

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRARIAS**

**DIMENSIONAMENTO E INSTALAÇÃO DE SISTEMA
FOTOVOLTAICO ON-GRID NA PROPRIEDADE RURAL
SANTA LUZIA**

**GUSTAVO PLEUTIN CASTRO
TAINÁ RIBEIRO RODRIGUES PLEUTIN**

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL**

2023

**DIMENSIONAMENTO E INSTALAÇÃO DE SISTEMA
FOTOVOLTAICO ON-GRID NA PROPRIEDADE RURAL
SANTA LUZIA**

Gustavo Pleutin Castro
Tainá Ribeiro Rodrigues Pleutin

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Leidy Zulys Leyva Rafull

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Agrícola.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

P726d Pleutin, Taina Ribeiro Rodrigues
Dimensionamento e instalação de sistema fotovoltaico on-grid na propriedade rural santa luzia
[recurso eletrônico] / Taina Ribeiro Rodrigues Pleutin, Gustavo Pleutin Castro. -- 2023.
Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Leidy Zulys Leyva Rafull.
TCC (Graduação em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Energia solar. 2. Sistema conectado à rede. 3. Energia renovável. I. Castro, Gustavo Pleutin .
II. Rafull, Leidy Zulys Leyva. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

**DIMENSIONAMENTO E INSTALAÇÃO DE SISTEMA
FOTOVOLTAICO ON-GRID NA PROPRIEDADE RURAL
SANTA LUZIA**

Por

Gustavo Pleutin Castro
Tainá Ribeiro Rodrigues Pleutin

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos para
obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÍCOLA

Aprovado em: 8 de setembro de 2023.

Prof.^a Dr.^a. Leidy Zulys Leyva Rafull
Orientadora – UFGD/FCA

Prof. Dr. Orlando Moreira Junior
Membro da banca – UFGD/FAEN

Prof. Dr. Roberto Carlos Orlando
Membro da banca – UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus pois sem Ele não chegaríamos até aqui, Ele nos sustentou sempre e nos deu força para não desistirmos, nos apegamos desde o início no versículo da bíblia que diz 'Aquele quem começou boa obra é fiel para cumprir' Filipenses 1:6 e aqui estamos sendo prova e testemunho de Deus.

Agradecemos aos nossos pais que sempre estenderam a mão e nos ajudaram durante a nossa caminhada. Aos nossos irmãos por ficarem sempre na torcida. A nossa filha amada Maria Helena Rodrigues Pleutin, foi por ela e para sempre será, o fato de estarmos dia após dia tentando ser melhores e correr atrás dos nossos sonhos para que ela possa se espelhar, sempre sendo exemplos na vida dela. Aos nossos avós que são anjos em nossas vidas e por serem exemplos que seguimos.

Agradecemos imensamente a nossa querida orientadora Leidy Zulys Leyva Ráfull, por estar sempre ao nosso lado fazendo a melhor orientação.

Agradecemos a empresa EEGRAR Tecnologia em Energia, por disponibilizar sua marca no mercado da energia solar e todos seus colaboradores para a execução deste trabalho.

Ao Sr Adão Pleutin, proprietário da chácara onde foi instalado o sistema, por disponibilizar o seu tempo e abraçar a nossa ideia para que tudo se concretizasse.

A todos os nossos amigos e familiares o nosso muito obrigada pois vocês fazem parte deste trabalho.

CASTRO, Gustavo Pleutin e PLEUTIN, Tainá Ribeiro Rodrigues. **Dimensionamento e instalação de sistema fotovoltaico on-grid na propriedade rural Santa Luzia**. 2023. 44f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2020.

RESUMO

Fonte de energia gratuita e abundante, o sol rege todas as atividades biológicas do planeta e pode ser utilizado para a geração de energia elétrica. Com o avanço da tecnologia, a descoberta dos materiais semicondutores e o desenvolvimento das células fotovoltaicas, um leque de possibilidades se abriu, possibilitando o crescimento e a expansão de investimentos e estudos focados na geração e armazenamento de energia elétrica a partir de fontes solares. Atualmente o mercado de energia solar está em pleno desenvolvimento, devido a diminuição dos custos dos equipamentos e ao período de retorno do investimento, isso se deve à possibilidade de instalação dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, que permitem a geração de créditos de energia junto a concessionária. Buscando reduzir os custos mensais de energia elétrica e alcançar a autossuficiência da propriedade rural, este Trabalho de Conclusão de Curso analisou a implantação de um sistema de energia solar fotovoltaica on-grid na propriedade rural Santa Luzia, Bela Vista-MS, com consumo médio mensal de 395,83 kWh e consumo diário de 13,29 kWh/dia. Foi feito o dimensionamento para atender o e a demanda de potência de 3.498 W utilizando 12 módulos fotovoltaicos de 330Wp. A geração média estimada mensal foi de 450 kWh. Foi protocolado o processo de homologação na concessionária Energisa e desenvolvido o projeto elétrico. Foi feita a instalação e ligação do sistema fotovoltaico, troca do relógio bidirecional e liberação da geração. O sistema atendeu a demanda da propriedade e as expectativas do proprietário nos 24 meses após a instalação sendo viável pois o sistema no seu 3^o ano já vai se pagar. Analisando as contas dos últimos 2 meses, foi observado que houve um aumento de consumo e diminuição do saldo de créditos, recomendando-se a análise para a ampliação desse sistema. Não foi possível acompanhar a geração mensal do sistema, por falta de conectividade na propriedade rural. O custo total do projeto foi R\$ 16.000.

Palavras-chave: Energia solar. Sistema conectado à rede. Energia renovável.

ABSTRACT

A source of free and abundant energy, the sun governs all biological activities on the planet and can be used to generate electrical energy. With the advancement of technology, the discovery of semiconductor materials and the development of photovoltaic cells, a range of possibilities has opened up, enabling the growth and expansion of investments and studies focused on the generation and storage of electrical energy from solar sources. Currently, the solar energy market is in full development, due to the reduction in equipment costs and the return on investment period, this is due to the possibility of installing photovoltaic systems connected to the grid, which allow the generation of energy credits with concessionaire. Seeking to reduce monthly electricity costs and achieve self-sufficiency on the rural property, this Course Completion Work analyzed the implementation of an on-grid photovoltaic solar energy system on the rural property Santa Luzia, Bela Vista-MS, with average monthly consumption of 395.83 kWh and daily consumption of 13.29 kWh/day. Sizing was done to meet the power demand of 3,498 W using 12 330Wp photovoltaic modules. The estimated average monthly generation was 450 kWh. The approval process was filed with the Energisa concessionaire, and the electrical project was developed. The photovoltaic system was installed and connected, the bidirectional clock was changed and generation was released. The system met the property's demand and the owner's expectations in the 24 months after installation, being viable as the system in its 3rd year will already pay for itself. Analyzing the accounts for the last 2 months, it was observed that there was an increase in consumption and a decrease in the credit balance, recommending analysis to expand this system. It was not possible to monitor the monthly generation of the system, due to a lack of connectivity on the rural property. The total cost of the project was R\$16,000.

Keywords: Solar energy. Grid-connected system. Renewable energy.

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Fontes de Energias Renováveis	3
2.2 Energia Solar	6
2.3 Geração Distribuída	12
2.4 Energia Solar Fotovoltaica	13
2.5 Arcabouço Legal da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil	18
3 DESCRIÇÃO DO ASSUNTO	22
3.1 Local e caracterização solarimétrica	22
3.2 Levantamento da média de consumo	25
3.3 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico	26
3.4 Análise Financeira	30
3.5 Execução do projeto e instalação do sistema	34
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica, na atualidade, se tornou fundamental para a execução de basicamente todas as tarefas diárias, em todos os setores da sociedade. A eletricidade é necessária para iluminação, conforto térmico, meios de comunicação, acionamento de máquinas, alimentação, aquisição de conhecimentos etc. Por isso, investe-se muito em formas de geração de energia renováveis, que não agredem o meio ambiente, conseguindo, assim, satisfazer as necessidades da sociedade consciente e moderna.

Uma das alternativas energéticas possíveis é a geração de energia elétrica a partir da radiação solar. O sol é uma fonte de energia renovável, perene, silenciosa, gratuita e não poluente, e seu uso atende o objetivo 7 da agenda das Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável: "Garantir acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos" (IPEA, 2023).

A geração de energia elétrica com o sol como fonte de energia pode ser realizada com a utilização de células fotovoltaicas, onde o principal componente é o silício, elemento abundante no planeta. O problema de se utilizar as células fotovoltaicas é o alto custo de fabricação (MATAVELLI, 2013).

Segundo o último Balanço Energético Nacional publicado, a geração solar fotovoltaica no Brasil foi responsável por 17.378 GWh da geração elétrica nacional. Mesmo representando 4,4% da capacidade de geração nacional de eletricidade instalada, esse valor representa um incremento de 79,8% em relação à geração do ano anterior (EPE, 2023).

O sistema elétrico utilizado no mundo é caracterizado pela geração centralizada transmissão, distribuição e consumo. Entretanto, atualmente, pode-se verificar a rápida expansão da geração distribuída para atender a geração e consumo de eletricidade. Ao se realizar a análise da micro e minigeração distribuída (MMGD) no Brasil, a energia solar fotovoltaica foi a principal fonte responsável pelo aumento registrado no ano de 2022, representando 94,3% desse aumento (EPE, 2023).

Nos últimos anos o agronegócio brasileiro tem assumido uma posição de destaque no âmbito econômico. O PIB do setor atingiu sucessivos recordes em 2020 e 2021, entretanto ele caiu 4,22% em 2022. Mesmo com essa queda, resultado do recrudescimento dos custos com insumos, o setor teve uma participação de 24,8% no PIB da economia brasileira (CEPEA, 2023).

A propriedade rural, como núcleo primordial do desenvolvimento do agronegócio brasileiro não pode ficar de fora, quando se fala de renovabilidade no fornecimento de energia elétrica limpa e geração distribuída. Nesse sentido a implantação de sistemas fotovoltaicos traz benefícios para o produtor rural destacando-se a de produzir a própria eletricidade sem a produção de emissões poluentes e ter uma redução muito grande na conta de energia elétrica.

Segundo EPE (2023a) O número de consumidores por classe de consumo avaliados em dezembro de 2022 a área rural teve um percentual de 4,7%, mantendo-se próximo à média de concentração dos últimos dez anos e com um consumo de 5,9%.

Na propriedade rural, a energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico, além de acionar aparelhos eletrônicos domésticos, também pode ser utilizada para refrigeração, bombeamento de água, acionamento de máquinas, cercas de choque, sistemas de irrigação etc. Desde 2012 foi legalizado que quando a energia gerada em determinado mês é superior à quantidade utilizada para abater a energia consumida naquele período, o consumidor fica com excedente de energia que pode ser distribuído no mesmo mês a outras unidades consumidoras, a depender da modalidade de participação no Sistema de Compensação de Energia Elétrica, ou transformado em crédito para compensação do consumo dos meses seguintes. De acordo com as regras, o prazo de validade dos créditos é de 60 meses, que podem ser aproveitados na própria unidade geradora ou compartilhados com outras unidades consumidoras, desde que estejam sob a responsabilidade do mesmo consumidor gerador (ANEEL, 2023).

Diante do panorama energético apresentado e as vantagens conhecidas da utilização da energia solar fotovoltaica, foi dimensionado e instalado um sistema on-grid, em uma pequena propriedade rural do município de Bela Vista-MS.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fontes de Energias Renováveis

O acesso à energia é fundamental para o desenvolvimento das sociedades, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida do homem em suas atividades domésticas, agropecuárias, agroindustriais ou industriais. No entanto, a maior parte da energia usada no mundo provém de combustíveis fósseis como o carvão, gás natural ou petróleo, cujas reservas têm se limitado com o passar dos anos (NASCIMENTO, 2015).

A Agência Internacional de Energia, publicou em 2022, que 71,1% de toda a eletricidade produzida no mundo, foi utilizando fontes não renováveis como petróleo e derivados, gás natural, carvão mineral e minérios radiativos (IEA, 2023). A mesma agência diz que 52,6% da matriz energética brasileira responde a esse tipo de fontes. Como essas fontes contribuem de forma acentuada para o incremento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, além de outros impactos ambientais e devido ao constante aumento na demanda energética global, aliado aos problemas resultantes da exploração do petróleo, houve a necessidade da busca por fontes alternativas de energia, em especial fontes renováveis a um custo viável e de baixo impacto ambiental (VARGAS, 2017).

A busca por novas fontes alternativas de energia está cada vez mais presente na atualidade, uma vez que as tecnologias convencionais de energia que utilizam os combustíveis fósseis causam comprovados impactos negativos socioambientais ao liberarem Gases de Efeito Estufa (GEE) na Terra e, por consequência, contribuem para o aquecimento global e para as mudanças climáticas (ALVES, 2019).

Costa e Prates (2005) afirmam que energia renovável é uma expressão usada para descrever uma ampla gama de fontes de energia que são disponibilizadas na natureza de forma cíclica essas fontes podem ser utilizadas para produzir eletricidade, calor ou para produzir biocombustíveis. Desta forma, são consideradas como fontes renováveis a hidráulica, eólica, solar, biomassa, sendo uma de suas principais características a menor emissão de GEE.

Tradener (2023) define a energia renovável como uma forma de geração de energia que utiliza recursos naturais que são naturalmente reabastecidos, como luz solar, vento, água e biomassa. Ao contrário dos combustíveis fósseis, como carvão e petróleo, que são finitos e causam danos significativos ao meio ambiente, as fontes renováveis de energia são sustentáveis e limpas. Entre os benefícios do seu uso está o ser ambientalmente amigável, abundante e inesgotável, gera empregos, garante independência energética, apresenta menores custos a longo prazo.

O Brasil é um país que possui uma das maiores matrizes energéticas renováveis do mundo, com 47,4% de sua produção vinda de fontes renováveis, como etanol, biomassa, recursos hídricos, fotovoltaicos dentre outras (EPE, 2023).

Historicamente as fontes renováveis marcaram presença na matriz energética brasileira. Como mostrado na Figura 1, entre 1970 e próximo de 2000 as fontes renováveis eram predominantes no cenário energético nacional. A partir da década de 2000 essa situação mudou e mesmo com a participação constante das fontes renováveis, as fontes não renováveis tomaram o lugar de destaque, impulsionados pelo consumo de combustíveis nas indústrias e transportes (BEN INTERATIVO, 2023).

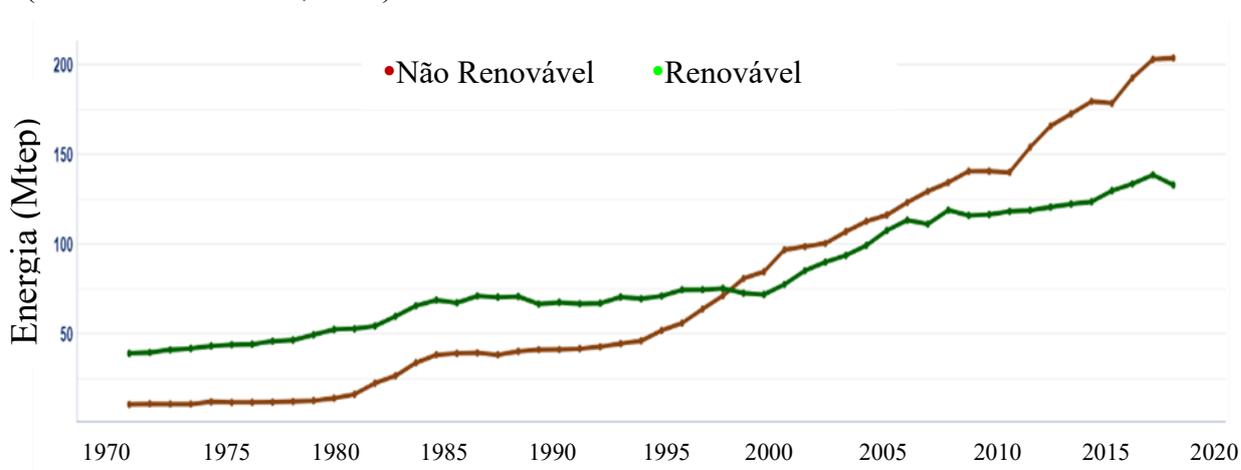


Figura 1. Produção de Energia Primária

Fonte: BEN INTERATIVO, 2023

COSTA e PRATES (2005) afirmam que os custos de investimento das fontes renováveis são em geral, mais elevados do que os das tecnologias convencionais e que por isso necessitam obrigatoriamente de recursos públicos seja para pesquisa e desenvolvimento ou para subsidiar custos iniciais de produção. No período de 1974 a 98 foram investidos somente 10% dos recursos públicos em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, em 23 países membros da Agência Internacional de Energia, sendo alocados proporcionalmente mais recursos em biomassa e painéis fotovoltaicos.

Entre as principais barreiras para penetração das fontes renováveis estão os problemas de motivação política, de cunho legal, financeiro, fiscal, de capacitação tecnológica e de informação, educação e treinamento, a falta de motivação política para apoiar novas ideias no campo energético é um dos pontos que podem bloquear o desenvolvimento das renováveis (COSTA E PRATES, 2005).

Esses autores ainda afirmam, que a falta de financiamentos de longo prazo apropriados é um outro ponto de entrave apontado. A aversão dos financiadores ao risco é grande, pois as energias renováveis apresentam alto custo de produção, o mercado ainda não está bem consolidado, a tecnologia muitas vezes não está difundida e a escala de produção é reduzida. Por esses motivos, torna-se importante superar algumas barreiras políticas e legais, de forma que o financiador se sinta mais confortável em apoiar as fontes renováveis de energia. As tecnologias renováveis sofrem competição distorcida das tecnologias convencionais em termos de preços dos usos finais, há várias formas de corrigir essas distorções. Alguns países já impuseram taxas sobre o consumo de energia não renováveis ou taxas sobre emissões de carbono e outros poluentes. Outros preferiram isentar ou reduzir as taxas sobre os renováveis.

Concordando com Costa e Prates (2005) são muitos os obstáculos nas etapas de pesquisa, desenvolvimento e demonstração das tecnologias renováveis. Para se chegar à fase de plena comercialização da nova tecnologia, é necessário que o aparato industrial esteja preparado para dar suporte e esteja em consonância com os objetivos traçados pelo governo para fontes renováveis, a falta de conhecimento e confiança no potencial e nas possibilidades de desenvolvimento das renováveis é também um dos obstáculos fundamentais.

Segundo a Agência Internacional de Energia, cerca de US\$ 2,8 trilhões devem ser investidos globalmente em energia em 2023, dos quais mais de US\$ 1,7 trilhão devem ser destinados a tecnologias limpas, incluindo renováveis, veículos elétricos, energia nuclear, redes, armazenamento, combustíveis de baixa emissão, melhorias de eficiência e bombas de calor. O restante, pouco mais de US\$ 1 trilhão, vai ser destinado para carvão, gás e petróleo. Espera-se que o investimento anual em energia limpa aumente 24% entre 2021 e 2023, impulsionado por energias renováveis e veículos elétricos, em comparação com um aumento de 15% no investimento em combustíveis fósseis no mesmo período. Mas mais de 90% desse aumento vem de economias avançadas e da China, apresentando um sério risco de novas linhas divisórias na energia global se as transições de energia limpa não forem retomadas em outros países (IEA, 2023).

Segundo a mesma agência, são as economias emergentes e em desenvolvimento as que menos investem em energia limpa. Nesse sentido se destacam investimentos em energia solar na Índia e em renováveis no Brasil e em partes do Oriente Médio. No entanto, o investimento em muitos países está sendo limitado por fatores como taxas de juros mais altas, estruturas políticas e projetos de mercado pouco claros, infraestrutura de rede fraca, serviços públicos com problemas financeiros e alto custo de capital. O apelo da agência é para que a

comunidade internacional investiu mais para impulsionar economias de baixa renda, onde o setor privado tem relutado em se aventurar.

Os investimentos em energia limpa foram impulsionados por uma variedade de fatores nos últimos anos, incluindo períodos de forte crescimento econômico e preços voláteis de combustíveis fósseis que levantaram preocupações sobre a segurança energética, especialmente após a invasão da Ucrânia pela Rússia. O reforço do apoio político por meio de ações importantes, como a Lei de Redução da Inflação dos EUA e iniciativas na Europa, Japão, China e outros lugares, também desempenhou um papel importante (IEA, 2023).

No Plano Decenal de Expansão de Energia 2031, apresentado pelo EPE (2023) em dez anos (2021 a 2031) a renovabilidade brasileira deve aumentar timidamente em 1%, de 47 para 48%. Nesse período a participação hidráulica na matriz energética nacional perde predominância e abre espaço para outras fontes renováveis, considerando fontes a base de resíduos sólidos urbanos (RSU), eólicas offshore e hidrelétricas reversíveis.

2.2 Energia Solar

Desde a antiguidade, a energia solar desperta o interesse de filósofos e de cientistas. O uso de espelhos para direcionar os raios do Sol, gerando fogo ou aquecendo recipientes com água, é registrado desde 200 a.C. (ABGD, 2020).

O Sol é uma estrela, nossa fonte de luz e calor, se formou há cerca de 4,5 bilhões de anos. Por ser responsável por 99,86% da massa do Sistema Solar, o Sol possui uma massa 332 900 vezes maior que a da Terra, e um volume 1 300 000 vezes maior que o do nosso planeta. O Sol possui a temperatura de 6.000°C na atmosfera e 15.000.000°C no núcleo. O Sistema Solar orbita em torno do centro da Via Láctea, no sub braço de Órion (PEREIRA, 2019).

A radiação solar é maior fonte de energia para a Terra, principal elemento meteorológico e um dos fatores determinantes do tempo e do clima. Além disso, afeta diversos processos: físicos (aquecimento/evaporação), biofísicos (transpiração) e biológicos (fotossíntese) (SENTELHAS E ANGELOCCI, 2012).

A radiação solar é imprescindível para a vida na Terra, inclusive atualmente permite produzir energia fotovoltaica mas também tem efeitos negativos para o ser humano, tais como os danos que causa à pele. Esses efeitos negativos aumentaram nos últimos anos devido ao efeito estufa que também influencia o aumento da temperatura média do planeta. A radiação solar é a energia emitida pelo Sol, que se propaga em todas as direções através do espaço por

meio de ondas eletromagnéticas, além disso, é direta ou indiretamente responsável por determinadas circunstâncias cotidianas, como a fotossíntese das plantas, a manutenção de uma temperatura compatível com a vida e a formação do vento (IBERDROLA, 2023).

Segundo esse mesmo autor, o Sol emite energia na forma de radiação de ondas curtas e esta, por sua vez, sofre um processo de enfraquecimento na atmosfera devido à presença das nuvens e de sua absorção por moléculas de gases ou de partículas em suspensão. Depois de passar pela atmosfera, a radiação solar alcança a superfície terrestre, sendo refletida ou absorvida. A radiação solar é medida em superfície horizontal através de um sensor de radiação ou piranômetro, que se situa em um local livre de sombras. Os tipos de radiação solar são: Radiação solar direta que passa através da atmosfera e alcança a superfície da terra sem ter sofrido qualquer dispersão em sua trajetória; Radiação solar difusa que atinge a superfície da Terra após ter sofrido vários desvios em sua trajetória, por exemplo devido aos gases presentes na atmosfera e Radiação solar refletida que é a fração de radiação solar que é refletida pela própria superfície terrestre, trata-se de um fenômeno conhecido como efeito albedo.

A principal característica da energia solar vem do fato dela ser realmente renovável e inesgotável, pelo menos até os próximos bilhões de anos. Enquanto o Sol existir, temos energia. O que constitui uma de suas principais vantagens é o fato de ser totalmente limpa, ou seja, não acumulam resíduos. Por conta disso, é extremamente benéfica ao meio ambiente. A única poluição proveniente da fabricação dos equipamentos pode ser facilmente controlada através de reciclagem. Felizmente, graças ao avanço da tecnologia, está havendo uma relação inversa entre o preço dos painéis e a sua produtividade. Isso significa que mesmo enquanto os painéis estão ficando cada vez mais tecnologicamente avançados e, por consequência, mais eficientes, o seu preço vem diminuindo. Isso torna esse tipo de energia barata e eficiente. Além disso, como os painéis podem chegar a durar até 25 anos, o custo-benefício é altíssimo (ENERGIA TOTAL, 2022).

De acordo com Freire (2020), a energia solar é um recurso natural abundante, que possui ampla aplicação em processos sociais e ambientais. Pode ser aproveitada em aquecimento ou na geração de energia elétrica por meio de processos que não necessitam de extração, não emitem ruídos e gases responsáveis pelo efeito estufa. A energia solar pode ser utilizada tanto para geração de eletricidade pelos sistemas fotovoltaicos e heliotérmicos, quanto para aquecimento de água com os aquecedores solares (PORTAL SOLAR, 2023).

O Brasil está situado numa região com incidência mais vertical dos raios solares. Esta condição favorece elevados índices de irradiação em quase todo o território nacional. Adicionalmente, a proximidade à linha do equador faz com que haja pouca variação na

incidência solar ao longo do ano. Dessa forma, mesmo no inverno pode haver bons níveis de irradiação. Essas condições conferem ao país algumas vantagens para o aproveitamento energético do recurso solar (TOLMASQUIM, 2016).

Segundo a Agência Internacional de Energia, os consumidores estão investindo em usos finais mais eletrificados e por esse motivo, nos próximos anos as tecnologias de baixa emissão para produção de eletricidade deverão representar quase 90% do investimento mundial em geração de energia, sendo liderados pela energia solar (IEA, 2023).

A radiação solar é a energia liberada pelo Sol, principalmente sob forma de ondas eletromagnéticas. Parte da radiação é vista em forma de luz, outra parte foge do espectro que conseguimos perceber visualmente, mas sentimos seus efeitos, são os raios infravermelhos (IV) e os ultravioletas (UV). A vida na Terra só é possível graças aos $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia fornecidos pelo Sol anualmente. Parte da radiação emitida pelo Sol é refletida (pelas nuvens, pelo gelo, pelos oceanos), perdida por difusão ou absorvida por moléculas de oxigênio e ozônio da atmosfera. No entanto, mais de 50% chegam à superfície, e é essa fração de radiação que é aproveitada (QUANTUN ENGENHARIA, 2017).

A disponibilidade da energia solar e sua variabilidade espacial e temporal estão relacionadas à posição relativa entre o Sol e a Terra. A Terra orbita o Sol a uma distância média de cerca de 150 milhões de quilômetros, completando um ciclo a cada 365,25 dias solares. Ao longo desse período, a distância varia entre 147 e 152 milhões de quilômetros e, como resultado, o fluxo de radiação solar (irradiância solar) oscila entre 1.325 W/m^2 e 1.412 W/m^2 . O valor médio da irradiância solar igual a 1.366 W/m^2 é definido como a constante solar. Os processos físicos que ocorrem na atmosfera, atenuam a irradiância solar fazendo com que a irradiância incidente na superfície da Terra atinja seu valor máximo de aproximadamente 1.000 W/m^2 no meio-dia solar (momento do dia em que o Sol está na posição mais elevada de modo que a radiação solar percorre a menor espessura de atmosfera) em condições de céu claro. Valores de até 1.400 W/m^2 por períodos curtos podem ser observados em condições de nebulosidade parcial (INPE, 2017).

A irradiância solar (W/m^2) que incide em uma superfície é composta por suas componentes direta e difusa. A irradiância solar direta apresenta direção de incidência na linha imaginária entre a superfície e o Sol e representa a parcela que não sofreu os processos radiativos de absorção e espalhamento que ocorrem na atmosfera. A componente difusa engloba a radiação proveniente de todas as demais direções que são decorrentes dos processos de espalhamento pelos gases e particulados presentes na atmosfera. Na Figura 2 estão representadas as componentes da irradiância solar e sua definição (INPE, 2017).

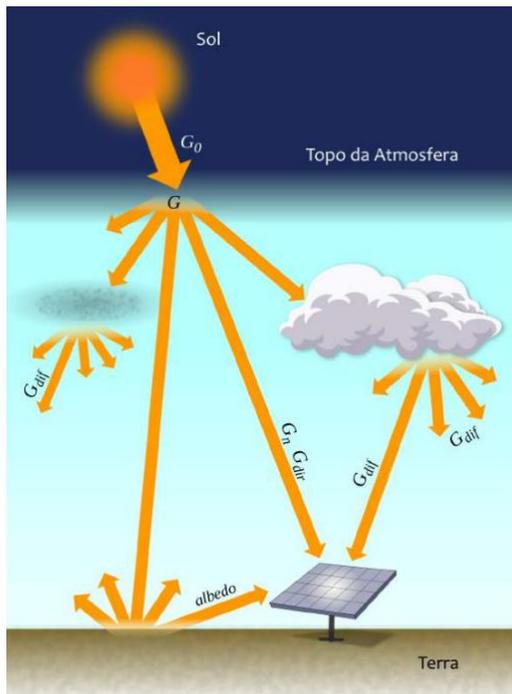


Figura 2. Componentes da irradiância solar.

Fonte: INPE, 2017

Irradiância extraterrestre (G_0): é a taxa de energia incidente por unidade de área em um plano horizontal imaginário situado no topo da atmosfera. É também conhecido como irradiância no topo da atmosfera ou G_{TOA} .

Irradiância direta normal (G_n): também conhecida como DNI, é a taxa de energia por unidade de área proveniente diretamente do Sol que incide perpendicularmente à superfície.

Irradiância difusa horizontal (G_{dif}): é a taxa de energia incidente sobre uma superfície horizontal por unidade de área, decorrente do espalhamento do feixe solar direto pelos constituintes atmosféricos (moléculas, material particulado, nuvens, etc.).

Irradiância direta horizontal (G_{dir}): é a taxa de energia por unidade de área do feixe solar direto numa superfície horizontal. Pode ser determinada como o produto entre a irradiância direta normal (DNI) e o cosseno do ângulo zenital solar.

Irradiância global horizontal (G): é a taxa de energia total por unidade de área incidente numa superfície horizontal. A irradiância global é dada pela soma $G = G_{dif} + G_{dir}$ ou $G = G_{dif} + G_n \cos(\theta_z)$ onde θ_z é o ângulo zenital.

Irradiância no plano inclinado (G_i): é a taxa de energia total por unidade de área incidente sobre um plano inclinado na latitude do local em relação à superfície da Terra.

A integral da irradiância no tempo é definida como irradiação solar (Wh/m^2) ou energia radiante incidente acumulada em um intervalo de tempo (INPE, 2017). Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar, o país recebe, durante todo o ano, mais de 3 mil horas de brilho do sol, correspondendo a uma incidência solar diária que pode ir de 4.500 a $6.300 \text{ Wh}/\text{m}^2$ (Boreal Solar, 2016).

Hora de Sol Pleno ou Hora de Sol Pico (HSP) é a insolação diária, mensal, ou anual, que é recebida por uma determinada superfície, levando-se em consideração aspectos, como a localização específica, ângulo de inclinação e orientação. É uma grandeza que representa a quantidade de horas em que a irradiância solar seria constante de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$. A HSP é calculada dividindo a irradiação do local (kWh/m^2) por $1000 \text{ W}/\text{m}^2$, que seria o valor padrão (Instituto Solar, 2020).

O cidadão brasileiro conta na atualidade com informações cientificamente embasadas sobre o potencial e a variabilidade espacial e temporal do recurso energético solar no território nacional. Duas bases de dados públicas estão disponíveis para dar suporte à tomada de decisão dos interessados em aplicações de energia. O Atlas Solarimétrico do Brasil, publicado em 2000 pela Universidade Federal de Pernambuco e o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica/Eletrobras (UFPE/CEPEL, 2000), e o Atlas Brasileiro de Energia Solar publicado pelo

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais publicado em 2006 e a 2da edição em 2017 (INPE, 2017). Essas publicações foram idealizadas considerando que a energia solar é temporalmente intermitente e apresenta uma variabilidade espacial elevada em razão de sua forte relação com condições meteorológicas locais, como cobertura de nuvens, concentração de gases atmosféricos, entre outros e fatores astronômicos associados aos movimentos orbital e de rotação da Terra.

No Atlas Brasileiro de Energia Solar, foi publicado os níveis médios de irradiação solar diária e anual por região do Brasil, mas na Figura 3 se apresentam esses valores para a região centro-oeste.



Figura 3. Níveis de irradiação solar para o Centro-Oeste brasileiro.

Fonte: INPE, 2017

Como mostrado na Figura 4, também foi publicado a média anual do total diário da irradiação no plano inclinado na latitude.

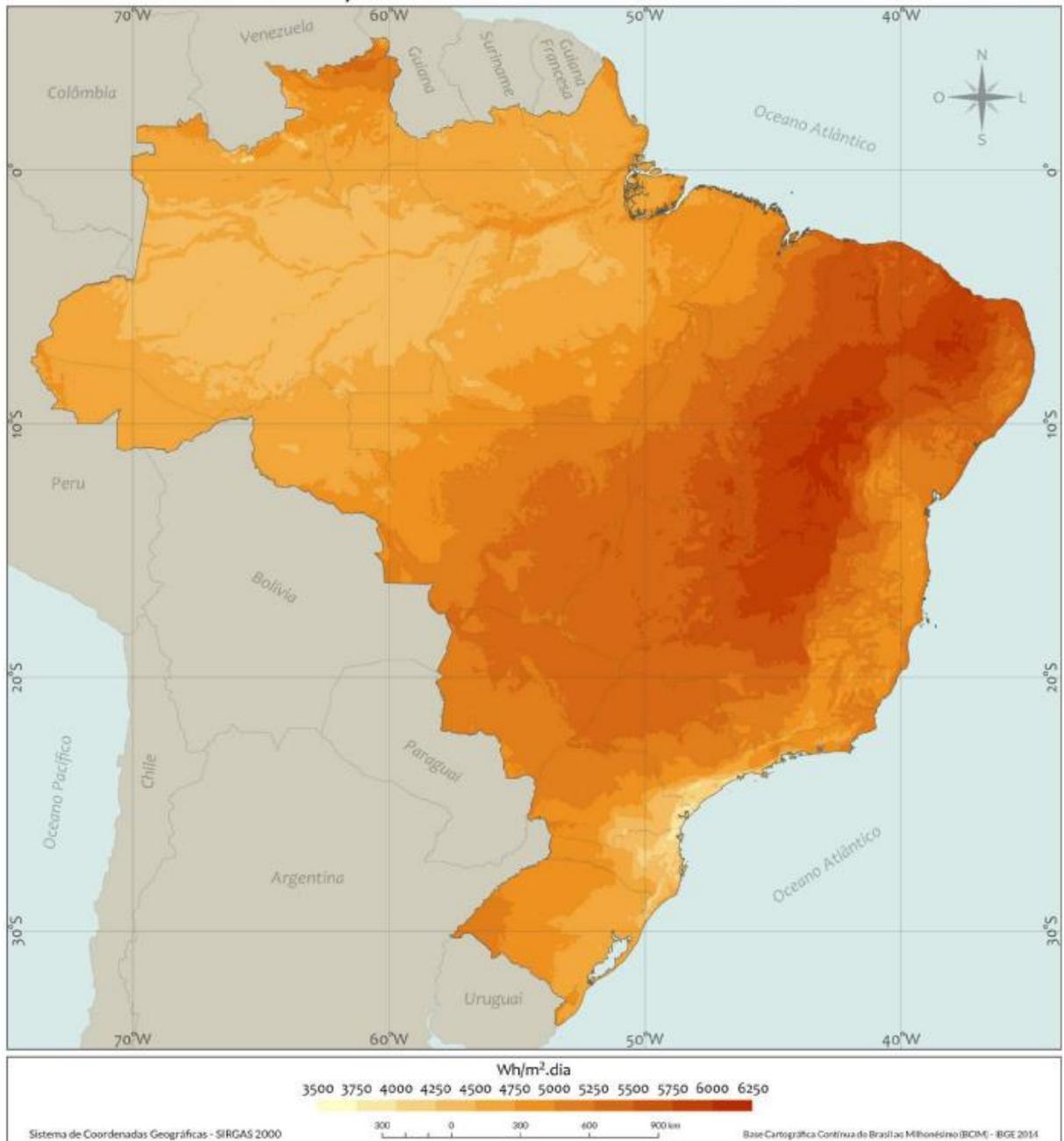


Figura 4. Média anual do total diário da irradiação no plano inclinado na latitude.

Fonte: INPE, 2017

O Atlas Brasileiro de Energia Solar possibilita identificar o quanto de irradiação e tipo, existe em determinado local do Brasil, sendo necessário acessar a base de dados com o ID da célula onde estiver a localidade de interesse (SOLAR PRIME, 2023).

Além das informações geradas por instituições nacionais, outras organizações estrangeiras criaram os seus sistemas de informações onde aparecem dados brasileiros. Umas disponibilizam os

dados de graças e outras os comercializam. Exemplos destas organizações são o SWERA, Global Solar Atlas, Sunroof, Solar Gis, entre outros.

2.3 Geração Distribuída

Hoje, os sistemas solares fotovoltaicos são a principal fonte de energia para os sistemas de geração distribuída. EPE (2023) publicou que a geração solar fotovoltaica atingiu em 2022 30,1 TWh (geração centralizada e Micro e Mini Geração Distribuída-MMGD) crescendo 78,8% e a sua capacidade instalada alcançou 24.453 MW, expansão de 82,4% em relação ao ano anterior.

Segundo ANEEL (2023) desde 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro começou a gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada. Podendo até mesmo fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade, para posterior compensação do consumo de energia verificado. Trata-se da Microgeração e da Minigeração Distribuídas de Energia Elétrica – MMGD e do Sistema de Compensação de Energia Elétrica – SCEE. A partir de 2023 com a revogação da Resolução 482/2012 e a vigência da REN ANEEL 1.059, de 07.02.2023, o sistema de Geração Distribuída foi aprimorado (ANEEL, 2023b).

Geração Distribuída (GD) é o nome que se dá para a produção de energia elétrica a partir de pequenos sistemas geradores instalados e custeados pelo próprio consumidor, localizados próximos ou mesmo no próprio local em que ela é consumida. E esse local pode ser uma indústria, uma empresa, um condomínio, uma casa ou propriedade rural, geração distribuída funciona com informação sendo enviada e recebida em diversos pontos da rede, em trocas bidirecionais, formando uma malha. Se houver falha em uma das linhas, a informação pode circular por rotas alternativas, reduzindo drasticamente o risco de interrupção das conexões locais ou regionais. O resultado é que a rede se torna mais estável, maleável e resiliente (ABGD, 2020).

A mesma associação disse que na GD, parte da energia é gerada e utilizada simultaneamente, outra parte, que é gerada, mas não é utilizada, vai para a rede elétrica e será aproveitada por outros consumidores da região. Quando injeta energia na rede, o consumidor recebe um crédito em energia que pode ser usado para abater o consumo na fatura dos meses subsequentes. A produção de energia é classificada como geração distribuída, quando é realizada a partir de fontes renováveis, com equipamentos ou sistemas instalados na própria

unidade consumidora (casa, edifício, fazenda, estabelecimento comercial ou industrial) ou em local próximo a ela, desde que esteja na mesma área de concessão. O consumidor deve estar ligado à rede, tanto para enviar os excedentes de energia gerada como para utilizar energia da rede quando seu sistema próprio não estiver gerando.

A Figura 5 apresenta a evolução do crescimento da geração distribuída no Brasil. Pode-se observar que desde a publicação da Lei 14.300, em 7 de janeiro de 2022, já foram efetivadas pelas distribuidoras de todo o Brasil mais de 750 mil de conexões de micro e minigeração distribuída, totalizando mais de 7,6 GW de potência instalada. Esses números representam um aumento de 60% em relação ao número de conexões e 54% da potência instalada em relação ao verificado nos 13 meses anteriores à publicação da Lei. Cerca de 47% do total de conexões e de 44% da potência instalada de todo o histórico registrado desde 2009 ocorreu após a publicação da Lei (ANEEL, 2023c).

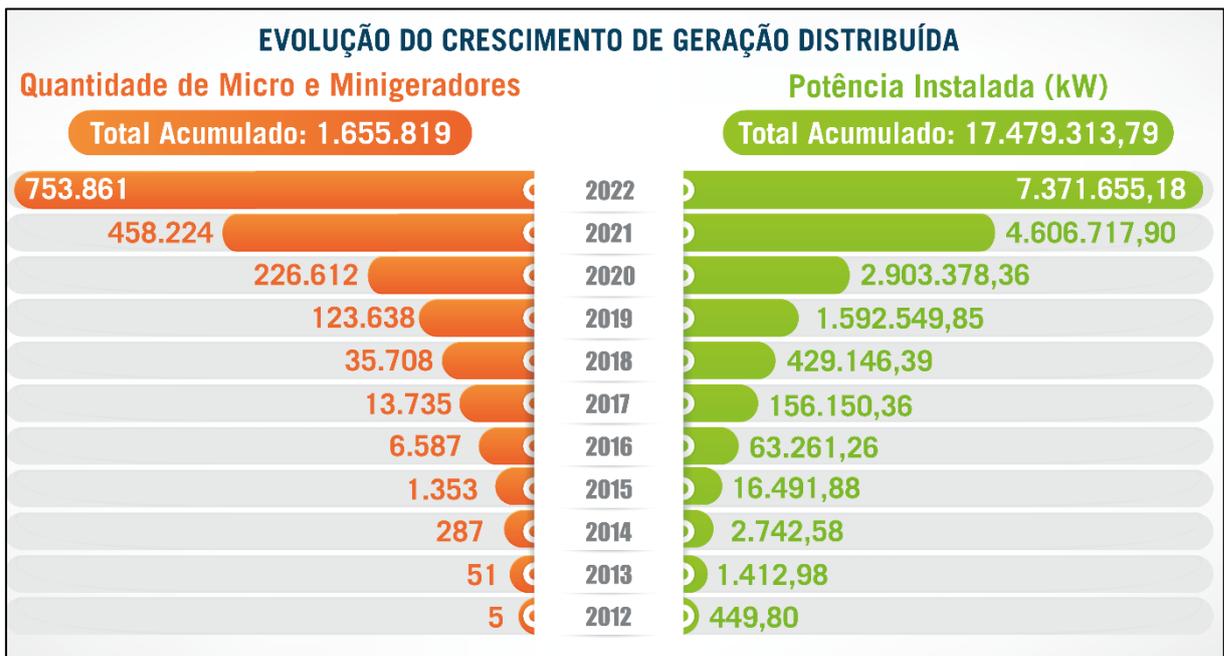


Figura 5. Evolução de geração distribuída de 2012 a 2022

Fonte: Aneel, 2023b

2.4 Energia Solar Fotovoltaica

Foi no século XIX que a energia solar fotovoltaica começou a se esboçar de maneira mais definitiva. Isso ocorreu por conta do físico Alexandre Edmond Becquerel. Nascido em

Paris, na França, Becquerel foi grande estudioso do sistema solar e do magnetismo, e foi o primeiro a observar o efeito fotovoltaico nas células. O efeito fotovoltaico consiste na criação de corrente elétrica em um elemento após a sua exposição à luz. Becquerel fez experimentos expondo eletrodos de platina e prata à luz solar e observou esse fenômeno. Desse modo, no ano de 1839, o físico francês descobriu o que se tornaria a base para a criação da célula solar (COGERA, 2019).

Greenman (2020) define energia solar fotovoltaica como a proveniente da luz do sol, cujos raios atingem o planeta Terra, podendo ser captados através de painéis fotovoltaicos, os quais convertem diretamente a energia luminosa em energia elétrica.

Origoenergia (2022) esclarece a diferença entre placa solar e painel fotovoltaico, a solar consiste em converter a radiação solar em energia térmica, já os painéis fotovoltaicos convertem a energia do sol em energia elétrica, em ambos os casos, é necessário realizar reformas e manutenções periódicas para usufruir dos benefícios da energia solar.

Os sistemas fotovoltaicos são classificados em três grupos, os isolados, híbridos ou conectados à rede e segundo Cepel e Cresesb (2014) a utilização dependerá da disponibilidade do recurso energético. O sistema autônomo, on-grid ou isolado, é empregado em locais não atendidos por uma rede elétrica, podem ser usados para fornecer eletricidade para residências em zonas rurais, praia, ilhas ou qualquer lugar onde a energia elétrica não esteja disponível. Também se utilizam na iluminação pública, na sinalização de estradas, na alimentação de sistemas de telecomunicações e no carregamento das baterias de veículos elétricos.

Como mostrado na Figura 6, os componentes de um sistema off-grid são uma placa ou conjunto de módulos fotovoltaicos, controlador de carga, bateria e conforme a aplicação, um inversor de tensão contínua para tensão alternada.



Figura 6. Sistema fotovoltaico off-grid.

Fonte: RenLight Energy, 2023

Segundo Vilalva e Gazoli (2012) no sistema off-grid os módulos produzem energia na forma de corrente e tensão contínuas e para algumas aplicações é necessário converter essa energia em tensão e corrente alternada através do inversor, passando a corrente para as baterias. Nesse caso é necessário um controlador de carga que é um carregador de bateria específico para aplicação assim não danificando a bateria. As baterias podem ser agrupadas em série ou em paralelo para formar bancos de baterias. A associação em serie permite obter tensões maiores e a associação em paralelo permite acumular mais energia ou fornecer mais corrente elétrica com a mesma tensão.

O sistema conectado à rede elétrica ou on-grid é operado em paralelo com a rede de eletricidade, o objetivo do sistema conectado à rede é gerar eletricidade para consumo local, podendo reduzir ou eliminar o consumo da rede pública ou mesmo gerar excedente de energia. Esse sistema pode ser usado em usinas de geração de energia elétrica conectadas ao sistema elétrico através de transformadores e linhas de transmissão ou também usados para minigeração. O sistema de microgeração são pequenos sistemas, com potência até 100kW, instalados em locais de menor consumo de eletricidade, como residências, comércios e indústrias, para suprir parcialmente ou totalmente a demanda de energia reduzindo sua dependência da energia elétrica da rede pública (VILALBA E GAZOLI, 2012).

O esquema do sistema fotovoltaico on-grid, aparece representado na Figura 7.



Figura 7. Funcionamento do sistema solar fotovoltaico On-Grid

Fonte: Alvo Solar, 2021.

Segundo Neosolar (2016) no sistema solar fotovoltaico on-grid, os painéis solares fotovoltaicos são instalados sobre a cobertura da construção ou sobre áreas abertas e fixadas ao solo, ficando expostos para captar a maior quantidade possível de radiação solar. A energia

solar converte a energia do sol em energia elétrica por meio do efeito fotoelétrico, através das células fotovoltaicas e depois passa por um equipamento chamado Inversor, que é responsável por proteger a rede e converter a energia dos painéis de corrente contínua em corrente alternada. A energia convertida pelo inversor é levada até a entrada da unidade consumidora e ligada em paralelo com a rede pública, antes mesmo do quadro de distribuição principal. Dessa forma, a energia dos painéis fotovoltaicos se mistura com a energia da rede e segue através do quadro de distribuição para todos os equipamentos da unidade consumidora.

Longui (2021) acrescenta que com a instalação do sistema fotovoltaico não há necessidade de alterar a instalação existente na residência ou empresa, e que o excedente de eletricidade produzido é injetado diretamente na rede de distribuição. Para isso ser possível o medidor é substituído por um medidor bidirecional, que mede a energia que foi produzida e a que foi consumida.

Na tentativa de aproveitar da melhor forma possível a incidência de energia solar, para as instalações localizadas no território brasileiro (Hemisfério Sul), os módulos fotovoltaicos fixos devem estar orientados em direção ao Norte Verdadeiro. Porém, esta regra pode não ser válida caso o clima local varie muito durante um dia típico, por exemplo, se ocorre neblina durante a manhã e a maioria da insolação ocorre à tarde, ou caso se deseje privilegiar a geração em alguma hora específica do dia, para maximizar a energia gerada ao longo do ano, a inclinação do arranjo fotovoltaico deve estar dentro de 10° no entorno da latitude do local. (CRESESB, 2004).

Segundo explica Villalva e Gazoli (2013), o efeito fotovoltaico é o fenômeno físico que permite a conversão direta da luz em eletricidade como mostra a Figura 8, esse fenômeno ocorre quando a luz ou radiação eletromagnética do sol, incide sobre uma célula composta por duas camadas de material semicondutor P (possui menos elétrons do que teria um material semicondutor puro) e N (o material N possui elétrons em excesso e devido ao excesso o material é negativo), uma grade de coletores metálicos superior e uma base metálica inferior, a grade e a base metálica inferior são terminais elétricos que fazem a coleta da corrente elétrica produzida pela ação da luz.

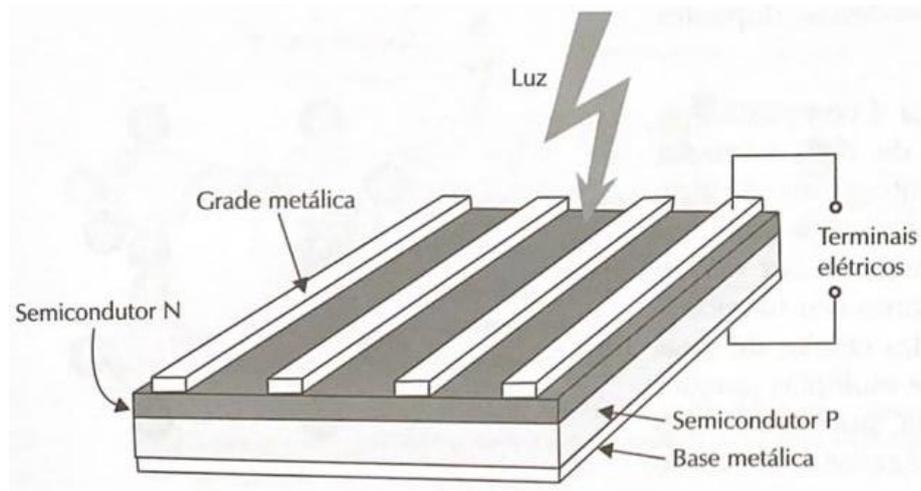


Figura 8. Estrutura de uma célula fotovoltaica.

Fonte: Villalva e Gazoli, 2013.

Um semicondutor é um material que não pode ser classificado como condutor elétrico nem como isolante pois as propriedades de um semicondutor podem ser modificadas pela adição de materiais dopantes ou impurezas.

O silício é um elemento denominado semicondutor, mais usado na fabricação de células e foi o primeiro comercialmente utilizado, por ser um material não tóxico e disponível em abundância em nosso planeta, tem enorme vantagens sobre outros materiais semicondutores.

O avanço da tecnologia fotovoltaica é relacionado à manipulação do silício, principal componente da célula fotovoltaica. O silício pode ser industrializado em diversas formas como policristalino, monocristalino, amorfo, filme-fino, orgânicos e poliméricos.

Segundo Portal Solar (2023) os painéis fotovoltaicos fabricados com silício cristalino são os mais usados no mundo e, hoje, representam 100% dos modelos importados/fabricados no Brasil. O monocristalino PERC tem eficiência entre 20,2 e 21,6%, o monocristalino 17tandart entre 18 e 20%, o policristalino PERC entre 17,8 e 19,9% e o policristalino Standart entre 15 e 17%.

O aspecto de uma célula monocristalina é uniforme, normalmente azulado escuro ou preto, elas são mais eficientes e alcançam 15 a 18% de eficiência, mas tem um custo de produção mais elevado do que as outras células, são células rígidas e quebradiças que precisam ser montadas em módulos para adquirir resistência mecânica para uso prático.

A Figura 9 mostra como é fabricado um módulo solar fotovoltaico típico. As células e suas conexões elétricas são prensadas dentro de lâminas plásticas. O módulo é recoberto por

lâmina de vidro e por último recebe uma moldura de alumínio. Na parte traseira o módulo recebe uma caixa de conexões elétricas, à qual são conectados os cabos elétricos que normalmente são fornecidos junto com o módulo. Os cabos possuem conectores padronizados, que permitem a rápida conexão de módulos em série.

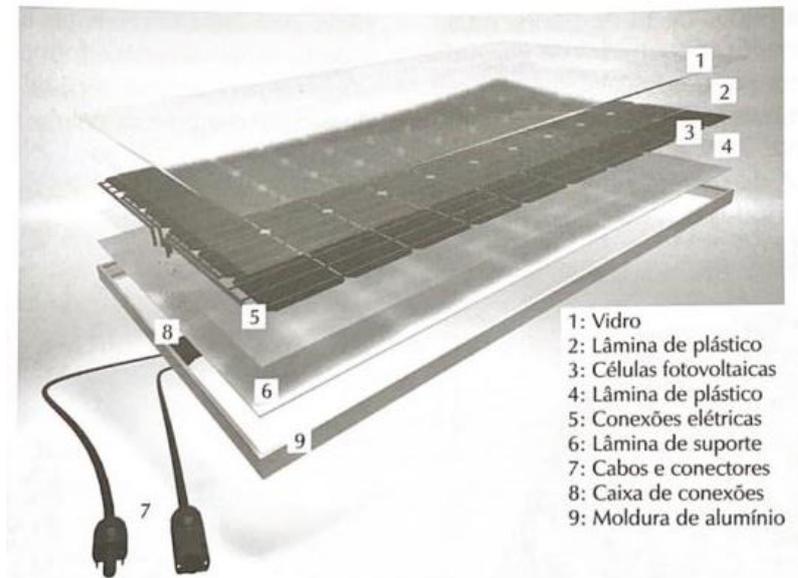


Figura 9. Componentes de um módulo fotovoltaico.

Fonte: Villalva e Gazoli, 2013.

Os sistemas fotovoltaicos podem empregar vários módulos conectados em série ou em paralelo para produzir a quantidade de energia elétrica desejada. Esse agrupamento de módulos é denominado arranjo ou conjunto fotovoltaico. O conjunto de módulos em paralelo são comuns em sistemas autônomos, que operam com tensões baixas, quando conectados em paralelo a tensão de saída do conjunto é a mesma tensão fornecida por um módulo individual. Por outro lado, a corrente fornecida pelo conjunto é a soma das correntes dos módulos do conjunto. Já o conjunto em série é empregado com muita frequência em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, onde a tensão de saída do conjunto corresponde a soma de tensão fornecida por cada um dos módulos.

2.5 Arcabouço Legal da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) o sistema de energia solar fotovoltaico é um projeto de engenharia que visa permitir a geração de energia elétrica através do sol, como qualquer outro projeto de engenharia ele é regido e regulamentado por leis, normas e padrões.

Desde a publicação da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 (revogada), o consumidor brasileiro começou a gerar sua própria energia elétrica usando sistemas fotovoltaicos. Nessa Resolução foram inicialmente estabelecidos os procedimentos e requisitos para a conexão dos sistemas fotovoltaicos à rede elétrica.

Em 2014 a Receita Federal do Brasil publicou a Instrução Normativa RFB nº 1.508/2014, tratando dos procedimentos para a declaração de geração de energia elétrica para fins de obtenção de benefícios fiscais e dispõe sobre o parcelamento de débitos apurados no Regime Especial Unificado de Arrecadação de Tributos e Contribuições devidos pelas Microempresas e Empresas de Pequeno Porte (Simples Nacional), e de débitos apurados no Sistema de Recolhimento em Valores Fixos Mensais dos Tributos abrangidos pelo Simples Nacional (Simei) devidos pelo Microempreendedor Individual (MEI), no âmbito da Secretaria da Receita Federal do Brasil. Essa Instrução Normativa tem sido alterada com o passar dos anos, pelas IN RFB nº 1541, de 20 de janeiro de 2015; IN RFB nº 1714, de 26 de junho de 2017; IN RFB nº 1808, de 30 de maio de 2018; IN RFB nº 1981, de 09 de outubro de 2020 (RECEITA FEDERAL, 2014).

Já a Lei nº 13.169/2015, dispõe benefícios fiscais para favorecer o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica no Brasil. Em seu o Artigo 8º esclarece a isenção do PIS/COFINS incidentes sobre a energia elétrica ativa injetada na rede de distribuição, nos termos do SCEE para MMGD, não valendo para a energia consumida da rede (LEGISWEB, 2015).

Em 22 de abril de 2015, o Conselho Nacional de Política Fazendária celebrou o seu convênio ICMS/16, no qual autoriza a cada estado brasileiro a conceder isenção do ICMS (Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) incidente sobre a energia elétrica injetada na rede de distribuição nos termos do SCEE, não valendo para a energia consumida da rede. Como apresentado na Figura 10, 24 estados e o Distrito Federal isentam do ICMS quem gera eletricidade usando energia solar, entretanto Paraná e Santa Catarina isentam por um período de 48 meses (BLUESOL, 2023).



Figura 10. Estados brasileiros com Isenção de ICMS na Geração de Energia Solar

Fonte: BLUESOL (2023)

As regras da MMGD foram alteradas pela ANEEL, em várias ocasiões como resultados de estudos e aprimoramentos que modificaram, por exemplo, os limites de potência instalada e as modalidades de participação no SCEE. Isso ocorreu, por meio das Resoluções Normativas nº 687, de 24 de novembro de 2015, e nº 786, de 17 de outubro de 2017 (ANEEL, 2023).

A atualização realizada por meio da Resolução Normativa nº 1.059, de 7 de fevereiro de 2023, aprimora as regras para a conexão e o faturamento de centrais de MMGD, bem como as regras do SCEE. Também altera as Resoluções Normativas nº 920, de 23 de fevereiro de 2021, 956 de 7 de dezembro de 2021, 1.000 de 7 de dezembro de 2021 e 1009 de 22 de março de 2022 (ANEEL, 2023b).

A Lei nº 14.300, de 7 de janeiro de 2022 institui o marco legal da MMGD e consolida as disposições referentes à MMGD e ao SCEE, tendo como principal mudança o sistema de compensação de crédito de energia. A lei define que microgeradores são aqueles que geram até 75 kW de energia por meio de fontes renováveis (como a fotovoltaica, a eólica e a de biomassa, entre outras) em suas unidades consumidoras (como telhados, terrenos, condomínios e sítios). E que minigeradores são os que geram mais de 75 kW até 10 MW por meio de fontes renováveis. A lei garante às unidades consumidoras existentes e às que protocolaram solicitação de acesso na distribuidora em 2022, a continuação por mais 25 anos, dos benefícios concedidos pela ANEEL por meio do Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Também define as regras que prevalecerão após 2045 e quais serão as normas aplicáveis durante o período de transição (PLANALTO, 2022).

Existe como padrão para uma boa e segura instalação do sistema, as normas NR-35 (Brasil, 2020) e NR-10 (Brasil, 2020a). A Norma Regulamentadora 35 (NR-35): Trabalho em Altura, estabelece parâmetros de proteção para todas as atividades que sejam realizadas em altura e as medidas de segurança para os trabalhadores que as realizam. Essa norma se aplica aos profissionais que realizarão a instalação dos painéis solares em telhados ou estruturas elevadas. A Norma Regulamentadora 10 (NR-10): Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade, estabelece as condições exigíveis para garantir a segurança do pessoal envolvido com o trabalho em instalações elétricas, em seu projeto, execução, reforma, ampliação, operação e manutenção, bem como segurança de usuários e terceiros. Considera-se essencial para os profissionais que trabalham com a parte elétrica dos sistemas fotovoltaicos.

A norma NBR 16690: 2013 – Instalações Elétricas de Arranjos Fotovoltaicos, estabelece os requisitos de projeto das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, incluindo disposições sobre os condutores, dispositivos de proteção elétrica, dispositivos de manobra, aterramento e equipotencialização do arranjo fotovoltaico (CANAL SOLAR, 2021).

Com relação aos procedimentos necessários para se conectar a MMGD à rede da distribuidora, a ANEEL estabeleceu regras que simplificam o processo, instituindo formulário padrão para realização da solicitação de conexão pelo consumidor, disponível na Resolução Homologatória ANEEL nº 3.171/2023, e foram definidos prazos padronizados para o atendimento (ANEEL, 2023).

Com a nova lei (14.300/2022) os consumidores que possuem sistema fotovoltaicos homologados a partir de janeiro de 2023 pagam pelo custo do chamado de Fio B, que é um dos componentes da Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD). Para quem não produz a própria energia, esse custo já está embutido na conta de luz. A tarifa do custo do fio B representa uma média nacional de 28% do valor total da conta de energia convencional. No entanto, a taxa vai acontecer de forma gradativa para as pessoas que possuem um sistema fotovoltaico. Para quem instalou o sistema no imóvel após a vigência da lei, a cobrança começa a ser de 15% neste ano em cima do custo referente ao serviço do Fio B e deve aumentar gradativamente até 2029, quando o consumidor pagará 100% do valor do Fio B. Já para quem instalou antes da vigência da lei, terá isenção até 2045 (E-INVESTIDOR, 2023).

3 DESCRIÇÃO DO ASSUNTO

3.1 Local e caracterização solarimétrica

O trabalho a campo foi realizado nos primeiros três meses de 2020 na propriedade rural Chácara Santa Luzia, localizada na Vila Distrito Nossa Senhora de Fátima, Serradinho, município de Bela Vista, MS com as seguintes *coordenadas* geográficas: Latitude: 22° 4' 57" Sul, Longitude: 56° 31' 33" Oeste (Figura 11).

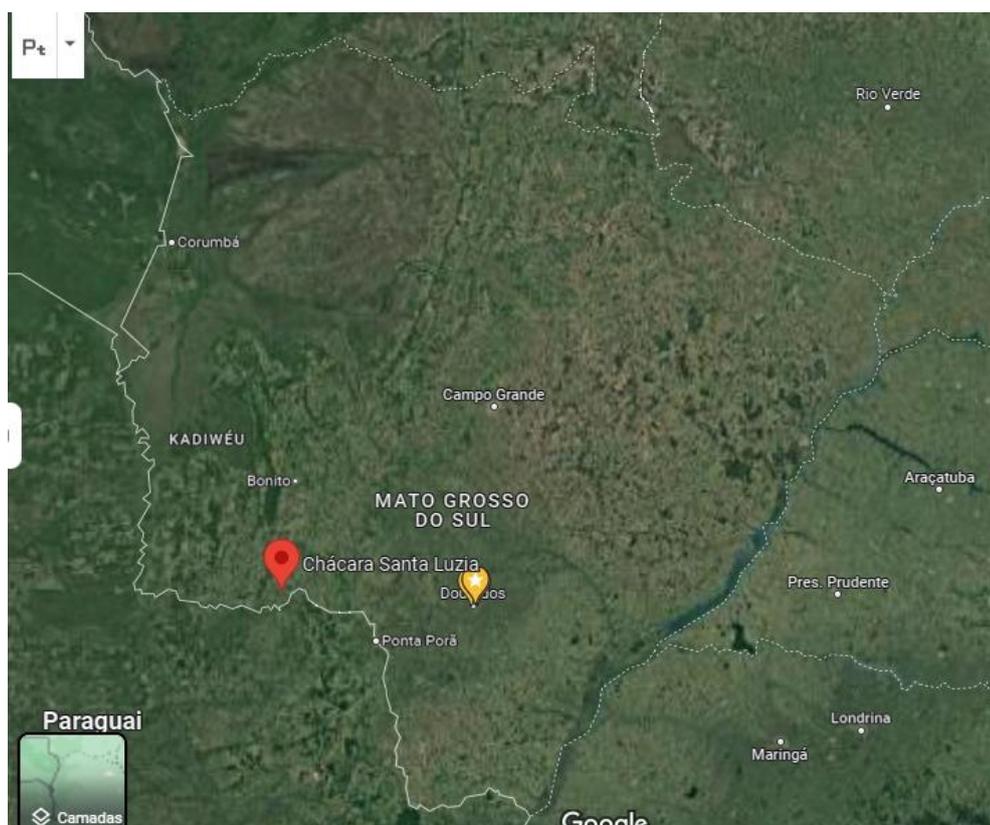


Figura 11. Localização da Chácara Santa Luzia no estado de Mato Grosso do Sul

Fonte: Google Maps, 2023.

Na Figura 12 pode-se observar uma imagem aérea com a área da propriedade delimitada, que se dedica à produção de hortaliças, frutas, criação de animais e derivados para consumo familiar. Também produzem geleias e rapaduras para comercialização.

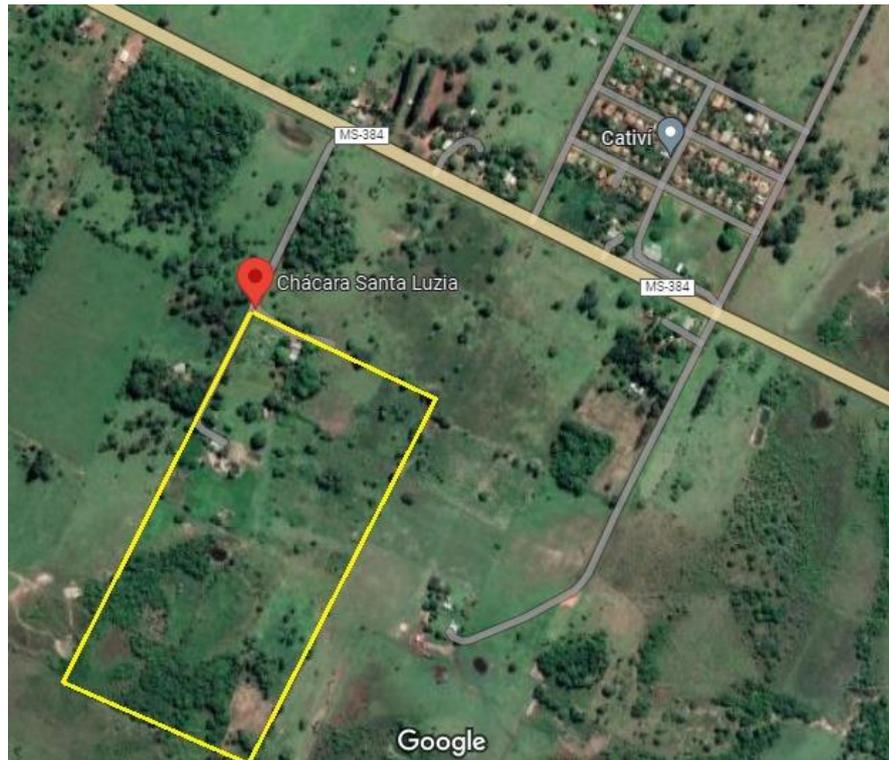


Figura 12. Área da propriedade Chácara Santa Luzia.

Fonte: Google Maps Satélite, 2023.

Foi feito o levantamento da irradiação solar existente na região da propriedade utilizando o programa SunData 3.0 (CRESESB, 2017) que foi atualizado com o banco de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2ª Edição. O sistema de busca utiliza as coordenadas geográficas (latitude e longitude) do ponto de interesse, em graus. As informações obtidas são apresentadas nas Figuras 13 e Tabela 1.

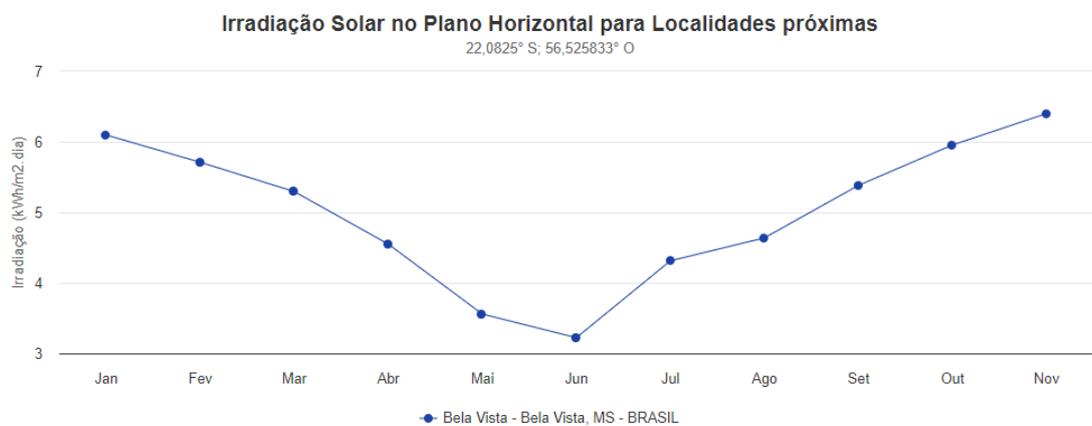


Figura 13. Irradiação solar no plano horizontal para localidades próximas.

Fonte: Cresesb, 2017.

Estação: Bela Vista Município: Bela Vista , MS - BRASIL Latitude: 22,101° S Longitude: 56,549° O Distância do ponto de ref. (22,0825° S; 56,525833° O): 3,2 km																
#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	6,10	5,71	5,30	4,55	3,56	3,22	3,32	4,31	4,64	5,38	5,96	6,40	4,87	3,18
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	22° N	5,51	5,45	5,44	5,13	4,31	4,08	4,11	5,04	4,92	5,26	5,46	5,69	5,03	1,61
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	18° N	5,66	5,54	5,46	5,06	4,21	3,95	4,00	4,95	4,90	5,32	5,59	5,86	5,04	1,91
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	42° N	4,56	4,75	5,07	5,16	4,59	4,45	4,44	5,21	4,72	4,68	4,58	4,62	4,74	,78

Tabela 1. Irradiação solar mensal.

Fonte: Cresesb, 2017.

Observa-se na Figura 13, que os valores de irradiação solar são fornecidos em kWh/m².dia no plano horizontal, correspondentes às diárias médias mensais para os 12 meses do ano. Sendo os meses de maio e junho, outono e inverno, onde ocorrem os menores valores de irradiação.

Na Tabela 1 são fornecidos os valores de irradiação solar convertidos do plano horizontal para planos inclinados com três diferentes ângulos de inclinação em relação ao plano horizontal: o ângulo igual à latitude (22° N); o ângulo que fornece o maior valor médio diário anual de irradiação solar (18° N); e o ângulo que fornece o maior valor mínimo diário anual de irradiação solar (42° N). Estas inclinações são sugestões para a instalação dos painéis fotovoltaicos, tendo sido utilizado a latitude local (0 ° N) como ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico instalado.

O ângulo com a maior média diária anual de irradiação solar costuma ser usada quando se deseja a maior geração anual de energia, já o ângulo com menor valor mínimo mensal de irradiação solar costuma ser uma medida conservadora, usado em situações em que o fornecimento contínuo de energia elétrica é crítico para atividade fim e por isso procura-se minimizar o risco de falta de energia.

O valor da irradiação solar diária no local selecionado para os cálculos foi de 4,87 kWh/m².

3.2 Levantamento da média de consumo

O levantamento da média de consumo em (kWh) foi realizado analisando as contas de energia elétrica da propriedade rural do ano de 2019 como representado na Figura 14.

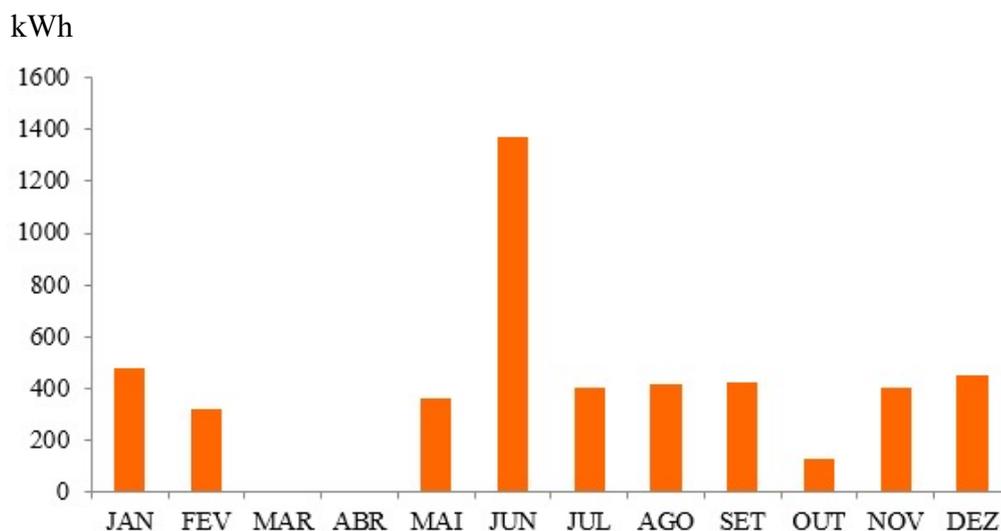


Figura 14. Histórico de consumo de energia elétrica em 2019 da Chácara Santa Luzia.

Fonte: Autor, 2023.

Foi observado nos meses de março e abril que o consumo foi zerado. Isso aconteceu porque a concessionária Energisa, em determinadas localidades não faz leitura mensal, somando um valor médio atribuído a esses dois meses, ao mês de junho. Esse fato é muito comum ocorrer em áreas rurais.

Tabela 2. Média de consumo de energia elétrica em 2019 da Chácara Santa Luzia.

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
478	322	0	0	359	1374	401	415	422	128	404	447
Consumo médio mensal (kWh)					395,83						
Consumo anual (kWh)					4750						

Fonte: Autor, 2023.

3.3 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

O módulo fotovoltaico escolhido para o sistema foi o ZNSHINESOLAR, modelo Zxp6 72-330/P, de silício policristalino com 330 Wp. Possui uma eficiência energética de 16,97%, sendo classificado com A pelo INMETRO. Na Tabela 3 são apresentadas as características do módulo.

Tabela 3 - Características do Módulo Fotovoltaico

Modelo Zxp6 72-330/P	Valor Numérico	Unidade
Potência nominal P _{máx}	330	W
Tolerância de saída de potência	0 ~ 3	%
Tensão máxima de potência	37,50	V
Corrente de potência máx.	8,80	A
Tensão de circuito aberto	46,80	V
Corrente de circuito	9,16	A
Eficiência do módulo	16,97	%
Potência máxima	244,20	Wp
Tensão de circuito aberto	43,00	V
Corrente de curto-circuito	7,42	A
Dimensões	1960x992x40	mm
Coefficiente de temperatura da corrente	0,06	% / °C
Coefficiente de temperatura da tensão	- 0,31	% / °C
Temperatura de operação	40 ~ 85	°C

Fonte: Znshinesolar, 2020.

Para determinar o consumo diário da propriedade foi usada a expressão (MARQUES e PEREIRA, 2020):

$$C_d = \frac{MC}{D} \quad (1)$$

em que:

C_d - Consumo diário, kWh/dia;

MC - Média de consumo mensal, kWh/mês;

D - Dias do mês.

Considerando a média de consumo mensal de 395,83 kWh/mês, 30 dias do mês. O consumo diário foi de 13,29 kWh/dia.

A potência necessária para atender a demanda da propriedade rural, se determinou de acordo com Rampinelli e Machado (2021) como:

$$P = \frac{Cd}{I_s (1-p)} \times Irr \quad (2)$$

em que:

P - Potência necessária, kWp;

I_s - Irradiação solar média diária, kWh/m² dia;

Irr - irradiância solar na superfície do solo, 1 kW/m²;

p - perdas de potência do sistema fotovoltaico.

Considerando a irradiância solar na superfície do solo de 1 kW/m²; as perdas de potência de 22%, a irradiação solar média diária, de 4,87 kWh/m².dia, a potência necessária para atender a demanda da propriedade foi de 3.498 Wp ou 3,49 kWp.

Ideal estudos e soluções solares (2019) apresentam que a eficiência dos sistemas fotovoltaicos tem crescido bastante ao longo dos anos devido à melhoria da engenharia fotovoltaica. Na década de 90 a eficiência típica seria de aproximadamente 70%. Com a tecnologia atual, pode-se chegar até 90%, sendo que para o clima brasileiro está na faixa de 75-80%. Dessa forma pode-se considerar uma perda de 22% para um sistema com 78% de eficiência.

Considerando que o módulo selecionado para o projeto tem uma potência pico de 330 Wp, para atender a potência necessária de 3.498 W que demanda a propriedade rural, serão necessários 11 módulos, entretanto como o proprietário manifestou intenção de adquirir mais alguns eletrodomésticos de baixa potência se resolveu aumentar em mais um módulo fotovoltaico o arranjo, resultando em 12. Dessa forma a potência do sistema disponível para atender a propriedade é de 3.960 W (12 módulos x 330Wp).

Segundo Kalogirou (2016) a potência da radiação solar incidente no arranjo se determina como:

$$P_{Inc} = A \cdot Irr \quad (3)$$

em que:

P_{Inc} - Potência da radiação solar incidente, W;

A - área do arranjo de placas fotovoltaicas, m².

Considerando que o arranjo está formado por 12 módulos e cada módulo tem uma área de 1,94m², a área do arranjo será de 23,28 m². Dessa forma a potência da radiação solar incidente é de 23.280 W.

A potência máxima do arranjo foi determinada como:

$$P_M = P_{Inc} \cdot \eta \quad (4)$$

em que:

P_M - Potência máxima, W;

η - Eficiência do painel fotovoltaico utilizado no arranjo.

Considerando a eficiência do módulo de 16,97%, a potência máxima do arranjo é de 3950 Wp.

A energia gerada estimada mensal do sistema fotovoltaico foi determinada como:

$$EG = \frac{P_M \cdot I_s \cdot t \cdot \eta_{sist}}{I_{rr}} \quad (5)$$

em que:

EG - energia gerada, kWh;

t - período de tempo, dias;

η_{sist} - eficiência do sistema fotovoltaico.

Considerando um período de 30 dias, eficiência do sistema de 0,78 (considerando que as perdas totais são de 22% e que inclui as perdas nos módulos, inversor e cabeamento). A geração média estimada mensal foi de 450 kWh. Esse valor é suficiente para atender o consumo médio mensal real da propriedade de 395,83 kWh.

Quando se analisa a geração média anual estimada de 5400 kWh (12x450 kWh) e se compara com o consumo anual da propriedade (4750 kWh) nota-se que satisfaz a demanda.

Na Figura 15 se apresenta o consumo e a geração mensal estimada do sistema. Essa estimativa foi determinada considerando a irradiação solar média para cada mês (Tabela 3).

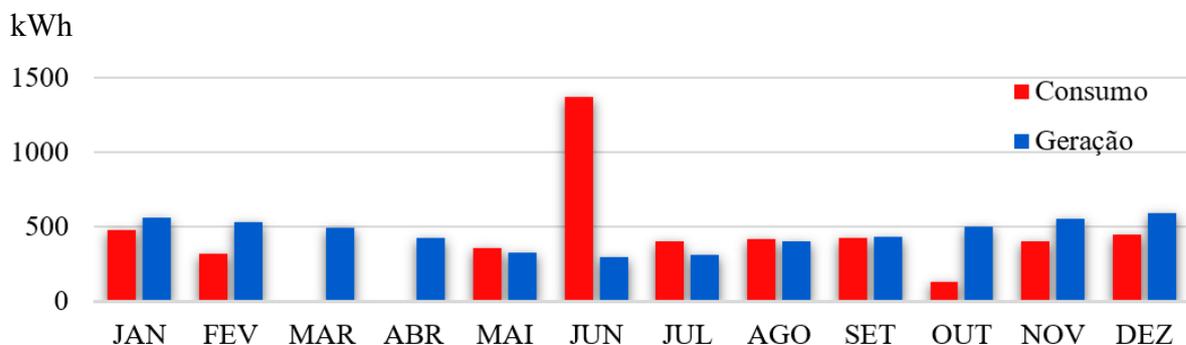


Figura 15. Estimativa de Consumo x Geração (kWh/Mês).

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 4. Estimativa da geração mensal.

Mês	Geração Mensal (kWh)	Irradiação 0° (kWh/m ² .dia)
JAN	565	6,097
FEV	529	5,710
MAR	491	5,295
ABR	422	4,550
MAI	330	3,558
JUN	299	3,223
JUL	308	3,320
AGO	400	4,313
SET	430	4,638
OUT	499	5,382
NOV	552	5,955
DEZ	593	6,401
MÉDIA	450	4,870

Fonte: Autor, 2023.

De posse da potência do sistema (3,96 kWp) se seleciona o inversor solar adequado para atender a demanda de consumo. Foi selecionado um inversor com potência máxima igual a 4,5 kWp e com características apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5- Características do Inversor Renovigi RENO 3Kplus

Característica de Entrada	Valor Numérico	Unidade
Potência Máxima	4.500	W
Tensão Máxima	600	V
Número de MPPTs	1	Quantidade
Corrente Máxima	15.7	A
Características de Saida		
Potência Nominal	3000 A 40 °C	W
Corrente Nominal	13.6	A
Número de Fases	Monofásico	
Frequência de Operação	60	HZ
Harmônicas	<3	%
Características Gerais		
Eficiência	97.5	%
Temperatura Ambiente	-25 ~60	°C
Consumo Interno (noite)	<1	W
Grau de Proteção	IP65	
Comunicação	WIFI PLUG II	
Peso	7.7	KG
Dimensão	310 x 373 x 160	mm

Fonte: Renovigi, 2023.

3.4 Análise Financeira

Com o dimensionamento do sistema finalizado, foi realizada a análise financeira, considerando economia gerada, preços, formas de pagamento e tempo de retorno de investimento. Para a análise financeira foi utilizada uma planilha cedida pela empresa EEGRAR Tecnologia em energia, sediada na cidade de Dourados, MS.

Marques e Pereira (2020) define Valor Presente Líquido (VPL) como o método utilizado para calcular o retorno sobre o investimento (ROI) de um projeto, investimento ou despesa. A premissa básica do Valor Presente Líquido é estimar o lucro futuro resultante do investimento e, em seguida, converter esse retorno em reais de hoje, para que o investidor possa determinar se o projeto é viável ou não. A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma taxa de desconto fictícia, derivada a partir da projeção de fluxo de caixa (que representa as receitas geradas por um investimento ao longo de um determinado período) na qual o Valor Presente Líquido (VPL) é igual a zero. Na prática, os investidores utilizam para avaliar a viabilidade de um projeto. O Payback (ou “retorno”, em português) é um método de cálculo que permite determinar em quanto tempo os lucros gerados por um investimento cobrirão o valor inicialmente aplicado. Empreendedores e investidores utilizam o Payback para ajudar na tomada de decisões.

Na Tabela 6 é apresentada a análise financeira do sistema fotovoltaico feita para 25 anos, que corresponde com a vida útil do sistema.

Tabela 6. Análise Financeira do projeto.

Ano	Eficiência do Sistema	Valor Anual da Conta sem Sistema	Valor Anual da Taxa de Disponibilidade	Valor Anual da Conta com Sistema	Economia	Economia Somada	Economia Somada Descontada	Balanco de Caixa
1	100,00%	R\$5.367,50	R\$678,00	R\$1.038,00	R\$4.329,50	R\$4.329,50	-R\$11.670,50	NEGATIVO
2	99,20%	R\$5.904,25	R\$745,80	R\$1.105,80	R\$4.798,45	R\$9.127,95	-R\$6.872,05	NEGATIVO
3	98,40%	R\$6.494,68	R\$820,38	R\$1.180,38	R\$5.314,30	R\$14.442,25	-R\$1.557,76	NEGATIVO
4	97,60%	R\$7.144,14	R\$902,42	R\$1.262,42	R\$5.881,72	R\$20.323,97	R\$4.323,97	POSITIVO
5	96,80%	R\$7.858,56	R\$992,66	R\$1.352,66	R\$6.505,90	R\$26.829,87	R\$10.829,87	POSITIVO
6	96,00%	R\$8.644,41	R\$1.091,93	R\$1.451,93	R\$7.192,49	R\$34.022,35	R\$18.022,35	POSITIVO
7	95,20%	R\$9.508,85	R\$1.201,12	R\$1.561,12	R\$7.947,74	R\$41.970,09	R\$25.970,09	POSITIVO
8	94,40%	R\$10.459,74	R\$1.321,23	R\$1.681,23	R\$8.778,51	R\$50.748,60	R\$34.748,60	POSITIVO
9	93,60%	R\$11.505,71	R\$1.453,35	R\$1.813,35	R\$9.692,36	R\$60.440,96	R\$44.440,96	POSITIVO
10	92,80%	R\$12.656,28	R\$1.598,69	R\$1.958,69	R\$10.697,60	R\$71.138,55	R\$55.138,55	POSITIVO
11	92,00%	R\$13.921,91	R\$1.758,56	R\$2.118,56	R\$11.803,36	R\$82.941,91	R\$66.941,91	POSITIVO
12	91,20%	R\$15.314,10	R\$1.934,41	R\$2.294,41	R\$13.019,69	R\$95.961,60	R\$79.961,60	POSITIVO
13	90,40%	R\$16.845,51	R\$2.127,85	R\$2.487,85	R\$14.357,66	R\$110.319,26	R\$94.319,26	POSITIVO
14	89,60%	R\$18.530,07	R\$2.340,64	R\$2.700,64	R\$15.829,43	R\$126.148,68	R\$110.148,68	POSITIVO
15	88,80%	R\$20.383,07	R\$2.574,70	R\$2.934,70	R\$17.448,37	R\$143.597,05	R\$127.597,05	POSITIVO
16	88,00%	R\$22.421,38	R\$2.832,17	R\$3.192,17	R\$19.229,21	R\$162.826,26	R\$146.826,26	POSITIVO
17	87,20%	R\$24.663,52	R\$3.115,39	R\$3.475,39	R\$21.188,13	R\$184.014,38	R\$168.014,38	POSITIVO
18	86,40%	R\$27.129,87	R\$3.426,93	R\$3.786,93	R\$23.342,94	R\$207.357,32	R\$191.357,32	POSITIVO
19	85,60%	R\$29.842,86	R\$3.769,62	R\$4.129,62	R\$25.713,23	R\$233.070,55	R\$217.070,55	POSITIVO
20	84,80%	R\$32.827,14	R\$4.146,59	R\$4.506,59	R\$28.320,56	R\$261.391,11	R\$245.391,11	POSITIVO
21	84,00%	R\$36.109,86	R\$4.561,24	R\$4.921,24	R\$31.188,61	R\$292.579,72	R\$276.579,72	POSITIVO
22	83,20%	R\$39.720,84	R\$5.017,37	R\$5.377,37	R\$34.343,47	R\$326.923,19	R\$310.923,19	POSITIVO
23	82,40%	R\$43.692,93	R\$5.519,11	R\$5.879,11	R\$37.813,82	R\$364.737,01	R\$348.737,01	POSITIVO
24	81,60%	R\$48.062,22	R\$6.071,02	R\$6.431,02	R\$41.631,20	R\$406.368,21	R\$390.368,21	POSITIVO
25	80,80%	R\$52.868,44	R\$6.678,12	R\$7.038,12	R\$45.830,32	R\$452.198,54	R\$436.198,54	POSITIVO
Totais		R\$527.877,84	R\$66.679,31	R\$75.679,31	R\$452.198,54	R\$452.198,54	R\$436.198,54	

Fonte: Autor, 2023.

Observa-se que a eficiência do sistema que começa em 100% vai diminuindo a cada ano que passa em 0,8%. Isso indica que no ano 25 se terá a garantia de 80% de desempenho dos módulos fotovoltaicos, devendo fornecer 80% da sua capacidade projetada inicialmente. Ao final do 25º ano o consumidor que investiu no sistema deixou de pagar R\$ 452.198,54 em faturas de energia elétrica de forma acumulado.

Observa-se que a eficiência do sistema que começa em 100% vai diminuindo a cada ano que passa em 0,8%. Esse valor indica a taxa de decaimento e é similar à apresentada por Jordan e Kurtz, 2011 apud Almeida (2012). No ano 25º de implantação do sistema fotovoltaico, se terá a garantia de 80% de desempenho dos módulos fotovoltaicos, devendo fornecer 80% da sua capacidade projetada inicialmente. Ao final do 25º ano o consumidor que investiu no sistema deixou de pagar R\$ 452.198,54 em faturas de energia elétrica de forma acumulado.

Na análise do valor anual da conta sem a implantação do sistema é considerada a inflação da energia de 10% sobre a conta. Na coluna que representa o valor anual da taxa de disponibilidade, no primeiro ano de funcionamento do sistema fotovoltaico, esse valor de 10% é multiplicado ao montante anual anterior. A partir do segundo ano considera-se o valor total anual da taxa de disponibilidade do ano anterior acrescido em 10%. A quarta coluna representa o valor anual da conta de eletricidade com o sistema gerando, notando-se uma grande diferença no valor da conta de energia no primeiro ano, onde o proprietário pagaria sem o sistema R\$ 5.367,50 e com o sistema R\$ 1.038,00.

A tabela também mostra o fluxo de caixa do sistema, onde a economia é dada pelo valor anual da conta sem sistema, menos o valor anual da conta com sistema. Esse valor é diminuído do valor total do investimento, acrescido da taxa de disponibilidade. Com isso temos a amortização do investimento a cada ano, indicando quantos anos o sistema leva para se pagar. Como mostrado no quarto ano o fluxo de caixa passa a ser positivo, logo a instalação do sistema já está dando lucro real.

Na Tabela 7 são apresentadas as informações gerais e indicadores de viabilidade financeira utilizadas nos cálculos da Tabela 6.

Tabela 7. Informações gerais e indicadores de viabilidade financeira.

Informações Gerais	
Valor do kWh (R\$)	R\$1,13
Valor da Taxa de Inflação da Energia (%)	10,00%
Valor Mensal da Taxa de Disponibilidade (R\$)	R\$56,50
Autonomia do Sistema (%)	100,00%
Taxa de Iluminação Pública	R\$30,00
Indicadores de Viabilidade Financeira	
Taxa Anual de Juros para Cálculo do VPL (% a.a.)	6,50%
Investimento Inicial (R\$)	R\$16.000,00
Payback Simples (Anos)	3
Retorno de Investimento - ROI	27,3
Taxa Interna de Retorno - TIR (% a.a.)	51,65%
Valor Presente Líquido - VPL (R\$)	R\$146.324,44

Fonte: Autor, 2023

São apresentados o valor do kWh, a taxa de inflação da energia, o valor mensal da taxa de disponibilidade, a autonomia do sistema, a taxa de iluminação pública. Como indicadores de viabilidade financeira são apresentadas a taxa anual de juros para o cálculo do VPL (Valor Presente Líquido) que avalia se o investimento é ou não viável. Também se apresenta o valor do investimento total de R\$ 16.000, o Payback simples que indica que o sistema se pagou em 3 anos, o Retorno sobre o investimento (ROI) de 27,3, que mostra quantas vezes o investimento retorna para o cliente durante a vida útil do sistema, a taxa interna de retorno (TIR) que é um indicador de viabilidade do investimento, para energia solar temos que a TIR precisa ser maior que 15% anual para que o investimento seja viável. O Valor presente líquido (VPL) de R\$ 146.324,44 representa o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo do investimento inicial.

Na tabela 8 se discriminam os R\$ 16.000,00 investidos pelo produtor, relativos a custos de equipamentos e material e serviços.

Tabela 8. Informações de valores nos custos do Sistema fotovoltaico

Custos	R\$
Kit: 12 módulos fotovoltaicos, Inversor, String box CC, String box CA, Cabeamento CC e CA necessário para Instalação	11.800,00
Custo de material para instalação	895,00
Frete	250,00
Projeto Elétrico	150,00
Vistoria Técnica	160,00

Responsabilidade Técnica (ART) do Projeto e Instalação	145,00
Impostos	800,00
Custo de Instalação	1.800,00
Total	16.000,00

Fonte: Autor, 2023

3.5 Execução do projeto e instalação do sistema

Após a aprovação do projeto pelo proprietário foi elaborado um contrato de prestação de serviço e procuração para a autorizar o processo de homologação na Energisa. Foi elaborado o projeto elétrico, emissão de ART (Anotação de Responsabilidade Técnica) e se protocolou junto à distribuidora a homologação do projeto, onde se solicitou a conexão do sistema à rede de energia e a troca do medidor por um bidirecional. O prazo de resposta da concessionária é de 30 dias para o Mato Grosso do Sul, entretanto o sistema foi aprovado em 10 dias.

Paralelamente foi realizada a aquisição dos componentes do sistema e após a aprovação se procedeu à instalação.

A instalação foi dividida em 3 etapas: instalação das estruturas de sustentação e instalação dos módulos fotovoltaicos e inversor e instalação elétrica.

O sistema fotovoltaico instalado está formado por 12 módulos fotovoltaicos, inversor de frequência, duas strings box uma para CC e outra CA, estrutura de fixação e cabeamentos.

Para a instalação dos módulos fotovoltaicos foi considerado fatores como localização, orientação e inclinação para favorecer a maior incidência solar. O local escolhido é mostrado na Figura 16. A escolha se deu por estar próximo do padrão de energia, ter fácil acesso e não ter árvores ou edificações que provoquem sombreamento.



Figura 16. Local de instalação dos módulos fotovoltaicos.

Fonte: Autor, 2023.

O suporte de sustentação dos módulos fotovoltaicos foi feito de madeira, a pedido do proprietário que dispunha desse material em abundância na propriedade (Figura 17a).



(a)

(b)

Figura 17. Suporte de madeira (a) e perfil em L (b) utilizados para fixação dos módulos.

Fonte: Autor, 2023.

Após a instalação dos suportes, os módulos foram fixados a perfis metálicos usando grampos metálicos. Os módulos foram orientados para o norte geográfico, sendo esta regra válida para localidades no Hemisfério Sul. Esta orientação favorece a geração dos módulos

fotovoltaicos durante todo o dia. A inclinação dos módulos foi de 22° que correspondeu com o ângulo igual à latitude (22° N).

A figura 18 mostra o arranjo formado pelos 12 módulos de silício policristalino. Cada módulo é formado por 72 células, com área de $1,94\text{m}^2$ e 330Wp . A conexão em série de cada módulo foi feita usando os conectores MC4 próprios e os extensores.



Figura 18. Módulos fotovoltaicos instalados.

Fonte: Autor, 2023.

Como mostrado na Figura 19, debaixo dos módulos foram instalados o inversor de frequência e as duas string box.



Figura 19. Inversor Renovigi instalado.

Fonte: Autor, 2023.

O inversor de frequência conta com uma interface onde são feitas as configurações e monitoramento da produção de eletricidade. Foi fixado em uma estrutura de metal galvanizada chumbada com concreto, para assegurar o bom funcionamento e durabilidade, considerando que o inversor é o componente mais custoso do sistema.

As duas strings box instaladas são mostradas na Figura 20. A primeira instalada antes da entrada do inversor na linha de corrente contínua e a segunda na saída do inversor na linha de corrente alternada.



Figura 20. String box CC (a) e String box CA (b)

Fonte: Autor, 2023.

A escolha do inversor e das strings box da marca Renovigi foi fundamentada na garantia de suporte e assistência técnica oferecida pelo distribuidor.

A instalação elétrica foi realizada atendendo as diretrizes das NR-10 e NBR 16690:2013 para garantir a segurança do pessoal envolvido na parte elétrica dos sistemas fotovoltaicos.

Durante a instalação do sistema fotovoltaico foram utilizados multímetro, nível, esquadro, parafusadeiras, furadeiras, chaves, alicates, trena etc. (Figura 21).

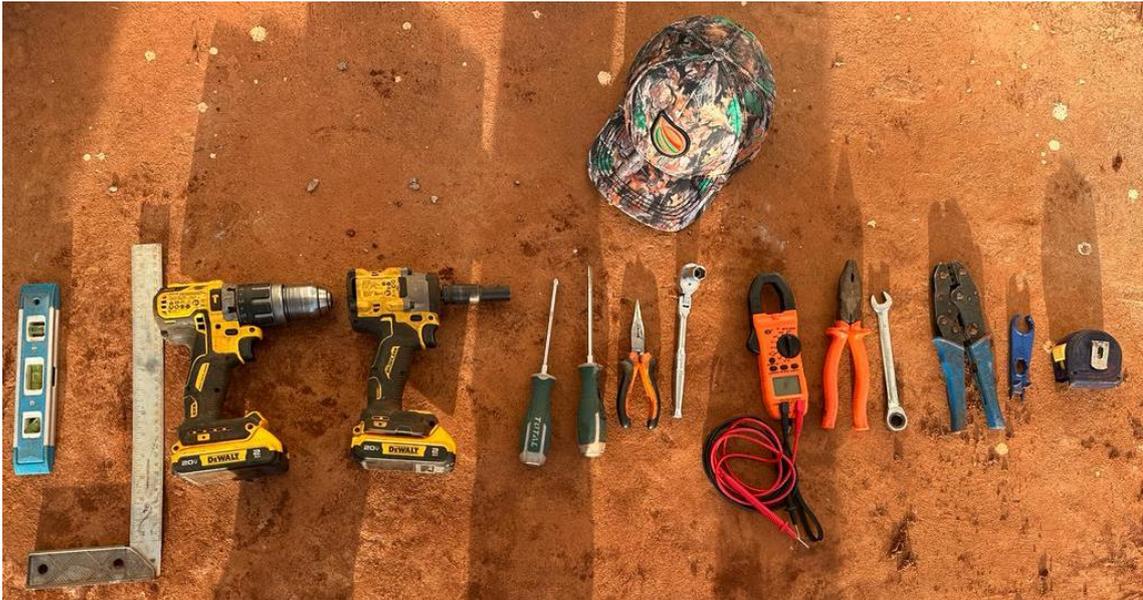


Figura 21. Ferramentas e instrumentos utilizados durante a instalação elétrica.

Fonte: Autor, 2023.

Também foram utilizados cabo solar, com bitola de 4 mm, conectores MC4 (Figura 22), eletrodutos, hastes de aterramento, conectores perfurantes para ligar à rede de alimentação, de acordo com a legislação.



Figura 22. Extensor com conector MC4, macho e fêmea.

Fonte: Autor, 2023.

O aterramento foi feito nos padrões da norma NBR 16690 vigentes, visando garantir o funcionamento correto da instalação e a proteção contra surtos atmosféricos, de forma a evitar riscos para as pessoas e os equipamentos.

A Figura 23 apresenta o diagrama unifilar da instalação. Nesse diagrama se considera a representação simbólica mais simples de um sistema de energia elétrica.

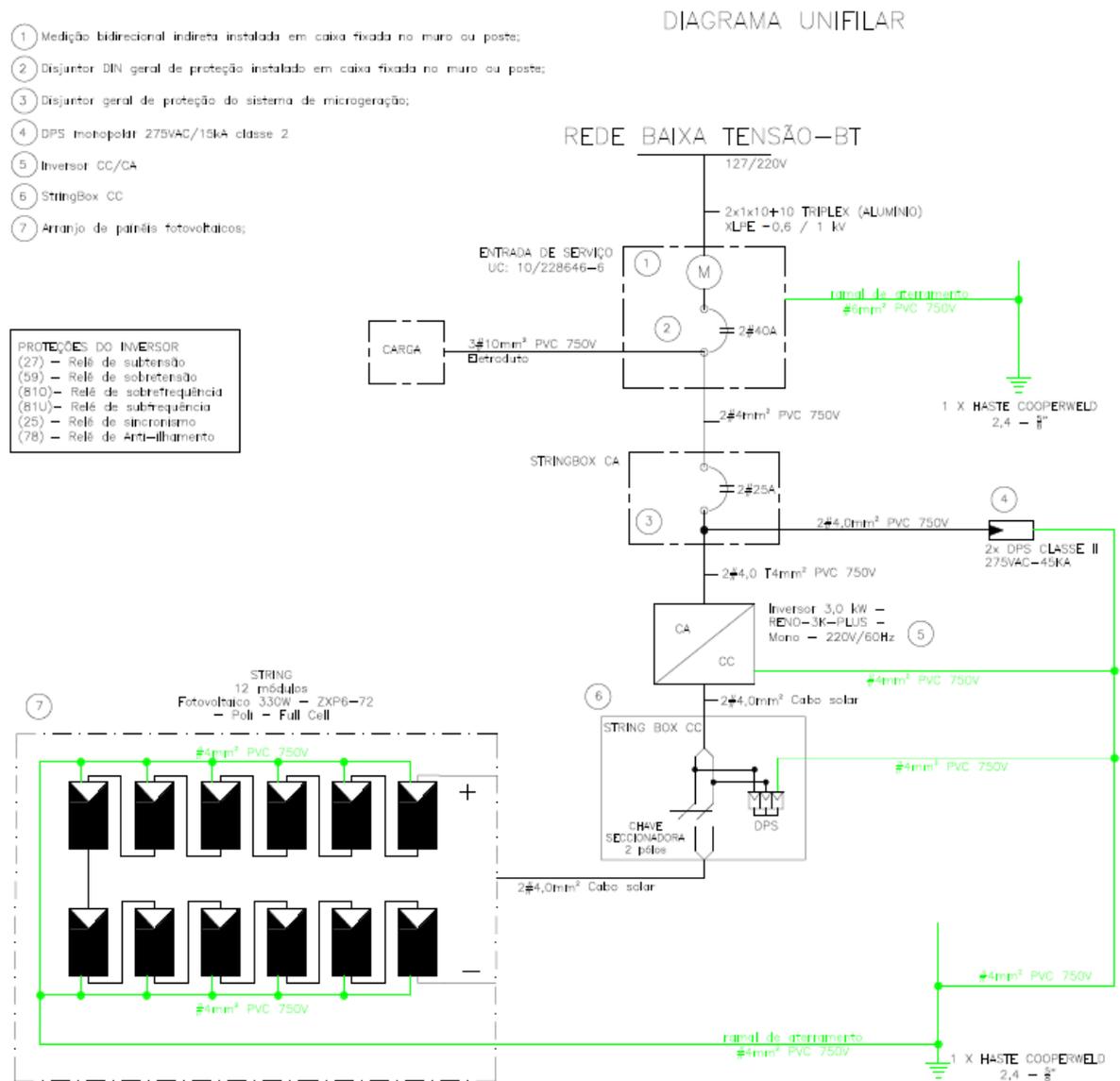


Figura 23. Diagrama unifilar.

Fonte: Autor, 2023.

Após finalizada toda a instalação foi feita a conexão na rede elétrica e solicitada a vistoria da Energisa e a troca por um medidor bidirecional. Em 5 dias uteis após a solicitação, o serviço foi concluído, ficando o sistema operacional e injetando assim energia na rede elétrica.

3.6 Avaliação do sistema em funcionamento

No sistema fotovoltaico não foi instalado o sistema de monitoramento da energia gerada, por conta de a propriedade não ter acesso a internet. Por esse motivo, não pode ser calculado a produção total da propriedade, ficando a análise do comportamento do sistema, limitada às informações que aparecem na conta mensal fornecida pela Energisa. Pela propriedade estar localizada na área rural, a distribuidora não contabiliza regularmente os indicadores, o que dificulta ainda mais a análise do desempenho do sistema. Por exemplo, no mês de junho de 2023 o proprietário foi avisado que foram lançados créditos em kWh no banco de saldo, referente aos meses de janeiro a outubro de 2022.

Após 24 meses da instalação do sistema fotovoltaico, foi feita a análise das contas de energia dos últimos 12 meses com o sistema gerando eletricidade. Essas informações foram retiradas das contas de agosto de 2022 a julho de 2023. A leitura do relógio fica sob a responsabilidade do proprietário, que deve informar à Energisa dos valores de energia consumida e energia injetada.

Na Tabela 9 se apresenta o consumo da propriedade, a energia injetada, o saldo de créditos e o valor pago à distribuidora nos meses analisados.

Tabela 9. Informações de 12 meses do consumo de eletricidade.

Meses	Consumo (kWh)	Energia injetada (kWh)	Saldo de créditos (kWh)	Valor da conta (R\$)
AGO2022	133	0	0	56,50
SET2022	473	223	1244	49,05
OUT2022	396	199	1097	50,61
NOV2022	321	271	1124	49,03
DEZ2022	361	299	1112	53,42
JAN2023	396	252	1018	48,93
FEV2023	430	268	906	50,02
MAR2023	441	391	721	50,39
ABR2023	203	0	721	208,03
MAI2023	773	723	457	61,78
JUN2023	496	446	394	56,48
JUL2023	465	178	157	76,75
Média	407,3	270,8		67,582
			Total	810,99

Fonte: Autor, 2023

Quando se analisa o consumo médio de eletricidade da propriedade nos 12 meses analisados se observa que foi de 407,3 kWh. Esse valor indica a eletricidade que foi usada da rede durante as noites e dias nublados quando o sistema não está gerando. Como se desconhece

o consumo instantâneo, por não ter sido monitorada a geração, não pode ser calculado o consumo total da propriedade.

A energia média mensal injetada de 270,8 kWh é a energia gerada pelo sistema fotovoltaico e que não foi imediatamente absorvida pelas cargas da unidade consumidora, indicando, que o sistema produziu mais eletricidade que a necessária para atender a demanda.

Se mostra também o saldo de créditos que a propriedade gerou ao não consumir toda a eletricidade produzida no período analisado. Observa-se que os créditos vão diminuindo com o passar dos meses, indicando o aumento de consumo, que não foi previsto no dimensionamento pois a opção do produtor foi a de gerar somente a energia similar à que consumia. O consumo na propriedade aumentou devido à instalação de uma bomba de água e a intensificação do uso do moinho de cana-de-açúcar na propriedade.

O valor pago mensalmente à distribuidora Energisa se limita à taxa de disponibilidade referente a 50 kW. Ressaltamos que na área rural não existe a cobrança da taxa de iluminação pública. Durante o período de 12 meses analisado, com o sistema gerando, esse valor foi de R\$ 810,99. Quando se compara com o valor pago de R\$ 5.367,50, nos 12 meses antes da implantação do sistema, nota-se a economia em termos financeiros que o sistema proporciona.

No mês de abril 2023 o produtor não fez a leitura de consumo e energia injetada e nesse caso a Energisa considerou apenas a média do perfil de consumo, zerando a energia injetada na rede. Ressalta-se que nas propriedades rurais a concessionária não faz a leitura do relógio, sendo o produtor inteiramente responsável pela medição.

Na Figura 24 se observa o comportamento do consumo da propriedade.

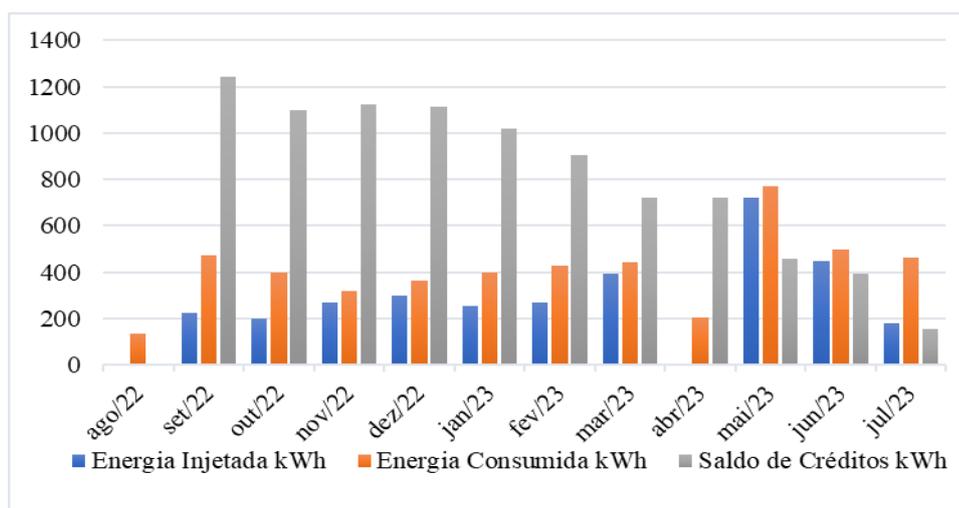


Figura 24. Geração de eletricidade e saldo de créditos do sistema.

Fonte: Autor, 2023.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O sistema fotovoltaico instalado atendeu a demanda da propriedade rural e as expectativas do proprietário apenas nos primeiros 24 meses após a instalação, devido ao aumento não previsto da demanda.
- Recomenda-se analisar a viabilidade de ampliação do sistema.
- Atualmente existe um grande potencial de aplicação no meio rural dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede (on-grid), devido à diversidade de tecnologias existentes e a diminuição dos preços dos equipamentos.
- A falta de conectividade na área rural é uma grande limitação para o monitoramento dos sistemas fotovoltaicos instalados. Mesmo sugerindo uma alternativa móvel para conexão à internet do sistema fotovoltaico, o produtor preferiu não ter um gasto a mais.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABGD - Associação Brasileira de Geração Distribuída- Energias Renováveis – O Potencial das Fontes para a Geração Distribuída. São Paulo. 2020 Disponível em: https://www.abgd.com.br/portal/?utm_source=g-p-associese&utm_medium=g-p-associese&utm_id=g-p-associese&gclid=Cj0KCQjw9fqkBhDSARIsAHlcQYT6saasR_8pYR32MBqE3NyHRspzhpby-ADfKQ4mdi8VeBm0sFw0nQ4aAjbPEALw_wcB. Acesso em: 26 ago2023

ALMEIDA, M. P. Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Energia. São Paulo: USP. 2012. Disponível em: http://lsf.iee.usp.br/sites/default/files/Mestrado_Marcelo_Pinho_Almeida.pdf Acesso: 05out2023.

ALVEZ, L. O. M. Energia solar: Estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e of-grid. Monografia, (Engenharia Elétrica) – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. João Monlevade, MG. 2019

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Micro e Minigeração Distribuída. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida> Acesso em: 14 ago.2023.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa ANEEL Nº 1.059, de 7 de fevereiro de 2023. 2023b. Disponível em: www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html Acesso em: 14/08/2023

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL regulamenta marco legal da Micro e Minigeração Distribuída. 2023c. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-regulamenta-marco-legal-da-micro-e-minigeracao-distribuida> Acesso em: 14 ago.2023.

BEN INTERATIVO. Produção de Energia Primária. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/ben/> Acesso em: 9 ago.2023.

BLUESOL. Energia Solar Benefícios Fiscais: Guia para quem tem ou vai instalar um painel Disponível em: Solar <https://blog.bluesol.com.br/infografico-isencao-de-icms-para-energia-solar/> Acesso em: 14 ago2023.

BOREAL SOLAR. Potência de energia solar: quais as melhores regiões brasileiras para a captação da luz solar. Disponível em: Potencial de energia solar: Quais as melhores regiões brasileiras para captação da luz solar – Blog – Boreal Solar. Acesso em: 24 jul.2023.

BRASIL. Lei Nº 8.078, de 11 de setembro de 1990. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1990.

BRASIL. Lei Nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022. Dispõe sobre o marco legal da MMGD e SCEE. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/14300.htm Acesso em: 17 ago.2023.

BRASIL. Receita Federal do Brasil. Normas. Disponível em: <http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?idAto=57825.html> Acesso em: 14 ago2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora No. 35 (NR-35). 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acao-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitativa-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-35-nr-35>. Acesso em: 14/08/2023.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora No. 10 (NR-10). 2020a. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acao-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitativa-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/norma-regulamentadora-no-10-nr-10>. Acesso em: 14/08/2023.

CANAL SOLAR. Proposta de revisão da norma NBR 16690: aterramento de usinas fotovoltaicas. 2021. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/proposta-de-revisao-da-norma-nbr16690-aterramento-de-usinas-fotovoltaicas/> Acessado em 05 jul.2023.

CEPEA. PIB do agronegócio brasileiro. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx> Acesso em: 14/6/2023.

CEPEL-Centro de Pesquisas de Energia Elétrica; CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, RJ, 2014. 206p.

COGERA. Como surgiu a energia solar. Disponível em: <https://cogera.com.br/como-surgiu-a-energia-solar/#:~:text=O%20efeito%20fotovoltaico%20consiste%20na,a%20cria%C3%A7%C3%A3o%20da%20c%C3%A9lula%20solar>. Acesso em: 29 jul.2023.

COSTA, R.C. e PRATES, C.P.T. O papel das fontes renováveis de energia no desenvolvimento no setor energético e barreiras à sua penetração no mercado. BNDES. Disponível em: www.bndes.gov.br/bibliotecadigital. Acesso em: 01 ago.2023.

CRESESB, Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. Potencial Solar – Sun Data, 2017. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em: 16 jun.2023

ENERGIA TOTAL. Principais características da energia solar. Disponível em: <https://www.energiatotal.com.br/conheca-as-principais-caracteristicas-da-energia-solar> Acesso em: 03ago.2023.

EPE - Empresa de Pesquisas Energéticas. Balanço Energético Nacional. 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-687/BEN2023.pdf>. Acesso em: 16 jun.2023.

EPE - Empresa de Pesquisas Energéticas. Plano Decenal de Expansão de Energia 2031. 2023a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico->

168/Fact%20Sheet%202023%20-%20Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica.pdf#search=rural Acesso em: 09ag.2023.

EPE - Empresa de Pesquisas Energéticas. Plano Decenal de Expansão de Energia 2031 Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2031>. 2023b. Acesso em: 09ag.2023.

FREIRE, S. L. Energia Solar para Usuários de Baixa Renda. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro – RJ. 2020.

GREENMAN, P, J. Estudo da Viabilidade da Implantação de Geração de Energia Solar na Escola Municipal Luiz Paulo Horta na Comunidade da Rocinha (RJ). Universidade Federal do Rio de Janeiro -UFRJ. Rio de Janeiro – RJ. 2020.

IBERDROLA. Radiação solar: qual seu impacto no planeta e no ser humano? Disponível em: <https://www.iberdrola.com/compromisso-social/radiacao-solar> Acesso em: 03ago.2023.

IEA- International Energy Agency. Energy Statistics Data Browser. 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>. Acesso em: 09 ago.2023.

INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/> Acesso em: 09 ago.2023.

INSOL. Energia Solar Fotovoltaica. Disponível em: <https://insolenergia.com.br/blog/energia-solar-em-areas-rurais-quais-as-vantagens->. Acesso em: 7 jun.2023.

INSTITUTO SOLAR. Conceitos de dimensionamento de sistema fotovoltaico. Disponível em: Conceitos de Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos - Instituto Solar. Acesso em: 12jul.2023.

IPEA. Energia Acessível e Limpa. Disponível em: www.ipea.gov.br/ods/ods7.html Acesso em: 14 jun.2023.

KALOGIROU, S. Engenharia de Energia Solar. Processos e sistemas. 2ed. Rio de Janeiro. Elsevier. 2016. 864p.

LEGISWEB. Lei N° 13169 DE 06/10/2015. 2015. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=304265>. Acesso em: 14 ago.2023.

LONGUI, C. R. Energia Solar: Uma Análise de Viabilidade Econômico-Financeira da sua Instalação. Universidade Caxias do Sul-UCS. Caxias do Sul – RS. 2021.

MARQUES, F.M.R.; PEREIRA, S.L. Energia Solar Fotovoltaica: Um Enfoque Multidisciplinar. Rio de Janeiro: Editora Synergia, 2020. 264 p. ISBN: 978-65-8621-411-6.

MATAVELLI, A.C. Energia solar: geração de energia elétrica utilizando células fotovoltaicas. Monografia, (Engenheiro químico) – Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 34. 2013.

NASCIMENTO, S.A. Energia Solar Fotovoltaica: Estudo e Viabilidade no Nordeste Brasileiro. Universidade Federal da Paraíba -UFPB. João Pessoa -PB. 2015.

NEO SOLAR. Guia prático energia solar fotovoltaica. Disponível em: https://www.neosolar.com.br/media/guia/Guia_Pratico_NEOSOLAR_Mai_2016.pdf Acesso em 29 jul.2023.

ORIGOENERGIA. Qual é a diferença entre placa solar e painel fotovoltaico? Disponível em: <https://origoenergia.com.br/blog/energia/qual-e-a-diferenca-entre-placa-solar-e-painel-fotovoltaico/#:~:text=A%20principal%20diferen%C3%A7a%20entre%20placa,por%20meio%20do%20efeito%20fotoel%C3%A9trico>. Acesso em: 03 ago.2023.

PEREIRA, B.J. Sol. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/comacesso/wp-content/uploads/2019/01/Sol.pdf>. Acesso em: 03 ago.2023.

PORTAL SOLAR. Energia solar: o que é, para que serve, como funciona e benefícios. 2023. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar> Acesso em: 17 ago.2023.

PORTAL SOLAR. Tudo sobre a Eficiência do Painel Solar. 2023b. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-eficiencia-do-painel-solar.html> Acesso em: 27/out/2023.

QUANTUM ENGENHARIA. Você sabe o que é irradiação solar? Entenda como é possível gerar energia fotovoltaica mesmo em dias nublados. Disponível em: [https://www.quantumengenharia.net.br/irradiacao-solar-dias-nublados/#:~:text=%C3%A9%20a%20propaga%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia,\(Wh%2Fm2\)](https://www.quantumengenharia.net.br/irradiacao-solar-dias-nublados/#:~:text=%C3%A9%20a%20propaga%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia,(Wh%2Fm2)). Acesso em: 06 ago.2023.

RAMPINELLI, G. A.; MACHADO, S. Manual de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída: Teoria e prática. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: <https://energiasolarfotovoltaica.ufsc.br/2022/04/04/manual-de-sistemas-fotovoltaicos-de-geracao-distribuida-teoria-e-pratica/>

RECEITA FEDERAL. Instrução Normativa RFB Nº 1508, de 04 de novembro de 2014. 2014. Disponível em: <http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?idAto=57825> Acesso em: 8/set/2023.

SOLAR PRIME. Mapa de irradiação solar no brasil: entenda mais sobre! Disponível em: Mapa de radiação solar no Brasil: entenda mais sobre! - Solarprime. Acesso em: 06 ago.2023.

SENTELHAS, C. P. ANGELOCCI, R. L. Radiação Solar Balanço de Energia. ESALQ/USP – 2012

TOLMASQUIM, T. M. Energia Renovável. Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Rio de Janeiro – RJ. 2016.

TRADENER. Energia Renovável: O Futuro Sustentável da Geração de Energia. 2023. Disponível em: <https://tradener.com.br/2023/07/19/energia-renovavel-o-futuro-sustentavel-da-geracao-de-energia/> Acesso em: 07 ago.2023.

UFPE/CEPEL. Atlas Solarimétrico do Brasil. 2000. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf Acesso em: 03 jul.2023.

VARGAS, R. A Tecnologia do hidrogênio e a geração de energia elétrica de forma sustentável. 2017. Disponível em: <https://universonerd.net/portal/ensino/%20tecnologia/hidrogenio-energia-sustentavel/> Acesso em: 03 jul.2023.

VILLALVA, M.G e GAZOLI, J.R. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. 2ed. São Paulo: Érica, 2012.