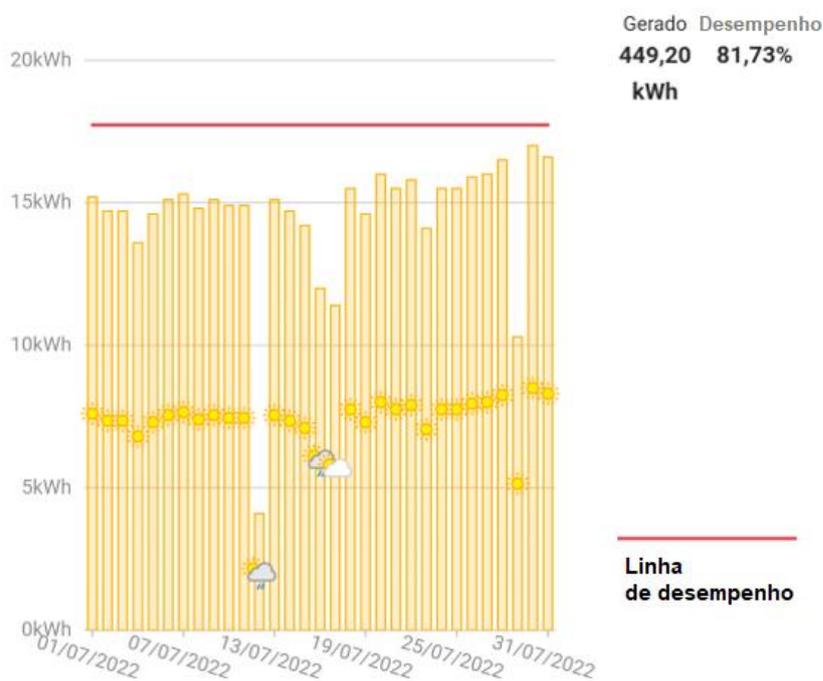
O sistema fotovoltaico da usina em Corumbá está localizado no bairro Beira Rio. O local pode ser encontrado através das coordenadas -18.996, -57.650.

3.2.2 CAPACIDADE INSTALADA

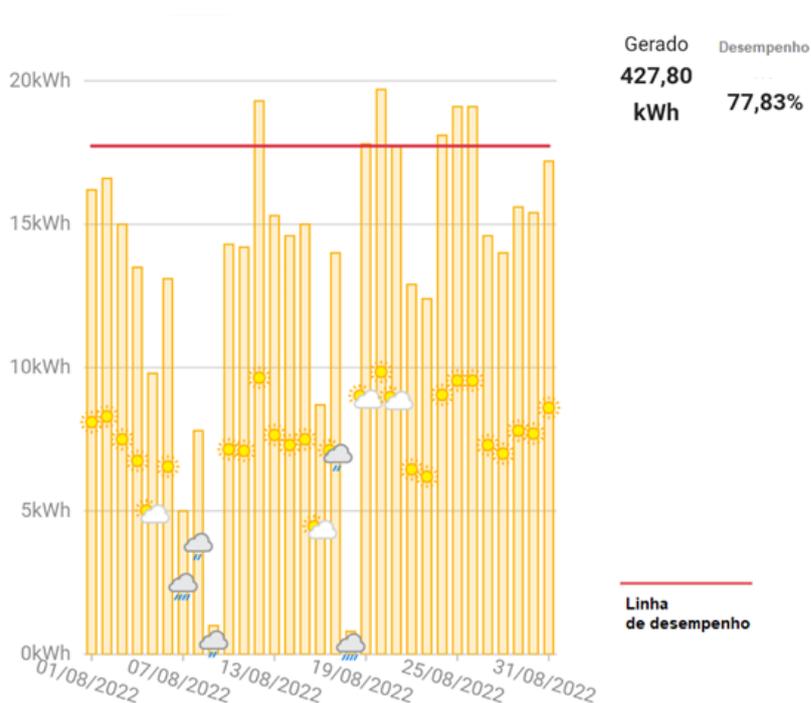
A usina tem capacidade instalada de 5,50 kWp.

3.2.3 DESEMPENHO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

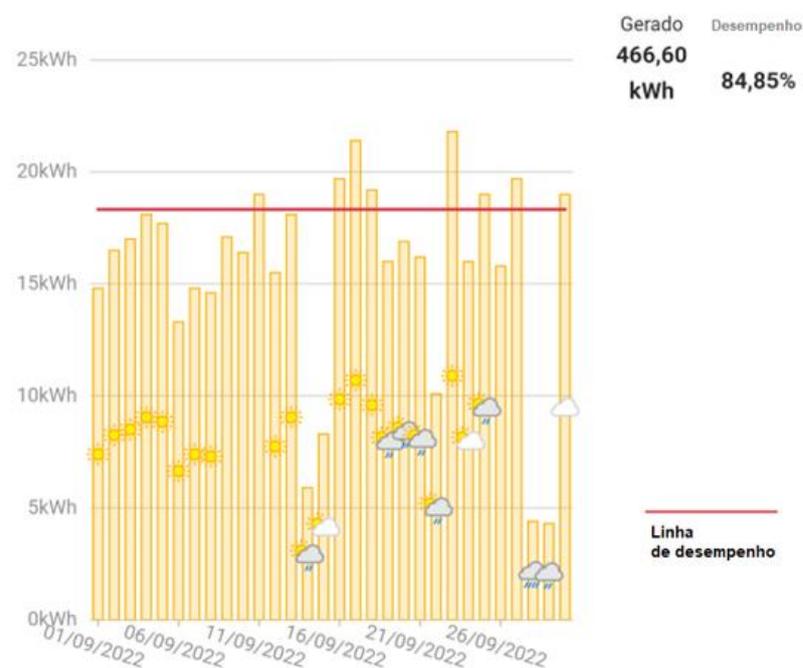
Na análise realizada entre os dias 01 e 31 de julho de 2022 (Gráfico 1), a usina gerou um total de 449,20 kWh. Tendo uma média de geração em torno de 14,490kWh, valor mínimo de 4,100 kWh e máximo de 17,000 kWh. Obtendo um desempenho de 81,73%. Os valores mostram terem sido influenciados pelo tempo, tendo seu valor mínimo registrado em um dia chuvoso. É importante mencionar que a linha de desempenho é calculada pelo próprio *software* levando em conta a potência instalada e a geração esperada pela usina fotovoltaica.

Gráfico 1 - Geração Corumbá em julho/2022

Na análise que ocorreu entre os dias 01 e 31 de agosto de 2022 (Gráfico 2), a usina gerou um total de 427,80 kWh. Tendo uma média de geração em torno de 14,233kWh, valor mínimo de 0,800 kWh e máximo de 19,700 kWh. Os valores encontrados foram menores que os do mês anterior, obtendo desempenho de 77,83%. Essa eficiência menor pode ser justificada pelo período de inverno, onde a quantidade de dias chuvosos é maior na região.

Gráfico 2 - Geração Corumbá em agosto/2022

Na análise que ocorreu entre os dias 01 e 30 de setembro de 2022 (Gráfico 03), a usina gerou um total de 466,60 kWh. Tendo uma média de geração em torno de 15,553 kWh, valor mínimo de 4,300 kWh e máximo de 21,800 kWh. Os valores aumentaram comparado aos meses anteriores, obtendo eficiência de 84,85%.

Gráfico 3 - Geração Corumbá em setembro/2022

3.2.4 CUSTOS DE INVESTIMENTO

Foi investido um total de R\$ 40.253,00 nesse sistema fotovoltaico.

3.2.5 ANÁLISE ECONÔMICA

O valor de R\$ 40.253,00 para 5,50 kWp apresenta uma relação de 7,13 R\$/W. De acordo com Moraes et al. (2022), o *payback* é calculado utilizando a seguinte equação:

$$\textit{Payback} = \frac{\textit{Investimento Inicial}}{\textit{Parcela anual}}$$

A média de energia gerada nos três meses analisados foi de 447,86 kWh, os quais são multiplicados pela tarifa 0,82 R\$/kWh Substituindo os valores da fórmula pelos dados obtidos e considerando que o consumo seja igual a produção, obtém-se:

$$\textit{Payback} = \frac{40.253,00}{(447,86 * 12) * 0,82} = 9,13 \textit{ anos} \simeq 109 \textit{ meses}$$

Calculando o tempo de *payback*, o retorno do investimento se daria em torno de 109 meses.

3.3 UNIDADE FOTOVOLTAICA DE NOVA ALVORADA DO SUL

3.3.1. COORDENADAS GEO-ESPACIAIS

O sistema fotovoltaico da usina de Nova Alvorada do Sul está localizado no bairro Centro na cidade de Nova Alvorada do Sul, em MS. O local pode ser encontrado através das coordenadas -21.458, -54.379.

3.3.2 CAPACIDADE INSTALADA

A usina tem capacidade instalada de 7,15 kWp.

3.3.3 DESEMPENHO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

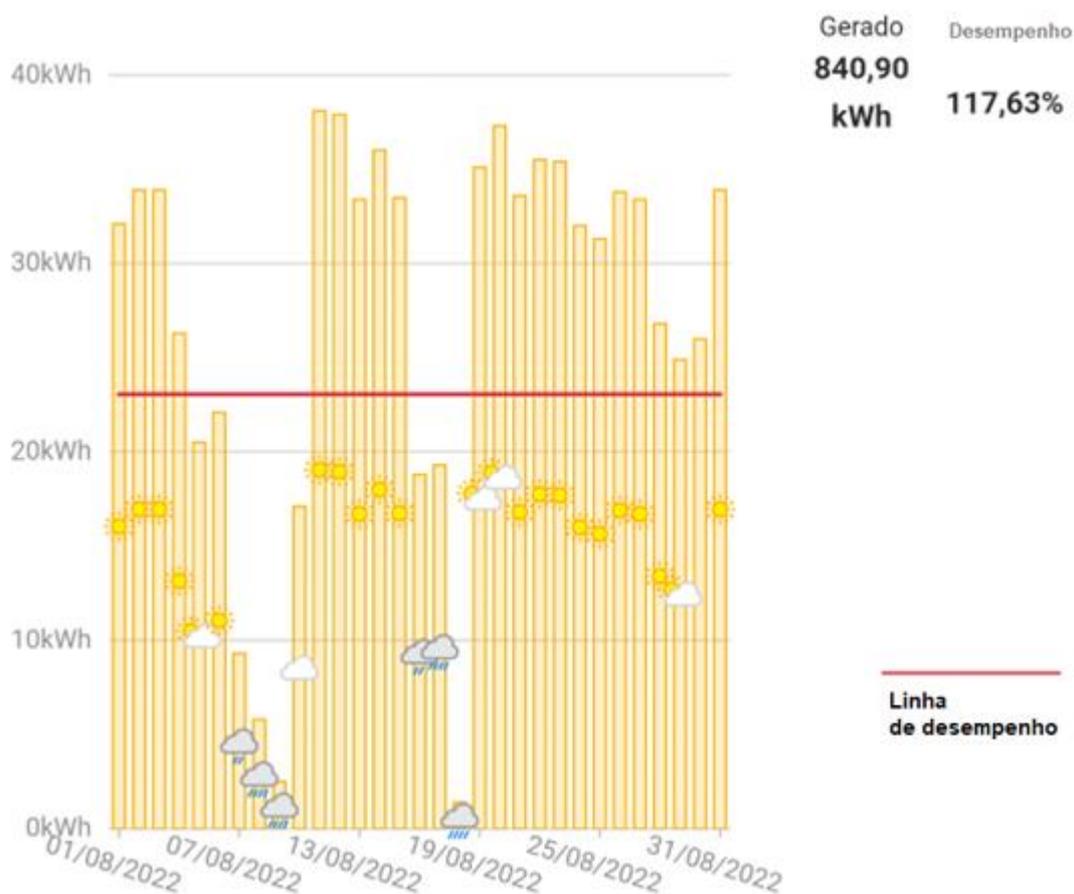
Na análise realizada entre os dias 13 e 31 de julho de 2022 (Gráfico 4), a usina gerou um total de 552,60 kWh. Tendo uma média de geração em torno de 29,084 kWh, valor mínimo de 11,100 kWh e máximo de 35,500 kWh. Obtendo um desempenho de 126,12%. É importante mencionar que a linha de desempenho é calculada pelo próprio *software* levando em conta a potência instalada e a geração esperada pela usina fotovoltaica.

Gráfico 4 - Geração Nova Alvorada em julho/2022



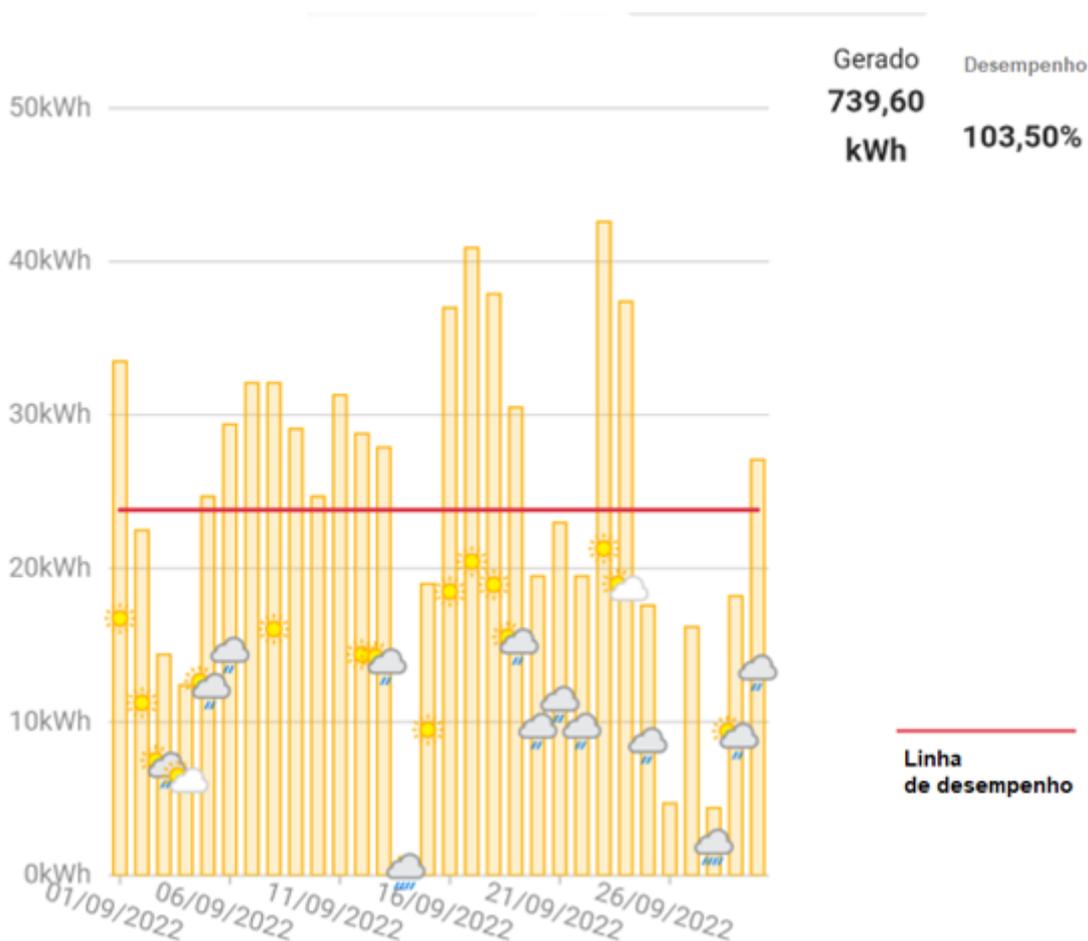
Na análise que ocorreu entre os dias 01 e 31 de agosto de 2022 (Gráfico 5), a usina gerou um total de 840,90 kWh. Tendo uma média de geração em torno de 27,126 kWh, valor mínimo de 1,400 kWh e máximo de 38,100 kWh. Os valores encontrados foram maiores do que os do mês anterior, obtendo desempenho de 117,63%.

Gráfico 5 - Geração Nova Alvorada em agosto/2022



Na análise que ocorreu entre os dias 01 e 30 de setembro de 2022 (Gráfico 6), a usina gerou um total de 739,60 kWh. Tendo uma média de geração em torno de 24,653 kWh, valor mínimo de 1,200 kWh e máximo de 42,600 kWh. Os valores aumentaram comparado ao mês de julho, mas diminuíram comparado a agosto, obtendo eficiência de 103,50%.

Gráfico 6 - Geração Nova Alvorada em setembro/2022



3.3.4 CUSTOS DE INVESTIMENTO

Foi investido um total de R\$ 32.072,00 nesse sistema fotovoltaico.

3.3.5 ANÁLISE ECONÔMICA

O valor de R\$ 32.072,00 para 7,15 kWp apresenta uma relação de 4,48 R\$/W. A média de energia gerada nos três meses analisados foi de 711,03 kWh. Substituindo os valores da fórmula pelos dados obtidos e considerando que o consumo seja igual a produção, obtém-se:

$$\text{Payback} = \frac{32.072,00}{(711,03 * 12) * 0,82} = 4,58 \text{ anos} \approx 55 \text{ meses}$$

Calculando o tempo de payback, o retorno do investimento se daria em torno de 55 meses.

3.4 UNIDADE FOTOVOLTAICA DE RIO BRILHANTE

3.4.1. COORDENADAS GEO-ESPACIAIS

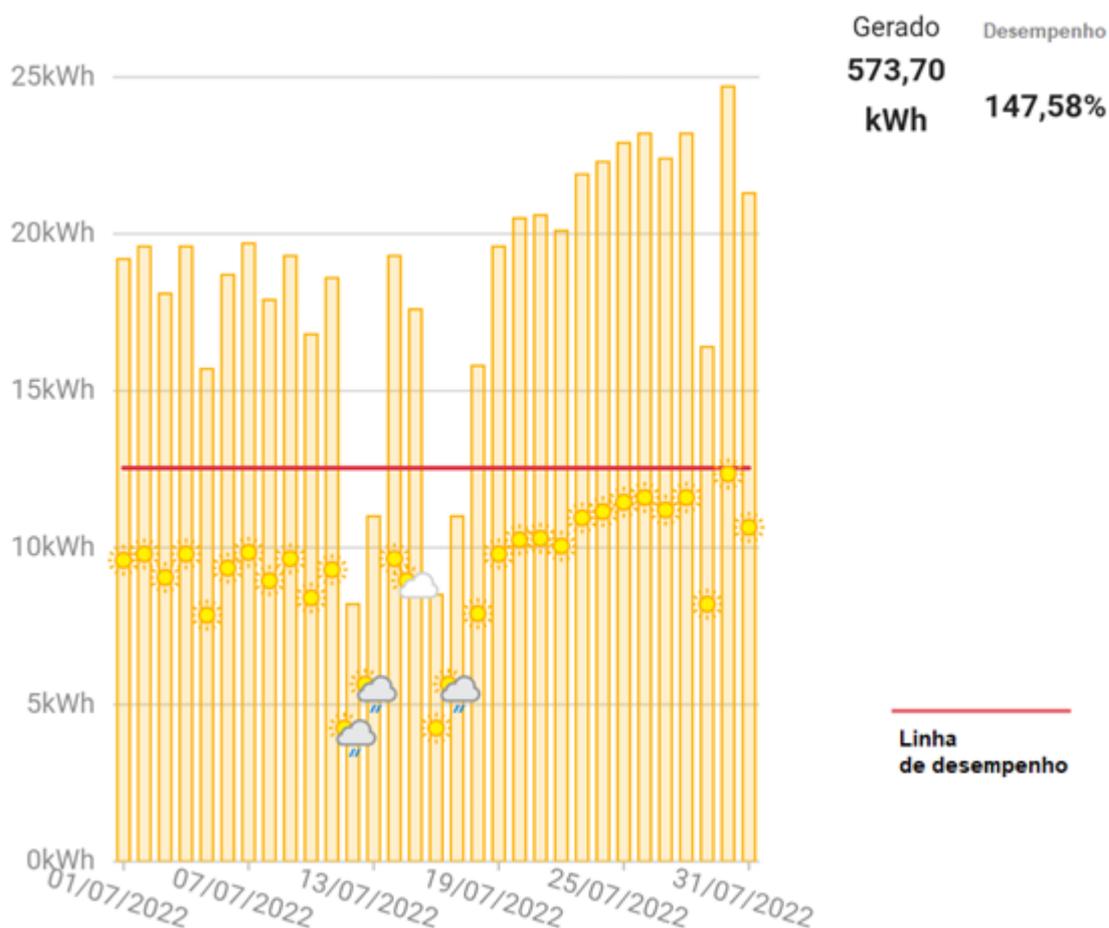
O sistema fotovoltaico de Rio Brilhante está localizado no bairro Centro na cidade de Rio Brilhante, em MS. O local pode ser encontrado através das coordenadas -21.808, -54.549.

3.4.2 CAPACIDADE INSTALADA

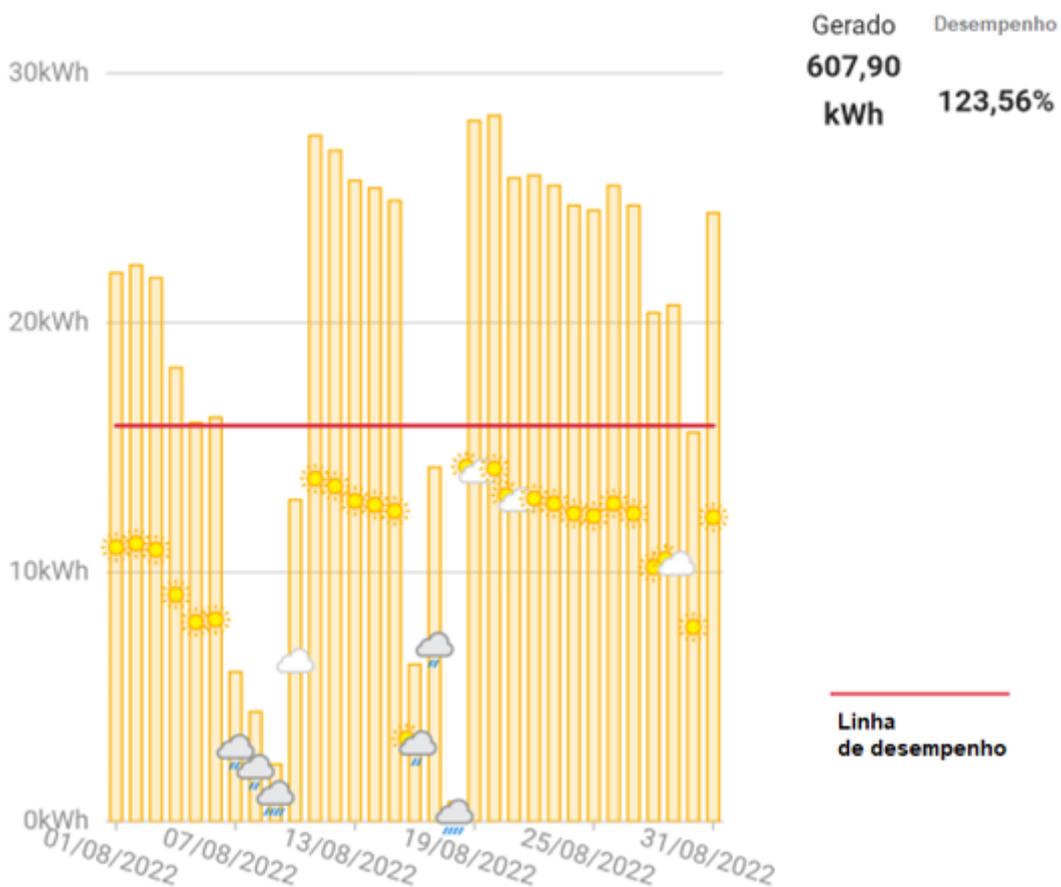
A usina tem capacidade instalada de 4,00 kWp.

3.4.3 DESEMPENHO DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

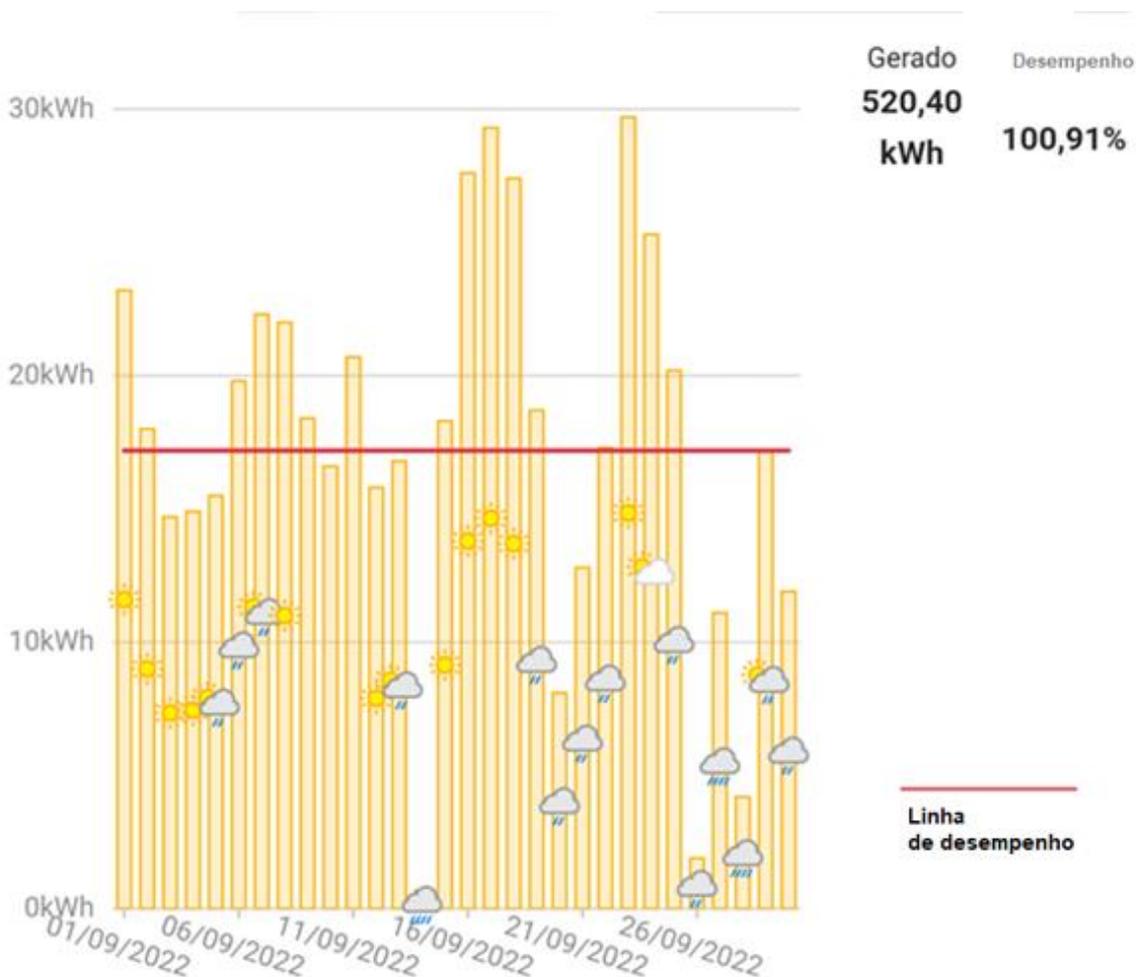
Na análise realizada entre os dias 01 e 31 de julho de 2022 (Gráfico 7) a usina gerou um total de 573,70 kWh. Tendo uma média de geração em torno de 18,506 kWh, valor mínimo de 8,200 kWh e máximo de 24,700 kWh. Obtendo um desempenho de 147,58%. É importante mencionar que a linha de desempenho é calculada pelo próprio *software* levando em conta a potência instalada e a geração esperada pela usina fotovoltaica.

Gráfico 7- Geração Rio Brilhante em julho/2022

Na análise que ocorreu entre os dias 01 e 31 de agosto de 2022 (Gráfico 8), a usina gerou um total de 607,90 kWh. Tendo uma média de geração em torno de 20,237 kWh, valor mínimo de 0,800 kWh e máximo de 28,300 kWh. Os valores encontrados foram maiores do que os do mês anterior, obtendo desempenho de 123,56%.

Gráfico 8- Geração Rio Brilhante em agosto/2022

Na análise que ocorreu entre os dias 01 e 30 de setembro de 2022 (Gráfico 9), a usina gerou um total de 520,40 kWh. Tendo uma média de geração em torno de 17,921 kWh, valor mínimo de 0,700 kWh e máximo de 29,700 kWh. Os valores diminuíram em relação aos meses anteriores, obtendo eficiência de 100,91%.

Gráfico 9 - Geração Rio Brilhante em setembro/2022

3.4.4 CUSTOS DE INVESTIMENTO

Foi investido um total de R\$ 24.081,37 nesse sistema fotovoltaico.

3.4.5 ANÁLISE ECONÔMICA

O valor de R\$ 24.081,37 para 4,00 kWp apresenta uma relação de 6,02 R\$/W. A média de energia gerada nos três meses analisados foi de 567,33 kWh. Substituindo os valores da fórmula pelos dados obtidos e considerando que o consumo seja igual a produção, obtém-se:

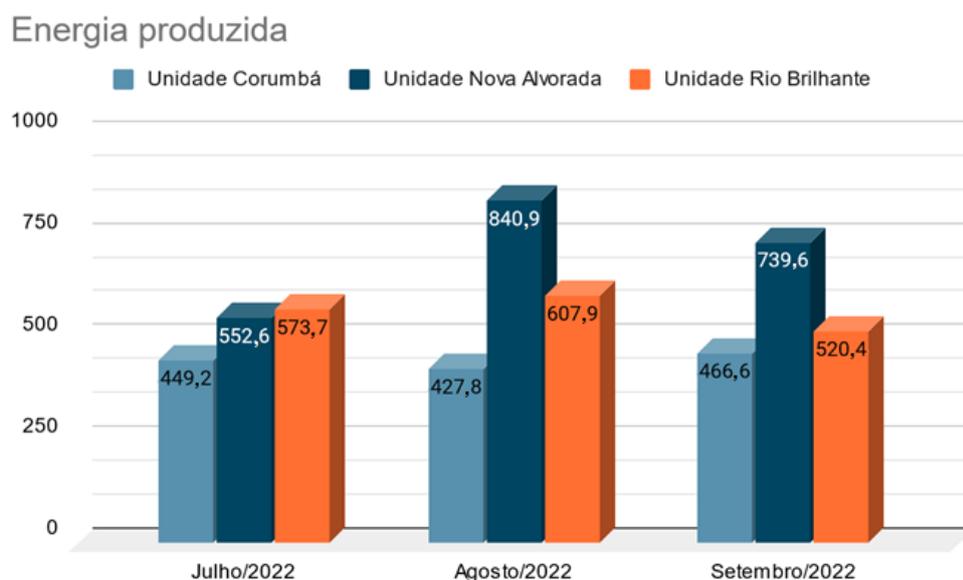
$$\text{Payback} = \frac{24.081,37}{(567,33 * 12) * 0,82} = 4,31 \text{ anos} \simeq 52 \text{ meses}$$

Calculando o tempo de payback, o retorno do investimento se daria em torno de 52 meses.

3.5 COMPARAÇÃO ENTRE AS UNIDADES FOTOVOLTAICAS

Ao comparar a produção dos três sistemas fotovoltaicos (Gráfico 10), pode ser visto que a Unidade de Nova Alvorada produziu mais energia que as outras no mesmo período analisado.

Gráfico 10 - Comparação de produção de energia

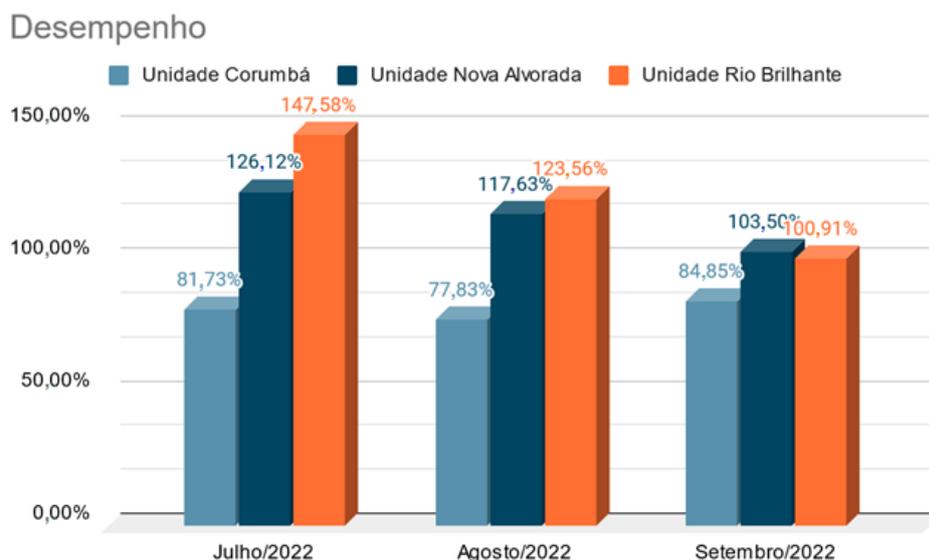


O desempenho de um sistema fotovoltaico depende da radiação solar incidente no nível do módulo, da temperatura de operação do módulo, da curva de potência do inversor e das perdas do sistema registradas na fiação e conexões, perdas devido à incompatibilidade de parâmetros do módulo, envelhecimento, etc. Analisar o ângulo de orientação de um painel solar em um projeto também é importante, mas sem usar

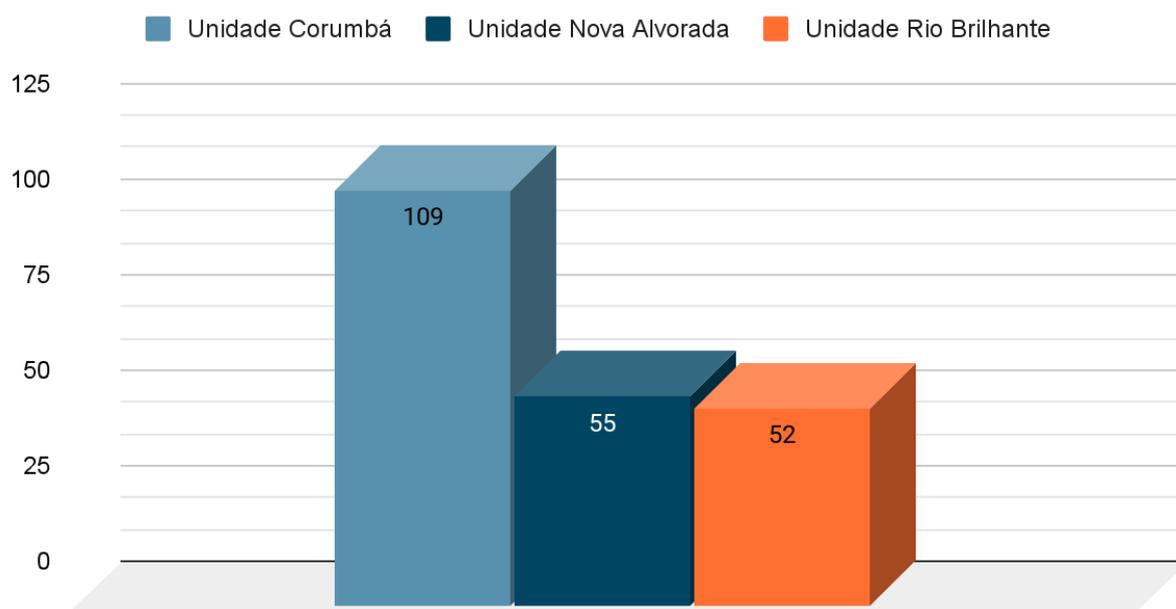
simulações horárias ao longo do ano, resultados significativos não podem ser obtidos sobre o verdadeiro impacto do ângulo no desempenho geral do painel.

Ao avaliar o desempenho (Gráfico 11), a Unidade de Rio Brilhante apresentou maior estabilidade nos valores e na média do que as outras.

Gráfico 11 - Comparação de desempenho



Ao avaliar as unidades economicamente (Gráfico 12), foi visto que a Unidade Rio Brilhante tem o *payback* mais atrativo com um período de retorno do capital investido de 52 meses.

Gráfico 12 - Comparação de payback**Payback (em meses)**

Um resumo dos dados encontrados pode ser visto na Tabela 1:

Tabela 1 - Resumo dos dados encontrados

Parâmetro\SFV	CORUMBÁ	NOVA ALVORADA	RIO BRILHANTE
Capacidade Instalada (kWp)	5,5	7,15	4,00
Produção de Energia Elétrica Média (kWh/mês)	447,83	711,03	567,33
Investimento (R\$)	40.253,00	32.072,00	24.081,37
Custo Evitado (R\$/ano)	4.406,65	6.996,53	5.582,53
Payback (meses)	109	55	52

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Hoje, novas formas de uso de energia de fontes renováveis estão surgindo cada vez mais, impulsionando a disseminação de sistemas tanto no nível residencial quanto no nível comercial centralizado. Um desses novos conceitos de produção é o autoconsumo, onde a energia produzida pelo produtor é consumida com ou sem armazenamento do excedente. O excedente pode ser vendido à rede, mas esse não é o objetivo principal desse tipo de sistema. Neste tipo de sistema, é mais vantajoso consumir energia quando a energia solar está altamente disponível.

Este trabalho comparou três sistemas fotovoltaicos localizados em Mato Grosso do Sul. Conclui-se que tal análise de desempenho é essencial para o entendimento da produção do sistema em condições reais de instalação. A análise mostrou como o aproveitamento das condições climáticas é determinante para que aumente o potencial de energia fotovoltaica produzida internamente. Ao analisar as três usinas escolhidas, a de Nova Alvorada apresentou melhores resultados na quantidade de energia produzida, e a Unidade de Rio Brillhante apresentou *payback* mais curto comparado às outras.

Apesar da Unidade de Rio Brillhante apresentar o *payback* em menor tempo, os resultados obtidos mostram que a unidade de Nova Alvorada apresentou melhores resultados no geral, como médio de produção energética mensal e custo evitado anual. A unidade de Corumbá apresentou as menores médias no valor do investimento, na produção mensal energética e no tempo de *payback*.

A geração de energia por sistemas fotovoltaicos pode ser combinada com outro gerador de energia elétrica, como um gerador de energia elétrica, movido a óleo diesel, vento, biogás, etc. para formar um sistema híbrido de geração de energia. Ao comparar os resultados obtidos neste estudo com outras formas de geração e armazenamento de energia híbrida, sugestões alternativas para pesquisas futuras podem ser feitas.

REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional De Energia Elétrica. **Nota Técnica nº 0056/2017-SRD/ANEEL.**; ANEEL. 2018.; Disponível em:

<http://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/Nota+T%C3%A9cnica_0056_PROJE%C3%87%C3%95ES+GD+2017/38cad9ae-71f6-8788-0429-d097409a0ba>. Acesso em 19 out. 2022.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Unidades Consumidoras com Geração Distribuída: Informações compiladas e mapas.** 2019.

Disponível em

<<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiZiM4NjM0OWYtN2IwZS00YjViLTlIIMjItN2E5MzBkN2ZiMzVkIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>>. Acesso em 20 out. 2022.

ANEEL, Brasil. **Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída - Resolução Normativa no 482/2012. Relatório de Análise de Impacto Regulatório no 0004/2018.** Aneel, p. 60, 2018. Disponível em:

<<https://www.aneel.gov.br/consultas-publicas-antigas>>. Acesso em: 22 out. 2022.

ANDRADE, Diogo Luiz Oliveira de. **A Implantação de Usinas Fotovoltaicas nas Organizações Militares, nível Batalhão, do Exército Brasileiro: instalação, manutenção, eficiência energética, autonomia energética e venda do excedente.** 2020.

ARAUJO, Nadine Demacena de; ZANESCO, Izete; FUENTES, Ramón Alejandro Lagos; MOEHLECKE, Adriano; GARCIA, Sérgio Boscato; ARAUJO, Guilherme Pereira; Evolução e análise de sistemas fotovoltaicos no Brasil e Chile. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS 2018.** 2018.

BEN. **Balanco Energético Nacional - EPE [Empresa de Pesquisa Energética], Ministério de Minas e Energia. 2022: Ano base 2021.** Disponível em:

<<https://ben.epe.gov.br>>. Acesso em 06 de outubro de 2022.

BUZANELLO, José Carlos. **A evolução da energia solar fotovoltaica no Brasil.** 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Administração Pública) – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, UNIRIO. Rio de Janeiro, 2020.

CALDAS, Geraldo Pereira. **Concessões de Serviços Públicos de Energia Elétrica: em face da Constituição Federal de 1988 e o interesse público.** São Paulo: Juruá Editora. 2ª Edição. 3ª reimpressão: 2011.

CAMPOS, Luiz Cláudio Rego; MACEDO, Alessandra de Souza de; LOPES, Diego Meireles. SISTEMAS DE REDES SUBTERRÂNEAS DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, v. 5, n. 2, p. 151-169, 2019.

CEOLIN, Eriton Steindorff. **Modelo para resolução de conflitos sobre a geração distribuída de energia solar**. MS thesis. Universidade Federal de Pernambuco, 2021.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CRESEB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, RJ: Especial 2014.

CHAVES, Alaor S. Tecnologias de eletricidade limpa podem resolver a crise climática. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 43, 2021.

DOLLA, R. et al. **Estimativa da produção energética e de desempenho de um sistema fotovoltaico integrado ao anteprojeto do aeroporto internacional de Florianópolis**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. Anais... Gramado: CBENS, 2018. p. 1 - 8.

GOETZE, F., **Projeto de Microgeração Fotovoltaica Residencial: Estudo de Caso**. Monografia (Graduação). UFRGS. Porto Alegre. 2017., páginas 25, 47 e 48.

GUERRA, Fábio Fernando; LIMA, Welber Carlos de. **ASPECTOS JURÍDICOS DE FOMENTO AOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL**. 2021. xi, 37P, 297 mm (FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA, Bacharel, Engenharia Civil, 2021).

GUIMARÃES, WARLEY TEIXEIRA; NARIMATU, BEATRICE RYIE SHIMOURA; CRIBARI, Felipe Alvim. **AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COMERCIAL DE 14, 56 KWP NO MUNICÍPIO DE SERRA**. In: **VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS 2018**. 2018

LEMOS, Eliardo Vinicius Bezerra; **Estudo de caso de projeto de instalação de painéis fotovoltaicos**. 2022. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.

LIMA, Juliana Luíza Barroso. **Energia fotovoltaica como alternativa energética viável**. 2014. 48 f. Projeto de Graduação (Curso de Engenharia de Materiais) - Escola Politécnica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.

LIMA, Rodolpho Fernandes dos Santos Estudante IC; ABDALA, Livia Colaborador. **ASPECTOS DAS EXTERNALIDADES ADVINDAS DA ALTERNATIVA FOTOVOLTAICA**. 2013. 3 f. II Congresso Estadual de Iniciação Científica do IF Goiano - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Urutaí - GO. 2013.

MENDES, Inês dos Santos. **Avaliação do desempenho do sistema de minigeração fotovoltaico na Faculdade de Ciências**. 2016. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2016.

MORAES, Gabriel Engelberg de et al. **Viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico em um hospital veterinário de Dourados**. 2022.48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Energia) – Universidade Federal da Grande Dourados, UFGD, Dourados. 2022.

OLIVEIRA, Andressa Lopes. **Estudo teórico sobre o desenvolvimento de tecnologias de resfriamento para módulos fotovoltaicos**. 2022. 36 f.: il. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2022.

PASSATUTO, Luiz Arthur Tarralo et al. **Análise das Propostas de Mudança nas Regras da Geração Distribuída no Brasil**. 2020. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

PEREIRA, Naron Xavier. **Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil: geração distribuída vs geração centralizada**. a. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Sorocaba. 2019.

SANTOS, Bruna Akemi Ogawa Alves dos; MONTENEGRO, Rebeca; SOUSA, Ellen Campos. **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA NA GERAÇÃO DISTRIBUIDA DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE CÉLULAS FOTOVOLTÁICAS: UM ESTUDO COMPARATIVO COM O ADVENTO DA RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012**. 2012.

SILVA, Bárbara Elis Pereira; YANO, Henrique Inácio; VIEIRA, José Geraldo Vidal; CASTRO, Alexandre de; SILVA, Fábio César da; A tecnologia Blockchain como gerenciadora do excedente de energia fotovoltaica. In: **Embrapa Agricultura Digital-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 41., 2021, Foz do Iguaçu. Contribuições da engenharia de produção para a gestão de operações energéticas sustentáveis: anais. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2021.

SILVA, Juliano Sensolo da; CAIXETA, Geraldo Peres. **Sistemas de Comunicação via Rede de Energia Elétrica—uma Solução para a Inclusão Digital no Brasil?** Campinas, 2006. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Campinas, 2006.

SILVA, Gardenio Diogo Pimentel da; SOUZA, Marcelo José Raiol. Análise de variáveis de projeto de sistema solar fotovoltaico utilizando o modelo sam: uma comparação entre Belém, Fortaleza e Brasília. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 5, n. 2, p. 297-312, 2016.

SOETHE, Ghabriel Campigotto; BLANCHET, Luiz Alberto. Geração distribuída e desenvolvimento sustentável. **A&C-Revista de Direito Administrativo & Constitucional**, v. 20, n. 79, p. 233-257, 2020.

SOUZA, Amaury de; ARISTONE, Flavio. Um estudo da temperatura e da irradiação solar em células fotovoltaicas. **Tecnológica**, v. 22, n. 2, p. 194-200, 2018.

SOUZA, Victória Letícia Oliveira de; ANDRADE, Humberto Dionísio de; BARRETO, Edwin Luize Ferreira. **Crescimento da geração de energia fotovoltaica na região nordeste do Brasil**. 2020 11f Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA.

TAYLOR, M. **Wind, Solar: continuing cost declines will help meet rising renewables targets**. 2021. Disponível em: <<https://energypost.eu/wind-solar-continuing-cost-declines-will-help-meet-rising-renewables-targets/>>. Acesso em: 20 out. 2022.

TOLEDO, Lucian Machado; DUTRA, Artur Bozza; ZANESCO, Izete; MOEHLECKE, Adriano. ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO MERCADO DA TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA EM PROPRIEDADES RURAIS NO BRASIL. In: **Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2022.

WATANABE, Júlio da Cruz Silva; JÚNIOR, Varley Francisco Eliziário; FAESARELLA, Annete. **SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA, ANÁLISE E PROJETO AUXILIADO PELO SOFTWARE PVSyst**. 2021. 17 f. Projeto de Graduação (Curso de Engenharia de Materiais) - Universidade São Francisco – Câmpus Itatiba.