



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

THIAGO ALVES DE OLIVEIRA

**IMPLANTAÇÃO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS COMO COBERTURA
EM ESTACIONAMENTO**

**Sinop/MT
2024**

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

THIAGO ALVES DE OLIVEIRA

**IMPLANTAÇÃO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS COMO COBERTURA
EM ESTACIONAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Avaliadora do Departamento de Engenharia Civil, do Centro Universitário Fasipe - UNIFASIPE, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª: Paula Janaína Souza Farto

**Sinop/ MT
2024**

THIAGO ALVES DE OLIVEIRA

**IMPLANTAÇÃO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS COMO COBERTURA
EM ESTACIONAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Avaliadora do curso de Engenharia Civil – do Centro Universitário Fasipe - UNIFASIPE como requisito para a obtenção do título final de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em ____/____/____.

Paula Janaína Souza Farto
Professor(a) Orientador(a):
Departamento de Engenharia Civil - UNIFASIPE

Geilson Bispo
Professor(a) Avaliador(a):
Departamento de Engenharia Civil – UNIFASIPE

Ursula Leão
Professor(a) Avaliador(a):
Departamento de Engenharia Civil – UNIFASIPE

Pedro Matiazzi da Silva
Departamento de Engenharia Civil – UNIFASIPE
Coordenador do Curso de Engenharia Civil

OLIVEIRA, Thiago Alves de. **Implantação de Placas Fotovoltaicas como Cobertura em Estacionamento.** 2024. 39 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Universitário Fasipe – UNIFASIPE.

RESUMO

Com uma alta disponibilidade de irradiação solar, e com necessidade de coberturas para estacionamentos para proteger os veículos do sol, Sinop tem alto potencial para geração de energia renovável, utilizando desse benefício natural disponibilizado ao meio, consegue-se agregar a necessidade de proteção da cobertura, junto com o retorno do valor investido, utilizando-se das placas fotovoltaicas. O trabalho apresentado tem como objetivo, mostrar a viabilidade de custo, para a instalação de módulos de placas solares na cobertura de estacionamento, apresentar a análise dos custos para a instalação, junto ao retorno do valor investido e o tempo desse retorno. O valor é retornado a médio e longo prazo, com a energia gerada pelas placas fotovoltaicas que, de acordo com presente estudo, o retorno acontecerá 100%, em 19 meses.

Palavras-chave: Geração de Energia; Energia renovável; Cobertura para estacionamento.

OLIVEIRA, Thiago Alves de. **Implementation of Photovoltaic Panels as Parking Coverage**. 2024. 39 pages. Course Completion Work – Fasipe University Center – UNIFASIPE

ABSTRACT

With a high demand for solar irradiation, and the need for parking lot covers to protect vehicles from the sun, Sinop is rich in renewable energy generation, using this natural benefit available to the environment, it is possible to add the need for roof protection, along with the return on the amount invested, using photovoltaic panels. The objective of the work presented is to show the cost feasibility for installing solar panel modules on the parking roof, with the objective of presenting the cost analysis for the installation, along with the return on the amount invested and the time for this return. . The value is returned in the medium and long term, with the energy generated by the photovoltaic panels which, according to this study, will be 100% returned in 19 months.

Key-words: Power generation; Renewable energy; Couverture pour stationnement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de energia solar fotovoltaica	16
Figura 2: Sistemas OFF GRID	18
Figura 3: Sistema híbrido	19
Figura 4: Esquemática da metodologia.....	22
Figura 5: Projetos de cobertura	23
Figura 6: Mapa de ângulo de correção para o norte geográfico.....	26
Figura 7: Especificações elétricas do módulo JÁ SOLAR JAM72S30-540w.....	27
Figura 8: Especificações elétricas do módulo CANADIAN HIKU6 555W	27
Figura 9: Especificações elétricas do módulo INIMEX 585w MONO-NTYPEF.....	28
Figura 10: Especificações inversor - SOLIS MONOFASICO 10K S (S5-GR1P10K).....	29
Figura 11: Especificações inversor - CHINT 30kw TRIFASICO	30
Figura 12: Comparativo entre os três orçamentos das placas fotovoltaicas.....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Irradiação solar no plano inclinado na cidade de Sinop – MT	25
Quadro 2: Ângulo de inclinação do módulo na cidade de Sinop – MT	25

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1 Justificativa	10
1.2 Problematização.....	10
1.3 Objetivos.....	11
1.3.1 Geral	11
1.3.2 Específicos.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1 Histórico da Energia Solar	12
2.2 Cenário energético no Brasil	13
2.3 Energia solar fotovoltaica	13
2.4 Células fotovoltaicas	15
2.5 Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica.....	15
2.6 Mercado fotovoltaico	17
2.7 Sistemas Isolados (OFF GRID)	17
2.8 Sistemas híbridos (ON GRID)	18
2.9 Estrutura para o suporte	19
2.10 Proteção	20
2.11 Instalação Elétrica	20
2.12 Características do Local de Instalação	20
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	22
3.1 Análise dos dados	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
4.1 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico.....	24
4.1.1 Orientação e inclinação	24
4.1.2 Escolha do módulo fotovoltaico	26
4.1.3 Equações utilizadas.....	27
4.1.4 Escolha do Inversor	28
4.1.5 Condutores CC	28
4.1.6 Dispositivos de proteção.....	29
4.2 Orçamento	31
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

Segundo Salamoni *et al.* (2014), a energia fotovoltaica encontra-se, atualmente, entre as principais fontes de energias limpas e sustentáveis utilizadas no mundo, tratando-se de uma geração de energia infinita proveniente do sol. Sua geração de energia elétrica é distribuída de forma inesgotável, silenciosa, estática e contribui para o crescimento energético.

O Brasil possui diversas fontes para geração de energia, por exemplo a hidrelétrica, que é uma das mais utilizadas, cuja geração necessita de água corrente como rios, tornando-se um aspecto negativo, pelas consequências causadas ao meio ambiente e à vida subaquática. Ainda, sua instalação necessita que grandes áreas sejam alagadas, afetando a vegetação natural, provocando assoreamento do leito dos rios e podendo gerar extinção de algumas espécies de peixe, além de provocar impactos sociais, prejudicando a população que reside nesses locais (Salamoni *et al.*, 2014).

Nesse contexto, a busca de novas alternativas na área de inovação na geração de energia renovável cresceu, buscando otimizar a utilização dos recursos naturais já existentes em grande quantidade no território brasileiro, e não afetando o meio ambiente como as anteriores formas de geração de energia (Salamoni *et al.* 2014).

Com todos os recursos tecnológicos disponíveis e novos estudos sendo desenvolvidos dia após dia, uma das opções representada como promissora é a energia solar, principalmente, pelo clima tropical brasileiro. Esse cenário possibilitou a expansão, produzindo energia a partir de fontes alternativas, como a energia solar, que é gerada por meio da utilização de placas fotovoltaicas, que proporcionam benefícios econômicos para a população e ambientais para o planeta (Salamoni *et al.* 2014).

De acordo com Atlas Brasileiro da Energia Solar (2023), a exploração do recurso de energia solar no Brasil mostra-se como uma excelente escolha, para compor fontes de energia assim convencionais já consolidadas como o caso das hidroelétricas. O aproveitamento do recurso solar, beneficia o controle hídrico nos reservatórios, principalmente, em períodos de

menor quantidade de chuvas, viabilizando a otimização e planejamento de novos investimentos em transmissão, geração e distribuição da energia.

Segundo pesquisas realizadas por TopSun Energia Solar (2023), a energia solar atingiu o segundo lugar em energia elétrica, com maior utilização no Brasil, tendo uma representação de 12% de utilização, estando à frente das energias eólica e gás natural, arcando com uma diária máxima no mês de fevereiro de 2023, mais de 5.000 MW, sendo mais de 7% da demanda nacional. Os dados acumulados de 2012 mostram que mais de 129,6 bilhões já foram investidos, R\$ 39,7 bilhões de tributos arrecadados e 781,6 mil novos empregos foram gerados, devido ao crescimento expressivo do setor.

A tecnologia fotovoltaica usa materiais semicondutores como o silício, para converter a luz solar em eletricidade. Os avanços contínuos nessa tecnologia aumentaram a capacidade de fornecimento de eletricidade em todo o mundo, tornando a energia solar fotovoltaica, uma opção limpa, viável e renovável com custos mínimos de manutenção. Atualmente, a energia solar fotovoltaica é a terceira fonte de energia renovável mais importante a nível mundial, em termos de capacidade instalada, depois da energia hídrica e da energia eólica. Atualmente, usada em mais de 100 (cem) países (ANEEL, 2017).

De acordo com ANEEL (2017), a crescente demanda por energia em todo o território brasileiro e o custo de sua geração, têm levado a uma busca cada vez maior, por formas alternativas e mais baratas de geração de energia.

Com a aceitação da Resolução ANEEL 482/2021, tornou-se possível conectar sistemas fotovoltaicos à rede, levando à popularidade de projetos dessa natureza e, maior viabilidade para os usuários finais. Além disso, o preço dos módulos fotovoltaicos caiu significativamente nos últimos anos. Nesse caso, este estudo inclui assim, um projeto de instalação no qual o sistema será conectado à rede que irá gerar energia, a partir da radiação solar em um estacionamento coberto por painéis solares (ANEEL, 2021).

A cobertura de estacionamento com placa solar, é uma estrutura que substitui a cobertura tradicional por placas fotovoltaicas, que captam a energia do sol e a convertem em energia elétrica. Essa estrutura pode ser chamada de estacionamento solar, garagem solar, *carport* solar ou *carport* fotovoltaico.

Contudo, além de gerar energia, a cobertura de estacionamento solar, também oferece sombreamento e abrigo para os veículos. A estrutura pode ser utilizada em residências, condomínios, comércios, indústrias e propriedades rurais e, a instalação pode ser feita em diferentes tamanhos, desde pequenas garagens em residências, até grandes projetos para estacionamentos de empresas e comércios.

1.4 Justificativa

Mostrar que o uso de placas fotovoltaicas para obtenção de energia solar, empregadas em coberturas de estacionamentos de veículos tem muitas vantagens econômicas, visto ser uma energia totalmente renovável e infinita, possuindo grande potencial de produção no território brasileiro, onde a insolação recebida ultrapassa 3000 horas por ano, sendo que no Nordeste do País, há média diária de incidência entre 4,5 a 6 kWh (LAMBERTS *et al*, 2010).

O Brasil pode, portanto, ser considerado um dos países do mundo com maior incidência de radiação solar. De acordo com o estudo de viabilidade, as necessidades de manutenção e custos de instalação de um sistema fotovoltaico são extremamente baixas, tendo em conta a sua vida útil, além disso não emite ruído nem poluição, o que a torna uma opção muito interessante para novos edifícios que visem a utilização de energias renováveis. Empresas e empreendimentos que obtêm benefícios econômicos da produção e uso.

Os sistemas fotovoltaicos para a geração de energia têm como ponto importante seu baixo custo na produção de energia, sendo também, uma fonte de energia renovável, ilimitada e limpa (LAMBERTS *et al*, 2010).

Atualmente, a maior porcentagem de energia produzida no Brasil vem de fontes não renováveis, como o petróleo e carvão mineral. Contudo, não são fontes de energias limpas, colocando-se em questão, o futuro da matriz energética mundial, dando cada vez mais espaço para formas alternativas para de geração energia, entre elas, a solar (LAMBERTS *et al*, 2010).

1.2 Problematização

Devido o rápido crescimento das cidades, indústrias e das grandes capitais, a demanda de geração de energia cresce a cada dia, influenciando assim, negativamente no custo para o consumidor e conseqüentemente, na degradação do meio ambiente, de acordo com a forma que é gerada. Portanto, faz-se necessário, novas formas de geração de energia que seja limpa, renovável e de baixo custo e que não traga pontos negativos para o meio ambiente e seu entorno.

Portanto, tem-se questionado a viabilidade de substituição das coberturas tradicionais dos estacionamentos, por coberturas fotovoltaicas na geração de energia solar na cidade de Sinop/MT que, embora apresente retorno rápido e excelente ao investimento, na maioria dos sistemas, ainda carece de incentivo, por possuir um alto custo de aquisição.

No Brasil, cerca de 93,10% da eletricidade é originária de fontes renováveis, somando as importações, que substancialmente, também tem origem renovável (CCEE, 2024).

O Brasil tem grande potencial para geração de energia solar e, de acordo com o Atlas Solarimétrico do Brasil (2000), a região Nordeste do território brasileiro tem números de radiação diária, média anual semelhante às melhores regiões do mundo.

De acordo com Solfácil (2024), no Brasil, há cerca de 700 mil módulos de placas fotovoltaicas, uma área de aproximadamente 795 hectares.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Analisar a viabilidade de custo da utilização de placas fotovoltaicas para a cobertura de um estacionamento hipotético, para geração de energia elétrica na cidade de Sinop-MT.

1.3.2 Específicos

- Apresentar estimativas de preços para sistemas de geração de energia solar para um telhado para cobertura de estacionamento com 133,01 m²;
- Apresentar custo-benefício da utilização das placas fotovoltaicas para cobertura de estacionamento;
- Apresentar o retorno financeiro do custo investido, com a geração de energia das placas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Histórico da Energia Solar

Segundo Pinho e Galdinho (2014), a energia solar fotovoltaica é a energia obtida quando a energia luminosa é convertida em eletricidade, também conhecida como efeito fotovoltaico. Só pode ser aplicado em células fotovoltaicas fabricadas com materiais semicondutores que possibilitem essa conversão.

O primeiro estudo registrado do efeito fotoelétrico foi descoberto por Edmond Becquerel em 1839, quando percebeu que os materiais semicondutores desenvolviam uma pequena diferença de potencial, quando expostos à luz. Em 1883, Charles Fritz criou a primeira célula solar usando selênio, com eficiência energética de cerca de 1%, sendo um grande avanço na produção de energia solar na época (BERTOLI, 2012).

De acordo com estudos feitos por Vallêra (2017), foi em 1877, W.G. Adams e R.E. Day desenvolveram o primeiro dispositivo capaz de gerar eletricidade quando exposto à luz, usando o princípio da fotocondutividade do selênio. O aparelho tinha baixa eficiência energética, cerca de 0,5%, porém foi capaz de produzir eletricidade. Em 1905, Albert Einstein contribuiu para o desenvolvimento da energia fotovoltaica, que pode incorporar o efeito fotoelétrico, contribuindo para o aprimoramento da tecnologia da energia solar.

A produção dos painéis fotovoltaicos tem alcançado excelentes resultados de crescimento. Em 1978, a produção ultrapassou a marca de 1 MWp.ano-1 e os Estados Unidos eram o líder mundial na produção de energia solar na década de 1990. Em 1998, a produção global de células solares atingiu 150 MWp.ano-1 (BOHN *et al.*, 2019).

Elementos básicos como a eletricidade é de suma importância para o desenvolvimento da sociedade moderna. O fornecimento de eletricidade relaciona-se diretamente com o crescimento econômico, em que as pessoas procuram eletricidade para melhorar a qualidade de vida e bem-estar social (BOHN *et al.*, 2019).

2.2 Cenário energético no Brasil

A maior bacia hidrográfica do mundo pertence ao território brasileiro e afeta a produção de energia elétrica, que provém, principalmente, de usinas hidrelétricas. Em 2010, a energia hidrelétrica responde por aproximadamente 74% da oferta interna do Brasil (MME, 2011a). Entretanto, embora essas placas sejam uma fonte de energia limpa, podem causar alguns danos ao meio ambiente, como desmatamento, inundação de áreas florestais e diversas outras ameaças à flora e à fauna. Portanto, há necessidade de aumentar o investimento em outras fontes de energia sustentáveis, para reduzir a dependência do País, dessas fontes de energia.

No entanto, a maior parte do potencial hidráulico nas áreas urbanas foi utilizada. Isso exige maiores investimentos na distribuição e transmissão de eletricidade, resultando em custos de produção mais elevados. Tornar a expansão de outras fontes de energia renováveis cada vez mais rentável. No Brasil, aproximadamente 86% da eletricidade vem de fontes renováveis, incluindo a eletricidade importada, a maior parte da qual também vem de fontes renováveis (MME, 2011).

O consumo de energia elétrica na indústria aumentou cerca de 9,9%, enquanto o consumo residencial aumentou 6,6%. Restam setores, como o empresarial, o setor público, a agricultura e os transportes, para 2009 de cerca de 4,4%. (MME, 2011).

O potencial do Brasil para energia solar é único, de acordo com o Atlas Solar do Brasil, a radiação diária no Nordeste brasileiro corresponde à radiação média anual nas melhores regiões do mundo, 0,045% de área total do Brasil, ou 3.844 km², de painéis solares seriam suficientes para produzir uma quantidade de energia consumida no país em 2010, que foi de 455,7 TWh (RITCHEI 2017; RUTHER, 2004).

2.3 Energia solar fotovoltaica

A energia solar é baseada no tempo, portanto, apresenta variações espaciais devido às condições meteorológicas locais, associadas ao movimento orbital e rotacional da Terra e a outros fatores astronômicos (ARANDA, 2017).

Bhattacharyya (2012), diz que a energia é um método que funciona usando fontes que são de energia primária (fontes de energia encontradas na natureza como o sol, a água etc.). As fontes de energia secundária (como a eletricidade) são entregues aos consumidores como produtos por meio de uma extensa rede de distribuição.

A energia solar é produzida quando a energia solar é convertida em energia elétrica, por um material que transmite essa energia, conhecido como semicondutor. Esse fenômeno é denominado efeito fotoelétrico (PINHO, 2012).

Já Imhoff (2007), afirma que a energia solar fotovoltaica é gerada pela corrente gerada pela colisão de fótons provenientes da radiação solar, com materiais semicondutores pré-purificados e dopados. A energia solar é definida como a energia convertida da radiação solar em energia elétrica. O processo ocorre por meio de um dispositivo denominado fotocélula, que funciona segundo o princípio do efeito fotoelétrico.

Quando a luz solar atinge pela primeira vez uma célula solar, é criada uma pequena corrente elétrica, é armazenada por meio dos fios ligados à célula e depois transferida para outros componentes do sistema. No Brasil, fatores como as limitações dos recursos não renováveis, o progresso na comercialização de novas fontes de energia, o surgimento de novas tecnologias e as novas orientações dos órgãos relacionados à energia e à proteção ambiental, têm levado a diferentes escolhas na composição do País, nas décadas recentes.

Contudo, em resposta aos níveis crescentes de consumo, a matriz de produção energética do Brasil tornou-se bastante diversificada (WALTER, 2010). O autor destacou que atualmente o Brasil é considerado um dos melhores países do mundo, onde mais de 80% da matriz elétrica, provém de fontes de energia limpa e seu potencial para aumentar esse consumo é muito significativo, graças às condições favoráveis para implementação, a partir de fontes de energia renováveis. Vários fatores interferem, como condições climáticas.

A investigação em energia solar é uma das opções energéticas mais promissoras para aliviar algumas das carências energéticas que a população mundial enfrenta. A energia fotovoltaica obtida por meio de dispositivos fotovoltaicos é chamada de energia solar, que é obtida pela conversão direta da energia luminosa em eletricidade.

Segundo o físico Edmond Becquerel, esse efeito foi relatado em 1839 como um desvio do potencial elétrico nas extremidades de estruturas feitas de materiais semicondutores, causado pela absorção de luz, ou seja, quando a radiação interage com a luz. Nos materiais, os elétrons se movem e são liberados por meio do material, fazendo com que esse potencial se desloque (CRESESB, 2004).

O processo como ocorre a conversão de energia solar para eletricidade é silencioso, não emite gases e não exige a presença de operador para o sistema. Apenas o componente luminoso da energia solar é utilizado para conversão fotovoltaica. As componentes térmicas podem ser utilizadas para outros fins como aquecedores de água, ou mesmo, como geradores usando sistemas solares térmicas combinadas com concentradores (LAMBERTS *et al.*, 2010).

As empresas do setor das telecomunicações começam a tirar partido da tecnologia solar, procurando fontes que sejam alternativas de energia, para sistemas em áreas remotas, buscando vantagem na corrida espacial, uma vez que as células solares são a forma mais económica de fornecer a energia que necessitam, pois podem estar no espaço por longos períodos, o que reduz custo e peso (CRESESB, 2004).

Como resultado da crise energética global de 2000, há um foco crescente no desenvolvimento de novas formas de produção de energia, o que significa que a utilização de células solares, é cada vez mais consumida na Terra e não apenas no espaço. Entretanto, o uso em larga escala da energia solar fotovoltaica não é possível, devido seu alto custo, que é de US\$ 600 por watt, para o programa espacial (CRESESB, 2004).

Graças à expansão dos mercados e às empresas focadas na produção de células solares, o valor médio dos módulos solares europeus em 2011 foi de aproximadamente 1,2€/9. semana, aproximadamente 70% inferior ao preço, 4,2 €/watt (CRESESB, 2004).

2.4 Células fotovoltaicas

O efeito solar ocorre nas células solares, o que as torna em principais responsáveis pelo bom funcionamento dos sistemas solares, quando a radiação solar é convertida em eletricidade. Tais processos utilizam arseneto de gálio, silício, telureto de cádmio ou disseleneto de cobre e índio (semicondutores), juntamente com substâncias dopantes, para criar uma forma adequada à detecção do efeito fotoelétrico (IST; DGS; UE, 2004).

Os materiais semicondutores são mais recomendados para tais aplicações, porque são sólidos e possuem uma estrutura atômica bem cristalina, que consiste em condutividade elétrica moderada.

2.5 Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica

O sistema de energia solar pode ser referido como um conjunto de módulos fotovoltaicos, entre outras coisas, projetados para converter energia elétrica (CRESESB, 2006).

As células fotovoltaicas estão disponíveis comercialmente e, são feitas de silício monocristalino, policristalino e amorfo, porém existem células feitas de diferentes tipos de materiais, como disseleneto de cobre-índio e telureto de cádmio.

A estrutura atômica baseada em silício possui quatro elétrons que se ligam a átomos próximos, para formar uma rede cristalina. Quando um átomo com cinco elétrons é colocado na camada eletrônica de valência de uma rede cristalina, serão produzidos elétrons em excesso que não formarão ligações e permanecerão em excesso (CRESESB, 2006).

Esses sistemas podem ser montados de três formas diferentes: isolados, híbridos e em rede. O uso de cada tipo de sistema pode variar, dependendo das necessidades do projeto e da avaliação financeira.



Fonte: Tolmasquim (2016)

Portanto, um módulo solar consiste em muitas células solares e é a menor unidade técnica responsável por converter a energia luminosa, diretamente em eletricidade.

Segundo CRESESB (2006), as células solares são feitas de um material semicondutor, geralmente silício com uma camada de eletrodo positivo, ou seja, falta de elétrons e uma camada de eletrodo negativo resultado em muitos elétrons, que se combinam para formar um campo elétrico, assim como uma bateria.

Quando os fótons atingem a célula solar, liberam elétrons em excesso dos átomos da camada negativa, que se movem para a camada positiva e formam um circuito elétrico. À medida que os elétrons fluem por meio desse circuito, criam uma corrente elétrica. Várias células constituem um módulo solar e vários módulos são combinados para formar um painel solar. Conforme mostrado na Figura 1, o sistema consiste nas seguintes partes:

- **Moldura:** feita em alumínio, localizada na parte externa do módulo, sendo responsável pela fixação do módulo.

- **Selante:** Adesivo usado para unir a camada interna do módulo à moldura. Sua finalidade é evitar a entrada de umidade e gases e proteger a cabine contra choques mecânicos e vibrações.

- **Vidro:** Protege as células e fios do meio ambiente usando uma camada externa rígida enquanto permite que a luz passe e seja convertida em eletricidade. É usado um tipo especial de vidro com baixo teor de ferro, superfície estruturada e camada antirreflexo, que evita o reflexo da luz incidente do vidro.

- **Encapsulador:** filme fino que envolve uma bateria que, além de otimizar a condutividade, também protege uma bateria de materiais externos e umidade. O material mais comum usado para esse fim, é o acetato de etil vinil (EVA) (CRESESB, 2006).

2.6 Mercado fotovoltaico

O uso da energia solar fotovoltaica tornou-se cada vez mais promissor em muitos países nos últimos anos, devido aos planos governamentais para aumentar os incentivos ao desenvolvimento tecnológico e industrial. Após uma série de atividades em 1974, a Agência Internacional de Energia (AIE) foi criada como uma agência independente dentro da OCDE, que, juntamente com a Comissão Europeia, implementa muitos programas de cooperação energética entre 26 Estados membros.

Em 1993, o "Programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica" (IEA PVPS) foi estabelecido para fortalecer a cooperação internacional e, assim, acelerar a implementação e o desenvolvimento da energia solar como uma fonte importante e sustentável de energia renovável (ARANDA, 2017).

Estudos anuais de implantação de células solares e análises de mercado entre os estados membros, bem como a preparação de relatórios anuais para auxiliar os responsáveis no desenvolvimento de estratégias para empresas e autoridades públicas, na revisão de planos de médio prazo de empresas de energia e outros prestadores de serviço e, o desenvolvimento de planos energéticos do sector energético, é a parte da AIE no trabalho realizado pelo programa PVPS (IEA, 2019).

2.7 Sistemas Isolados (OFF GRID)

Fora da rede os sistemas, são projetados para atender às necessidades de energia de dispositivos específicos e localizados, dependendo da energia armazenada na bateria para alimentar esses dispositivos, durante os períodos em que o sol não está disponível (figura 2).

Esse sistema é frequentemente usado em áreas remotas e, muitas vezes, é a fonte de eletricidade mais econômica e prática (NASCIMENTO, 2019).

Um sistema isolado de fabricação de células solares consiste em quatro partes: um painel solar; controlador de carga, inversor e bateria (NASCIMENTO, 2019). Neste sistema, os painéis solares geram eletricidade de corrente contínua (DC) para alimentação das baterias que armazenam energia para uso quando necessário.

Figura 2: Sistemas OFF GRID



Fonte: NeoSolar (2017)

Um sistema solar *off-grid* conforme mostrado acima, possui as seguintes características (NASCIMENTO, 2019).

- Unidades fotoelétricas: captura a radiação solar e a converte em eletricidade.
- Bateria: armazena a energia elétrica convertida para que possa ser usada.
- Controlador de carga: responsável por controlar o carregamento das baterias e, em alguns casos, a energia usada pelos dispositivos consumidores de energia.
- Inversor Solar (Standalone): converte a corrente contínua gerada pelos painéis solares e é armazenada nas baterias, em corrente alternada, permitindo que a energia elétrica seja usada em dispositivos projetados para serem conectados online.

2.8 Sistemas híbridos (ON GRID)

O sistema solar híbrido (figura 3) tem a capacidade inerente de armazenar a energia gerada nas baterias, alguns possuem geradores auxiliares para ajudá-los a funcionar, e as baterias mais comuns usadas são fosfato de ferro-lítio e acid-chumbo. Esse sistema torna-se interessante em ambientes onde ocorrem quedas de energia frequentes, ou onde o sistema de energia deve operar sem interrupções (SOLIAN, 2019).

De acordo com Nascimento (2019), o sistema de geração estará conectado à rede para produzir energia elétrica para seu consumo, sistemas de armazenamento de baterias e linhas de distribuição, sendo estes dois últimos, percentuais prioritários definidos pelos usuários.

Dessa forma, com base nas preferências definidas pelo administrador, pode-se configurar quando usar a energia armazenada na bateria, utilizando-a quando a energia da rede for insuficiente.



Fonte: Real Solar (2016)

Nascimento (2019) diz que o princípio de funcionamento do gerador fotovoltaico híbrido, é que a energia obtida do painel solar do sol flua para o inversor híbrido para consumo local. Usando calculadoras precisas, a parte restante é armazenada na bateria, até que toda a energia seja alimentada na rede. Na ausência de luz solar, o inversor híbrido fornecerá automaticamente a energia armazenada.

Para os consumidores, caso esse consumo ultrapasse a capacidade da bateria, o inversor recarregará automaticamente a energia da rede, ou até mesmo, de um gerador a combustível.

2.9 Estrutura para o suporte

A estrutura para o suporte dos módulos fotovoltaicos deve ser executada e instalada visando facilitar a manutenção do sistema e quando possível integrar o envoltório da edificação, mantendo a harmonia estética do local (LORENZO; ZILLES, 2020).

De acordo com Lorenzo e Zilles (2020), as estruturas devem resistir a ventos de, até 150

Km/h; precisam ser fabricadas com materiais que suportam a corrosão, como por exemplo, o alumínio; devem estar devidamente aterrada, seguindo corretamente as normas vigentes e os módulos, necessitam dispor pelo menos 1 metro do solo.

Segundo Pfeil; Pfeil (2019), para a execução da estrutura em aço, as peças devem ser devidamente conectadas umas às outras por meio de solda, parafusos ou rebites, o rebite é aquecido em altas temperaturas e colocado no furo previamente executado. Após o resfriamento, o rebite aperta as peças, unindo-as. Esses esforços são muito variáveis, o que dificulta a garantia de um valor mínimo de cálculo, em virtude da baixa resistência mecânica, da necessidade de obra especializada, da instalação lenta e da dificuldade de inspeção.

2.10 Proteção

O uso de fusíveis como chave seccionadora protegem os cabos contra sobrecorrentes, oferecendo maior segurança, o seu uso possibilita que, após passar os cabos em eletrodutos separados por polos positivo e negativo, os condutores de corrente contínua cheguem protegidos, antes de serem conectados ao inversor (RÜTHER, 2004).

2.11 Instalação Elétrica

Para a instalação correta deve-se obedecer a NBR 5410, a mesma que fornece as especificações para instalações elétricas de baixa tensão, o que torna um SFV e uma instalação elétrica convencional divergentes, é o fato de que o gerador fotovoltaico estará energizado sempre que houver incidência da luz solar e, por se tratar de um circuito de corrente contínua dos painéis até o inversor (RÜTHER, 2004).

É necessário um aterramento individual para alguns elementos, a fim de melhorar a segurança do sistema, precisam ser devidamente aterrados os componentes metálicos, a estrutura de montagem dos painéis e o circuito do arranjo fotovoltaico (RÜTHER, 2004).

2.12 Características do Local de Instalação

É de suma importância conhecer o local de instalação antes de planejar um sistema fotovoltaico, para avaliar as condições existentes a princípio como consumo de energia, cálculo do custo global do sistema a fim de evitar erros de produção. Vários parâmetros podem afetar

o desempenho dos módulos, sendo a radiação solar o principal deles, dependendo essencialmente, de sua inclinação e orientação, além da localização geográfica da instalação (RÜTHER, 2004).

Outros fatores que influenciam no rendimento do sistema são o sombreamento parcial, a temperatura dos painéis, a resistência dos condutores, o descasamento entre os painéis de uma mesma *string* e o estado de limpeza dos painéis (RÜTHER, 2004).

Existem condições consideradas ideais para a disposição dos painéis fotovoltaicos, nas quais apresenta-se uma produção que é otimizada, como regra geral, considerando-se a latitude local, é possível obter uma inclinação ótima em relação à horizontal, para incidência solar máxima, em regime anual (RÜTHER, 2004).

A melhor orientação é a que quando a superfície está voltada para o equador que representa o norte geográfico, em instalações no hemisfério sul e o sul geográfico, em instalações localizadas no hemisfério norte, no entanto, em circunstâncias menos favoráveis, em que se impossibilita seguir essa regra, também há capacidade de se alcançar uma geração satisfatória.

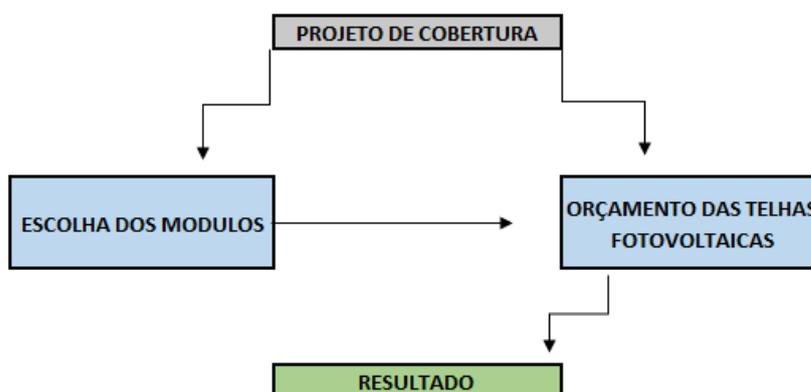
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo constituiu-se em um método de pesquisa, no qual procura-se evidenciar a viabilidade para instalação de painéis solares fotovoltaicos como forma de cobertura de um estacionamento em Sinop-MT.

O trabalho tem como base o levantamento para um sistema fotovoltaico no qual se utilizará um estacionamento hipotético e não para uma edificação em específico.

Assim, adotou-se para instalação dos painéis, uma área de cobertura de 133,01m². A figura 5 apresenta como ocorre a realização do projeto e implantação do sistema fotovoltaico.

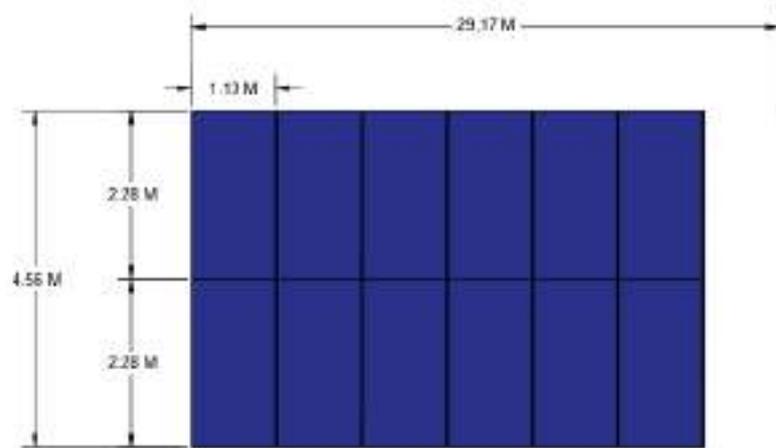
Figura 4: Esquematização da metodologia



Fonte: Própria (2024)

A figura 5 apresenta o projeto da planta baixa da estrutura que foi utilizada bem como a demonstração da implantação das placas solares no telhado.

Figura 5: Projetos de cobertura para placas fotovoltaicas



**Placas fotovoltaicas
esc: 1:100**

Fonte: Própria (2024)

3.2 Análise dos dados

Com os projetos para análise prontos, sendo o projeto para a estrutura metálica, com as delimitações de cobertura, conforme mostrado na figura 5, iniciou-se o processo de captação e separação dos dados.

A estrutura teve como função principal ser utilizada para um estacionamento com suporte de até 10 veículos, tendo como medidas, 29,17 x 4,56 metros totais, onde colocou-se em cima da estrutura metálica para abrigar os carros.

Os projetos foram desenvolvidos no *software* AutoCAD, e foi realizado três orçamentos para as placas fotovoltaicas com área de cobertura de 133,01m², sendo apresentado suas especificações e valores, o orçamento foi realizado em três empresa na cidade de Sinop-MT.

Após todos os dados e orçamentos necessários obtidos, o estudo de caso foi finalizado quando possibilitou-se verificar, a viabilidade da utilização das placas fotovoltaicas para cobertura de estacionamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O estudo teve como intuito uma pesquisa descritiva, que tem objetivo de conhecer e interpretar a realidade, sem que haja interferência ou modificação (CHURCHILL, 2022).

O método de pesquisa utilizado foi a pesquisa quantitativa, que tem como foco procurar evidenciar a viabilidade econômica da instalação de painéis solares fotovoltaicos, como forma de cobertura de um estacionamento na cidade de Sinop-MT.

O trabalho considerou o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos para um estacionamento hipotético. Assim, foram adotadas informações de área de 133,01 m² para cobertura.

4.1 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

A produção de eletricidade em um sistema solar depende da eficácia e dos coeficientes de temperatura dos painéis, da posição e inclinação do sistema, da eficácia dos conversores e da quantidade anual de radiação solar no local (kWh/m²).

A pesquisa concentrou-se em analisar a instalação de um sistema de geração de energia solar conectado à rede elétrica, considerando o dimensionamento, conforme as diretrizes da NBR 16274 e NBR 16150, avaliando os custos dos componentes necessários.

4.1.1 Orientação e inclinação

Segundo Pereira *et al.* (2017), a cidade em estudo, Sinop MT, se situa a 11°86' ao sul do Equador e a 55°50', à oeste do Meridiano de Greenwich, a uma elevação de 384m, apresentando um potencial de irradiação global horizontal de até, 5.500 Wh/m²/dia.

Segundo estudos realizados por Emilia Garcez (2018), sobre Análise do potencial energético para aplicação de placas fotovoltaicas utilizando o ângulo ideal de inclinação e diferentes orientações em Sinop-MT, o ângulo ideal para posicionamento das placas

fotovoltaicas, situa-se na região norte, com uma inclinação de 15°. Segundo estudo realizado pela mesma, nessa posição as placas em estudo atingiu uma média de 5,48 kWh/m²/dia.

Dado que essa inclinação é sobre o plano horizontal, vê-se no Quadro 1, o qual inclui os dados de insolação solar média, ao longo dos meses obtidos pelo site,

Quadro 1: Irradiação solar no plano inclinado na cidade de Sinop - MT

Angulo	inclinação	Irradiação solar diária média mensal (kwh/m ² . dia)													
		Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
Plano horizontal	0° N	5,09	5,00	4,93	4,86	4,67	4,61	4,91	5,23	5,12	5,30	5,11	5,21	5,00	0,69
Angulo igual a latitude	12° N	4,78	4,83	4,94	5,10	5,12	5,18	5,48	5,62	5,23	5,18	4,84	4,85	5,10	0,83
Maior média anual	13° N	4,75	4,81	4,94	5,11	5,15	5,22	5,52	5,64	5,23	5,16	4,81	4,82	5,10	0,89
Maior mínima mensal	7° N	4,93	4,92	4,96	5,02	4,95	4,97	5,26	5,48	5,20	5,25	4,97	5,02	5,08	0,56

Fonte: CRESESB, (2020)

O quadro analisado, em estudo por Emilia Garcez, estudante da Universidade Federal do Mato Grosso - UFMT em Cuiabá, traz informações obtidas, que mostra o ângulo de instalação proposto para painéis fotovoltaicos segundo a latitude da cidade de Sinop MT (EMILIA GARCEZ, 2018)

Quadro 2: ângulo de inclinação do módulo na cidade de Sinop - MT

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

Fonte: VILLALVA, (2012)

Sinop-MT tem os dados de latitudes em 15°, e ao retirar os dados obtidos pela tabela, tem-se os valores entre 11° e 20°, com o ângulo de inclinação recomendado igual a ($\alpha = \text{latitude}$), em que α é o ângulo de inclinação recomendado.

Desse modo, tem-se que o ângulo de inclinação aconselhado é de 15°.

Figura 6: Mapa de ângulo de correção para o norte geográfico.



Fonte: SANTOS, (2020)

Na figura 6, é possível analisar o ângulo de correção para o Estado do Mato Grosso, sendo de 15°, portanto, deve-se somar 15° ao ângulo exposto pela bússola, para que se possibilite encontrar o norte geográfico.

4.1.2 Escolha do módulo fotovoltaico

O orçamento e escolha dos módulos solares foram realizados junto a três empresa localizadas na cidade de sinop, onde os módulos escolhidos foram de 540w, 555W e 585w para atender toda a área do estacionamento de aproximadamente 133,01m² onde foram utilizadas 50 placas fotovoltaicas, distribuídas em duas fileiras, conforme apresentado na figura 5.

Os módulos escolhidos foram do modelo, JÁ SOLAR JAM72S30-540w MR, CANADIAN HIKU6 555W e INIMEX 585w MONO-NTYPEF.

Figura 7: Especificações elétricas do módulo JÁ SOLAR JAM72S30-540w

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC			
TYPE	JAM72S30 -530/MR	JAM72S30 -535/MR	JAM72S30 -540/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	530	535	540
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.30	49.45	49.60
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.31	41.47	41.64
Short Circuit Current(Isc) [A]	13.72	13.79	13.88
Maximum Power Current(Imp) [A]	12.83	12.90	12.97
Module Efficiency [%]	20.5	20.7	20.9
Power Tolerance	±5W		
Temperature Coefficient of Isc(α_{Isc})	+0.046%/°C		
Temperature Coefficient of Voc(β_{Voc})	-0.275%/°C		
Temperature Coefficient of Pmax(γ_{Pmp})	-0.350%/°C		

Fonte: JA SOLAR, (2024)

Figura 8: Especificações elétricas do módulo CANADIAN HIKU6 555W

ELECTRICAL DATA STC*						
CS6W	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS	555MS
Nominal Max. Power (Pmax)	530 W	535 W	540 W	545 W	550 W	555 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	40.9 V	41.1 V	41.3 V	41.5 V	41.7 V	41.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	12.96 A	13.02 A	13.08 A	13.14 A	13.20 A	13.25 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.8 V	49.0 V	49.2 V	49.4 V	49.6 V	49.8 V
Short Circuit Current (Isc)	13.80 A	13.85 A	13.90 A	13.95 A	14.00 A	14.05 A
Module Efficiency	20.5%	20.7%	20.9%	21.1%	21.3%	21.5%
Operating Temperature	-40°C – +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	25 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 10 W					

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

Fonte: Canadian, (2024)

Figura 9: Especificações elétricas do módulo INIMEX 585w MONO-NTYPEF

STC — Características Elétricas					
Modelo	DHN-72X16/FS				
Potência máxima (Pmax/W)	560	565	570	575	580
Tensão de circuito aberto (Voc/V)	50,6	50,8	51,0	51,2	51,4
Tensão em máxima potência (Vmp/V)	42,8	43,0	43,2	43,4	43,6
Corrente de curto-circuito (Isc/A)	13,90	13,96	14,02	14,08	14,14
Corrente em máxima potência (Imp/A)	13,08	13,14	13,19	13,25	13,30
Eficiência do módulo (%)	21,68	21,87	22,07	22,26	22,45

Tolerância de Potência: 0-+5W. Coeficiente de temperatura de Isc: 0,048%/°C. Coeficiente de temperatura de Voc: -0,25%/°C. Coeficiente de potência de Pm Ambiente de teste padrão. Irradiância: 1000W/m². Temperatura do ar: 25°C. Espectro AM1,5

Fonte: Inimex, (2024)

A área estimada para as instalações dos módulos é de 133,01m², cada módulo tem dimensões 2278 × 1134 × 30mm. Foram necessários 50 módulos de placas fotovoltaicas, com 2,57m², para cobrir a área total.

4.1.3 Equações utilizadas

Após a apuração dos dados relacionados à inclinação, orientação e insolação das placas e especificações do módulo fotovoltaico, necessitou-se empregar certas equações matemáticas para o dimensionamento do sistema e realizar a análise de geração de energia em todos os módulos.

Para isso, utilizou-se a seguinte equação para determinar a energia elétrica produzida diariamente por um módulo, para se ter a quantidade média de geração de energia por placa, sendo necessário pegar a potência de cada uma das placas escolhidas no projeto em estudo, os módulos escolhidos têm 540w, 550w e 585 w por mês, esse valor deve ter multiplicado por 0,12, que representa a produção por WP (watt por pico).

Desse modo, tem-se que:

Orçamento 1: geração de energia por placa é: $540 \times 0,12 = 66,00$ kW h/mês de energia. Sendo 2,20 kW h/dia. de energia por dia em cada placa, sendo um total de 50 placas 110 kW h/dia. de energia em toda a estrutura.

Orçamento 2: geração de energia por placa é: $555 \times 0,12 = 66,60$ kW h/mês de energia. Sendo 2,22 kW h/dia. de energia por dia em cada placa, sendo um total de 50 placas 111 kW h/dia. de energia em toda a estrutura.

Orçamento 3: geração de energia por placa é: $585 \times 0,11 = 66,9$ kW h/mês de energia. Sendo 2,23 kW h/dia. de energia por dia em cada placa, sendo um total de 50 placas 111,66 kW h/dia. de energia em toda a estrutura.

4.1.4 Escolha do Inversor

Com o conhecimento do potencial total utilizado para todo o sistema, pode-se escolher o inversor para compor os módulos.

Com a escolha dos módulos, a empresa responsável pela instalação pontuou a importância de se escolher dois inversores, para melhor divisão do sistema, conseguindo assim, melhor eficiência na geração de energias dos modelos.

O inversor selecionado foi o modelo SOLIS MONOFASICO 10K S (S5-GR1P10K), divididos em 25 unidades de placas fotovoltaicas para cada inversor de potência 10kW para o orçamento 1 e 2 com o modelo de placa de 540w e 550w, e para o orçamento 3 com o modulo escolhido de 585w foi escolhido apenas um inversor do modelo CHINT 30kw TRIFASICO

Figura 10: Especificações inversor - SOLIS MONOFASICO 10K S (S5-GR1P10K)



Folha de Dados **S5-GR1P(7-10)K**

Modelo	7K	8K	9K	10K
Entrada CC				
Potência máxima de entrada	11,3 kW	13,6 kW	15,3 kW	17 kW
Tensão máx de entrada	600V			
Tensão nominal	350V			
Tensão de partida	120V			
Intensidade de tensão (MPP)	100-1000V			
Corrente máx de entrada	34,4 / 34 A / 34 A			
Corrente máx de curta-circuito	22 A / 20 A / 20 A			
MPPs / Número de Entradas	3/2			
Saída CA				
Potência nominal de saída	7 kW	8 kW	9 kW	10 kW
Potência nominal de saída a 40°C	7 kW	8 kW	9 kW	10 kW
Potência máx de saída aparente	7,7 kVA	8,8 kVA	9,9 kVA	11 kVA
Potência máx de saída	7,7 kW	8,8 kW	9,9 kW	10 kW
Potência máx de saída a 40°C	7,7 kW	8,8 kW	9,9 kW	10 kW
Tensão nominal da rede	1/N/PE, 220 V / 230V			
Frequência nominal da rede	50 Hz			
Corrente nominal de saída da rede	31,8 A / 33,4 A	36,4 A / 34,8 A	40,3 A / 39,1 A	45,5 A / 43,5 A
Corrente máx de saída	33,7 A	38,8 A	41,3 A	46,9 A
Fator de potência	+ 0,99 / 0,9 (cosφ) - 0,8 (armazenado)			
Harmônicas (THDi)	+3%			

Fonte: Solis, (2024)

Figura 11: Especificações inversor - CHINT 30kw TRIFASICO

Modelo	CPS SCA30KTL-T/SA	CPS SCA30KTL-T/SA
Entrada CC		
Máx. Potência CC	51kW	61,2kW
Máx. Tensão CC		800Vdc
Faixa de Tensão MPPT (Carga Total)		200 - 750V
Tensão de Partida		250Vdc
Tensão CC Nominal		360Vdc
Número de MPPT		4
String por MPPT	3 / 3 / 2 / 2	3
Máx. Corrente de Entrada por MPPT	30A / 30A / 26A / 26A	30A
Corrente de Curto-Circuito por MPPT	45A / 45A / 30A / 30A	45A
Fusível da String		20A
Desconexão CC		Chave CC Integrada
Saída CA		
Potência CA Nominal	28kW	34,5kW
Máx. Potência CA	33kW	40kW
Tensão Nominal CA		208 / 220 / 240V ¹
Faixa de Tensão CA Nominal ¹		150 - 300V
Tipo de Conexão de Rede		3Φ / N / PE
Máx. Corrente CA	83A	60A
Frequência de Rede		50 / 60Hz
Faixa de Frequência de Rede ²		45-55 / 55-65Hz
Fator de Potência (cosφ)		>0.99 (±0.8 ajustável)
Corrente THD		< 3%
Desconexão CA		/
Dados		

Fonte: Chint Power, (2024)

4.1.5 Condutores CC

Segundo Rosa; Santos, 2016, a corrente suportada do cabeamento CC necessita apresentar valor maior ou igual à multiplicação da corrente de curto-circuito dos módulos pelo fator 1,25. Além disso, a equação abaixo exhibe matematicamente como a seção mínima do condutor CC deveria ser calculada.

$$S = \frac{L \cdot P}{\rho \cdot e \cdot U^2}$$

Sendo:

S a área dos cabos em mm²;

L é o comprimento do cabo em metros;

P a potência do sistema medida em W;

ρ a condutividade elétrica do cobre (56m/ω.mm²);

e é a queda da tensão (3%);

U a tensão de trabalho em volts.

No entanto, em sistemas caracterizados pela microgeração e minigeração, para uma utilização simplificada, ocorre a padronização da seção dos condutores, pelos fabricantes dos módulos. Assim, a seção de cabeamento estabelecida pelo fabricante no caso do módulo

considerado, é de 4mm².

4.1.6 Dispositivos de proteção

Referente ao lado CC do circuito, os dispositivos de proteção são dimensionados, tendo em vista a tensão máxima do inversor, em decorrência disso fez-se o uso de 2 disjuntor bipolar DC 1000V e 25A e 2 DPS de 1000V.

4.2 Orçamento

Os orçamentos apresentados foram disponibilizados por três empresa na cidade de Sinop-MT, com isso, fornecidos dados para instalação desse sistema para a cidade de Sinop MT, incluindo material e instalação de todo o sistema.

Os valores abaixo apresentados são constituídos com todo material e mão de obra para a instalação das 50 unidades de módulos de placas fotovoltaicas, conforme suas especificações.

O primeiro orçamento proposto, é apresentado o módulo JÁ SOLAR JAM72S30-540w, resultando em um valor total de R\$ 63.000,00 (sessenta e três mil reais), sendo que os 50 módulos tiveram uma geração de energia mensal de 3.300 KWh/ mês com o KWh custando R\$1,13 da produção em reais das placas, ficando em R\$ 3.729,00, mensalmente.

Anualmente, as placas terão uma geração de 39.600 KWh, dando um retorno médio de R\$ 44.748,00 ao ano, em geração de energia. Ao se comparar com o valor investido de R\$63.000,00, as placas se pagarão com 17 meses e, após esse período, toda a estrutura dos módulos implantados começará a obter o lucro médio de R\$3.729,00 mensal e R\$ 44.748,00 anualmente.

O segundo orçamento proposto, é apresentado o módulo CANADIAN HIKU6 555W, resultando em um valor total de R\$ 70.000,00 (setenta e cinco mil reais), sendo que os 50 módulos tiveram uma geração de energia mensal de 3.363,50 KWh, com o KWh custando R\$1,13 da produção em reais das placas, ficando em R\$ 3.800,75, mensalmente.

Anualmente, as placas terão uma geração de 40.362 KWh, dando um retorno médio de R\$ 45.609,06 ao ano, em geração de energia. Ao se comparar com o valor investido de R\$70.000,00, as placas se pagarão com 19 meses e, após esse período, toda a estrutura dos módulos implantados começará a obter o lucro médio de R\$3.800,75 mensal e R\$ 45.609,06 anualmente.

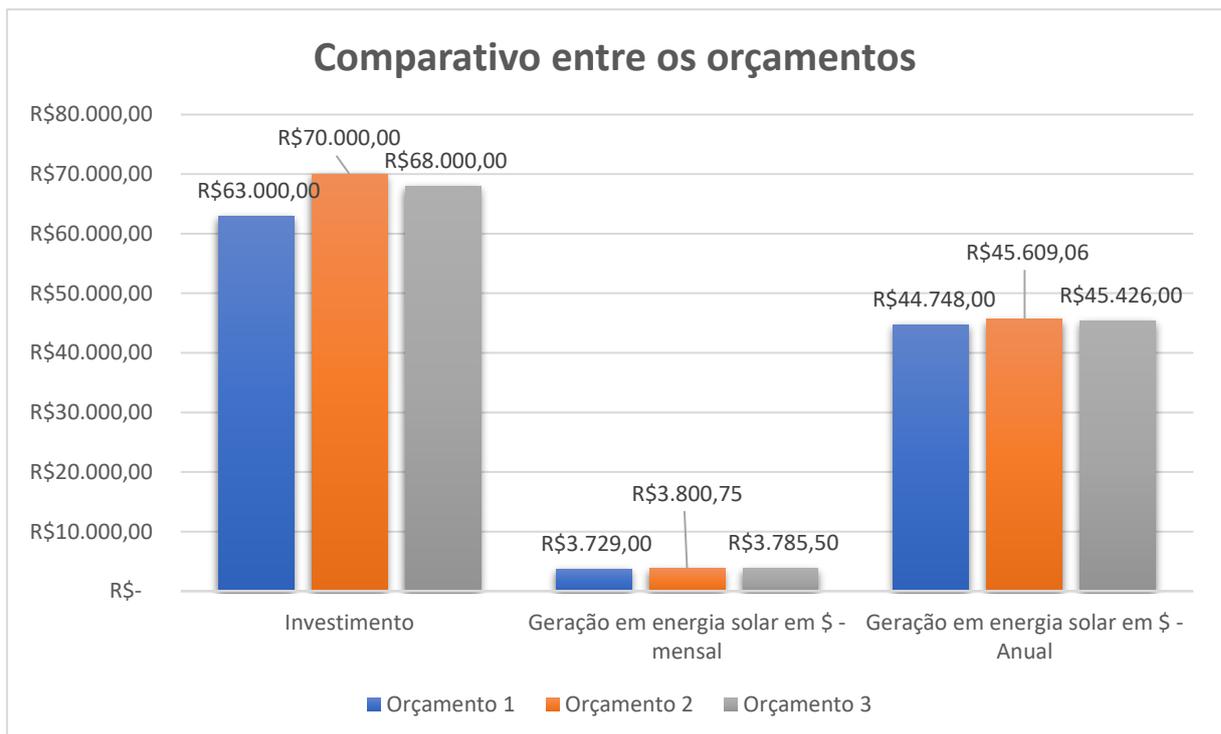
O Terceiro orçamento proposto, é apresentado o módulo INIMEX 585w MONO-

NTYPEF, resultando em um valor total de R\$ 68.000,00 (sessenta e oito mil reais), sendo que os 50 módulos tiveram uma geração de energia mensal de 3.350 KWh, com o KWh custando R\$1,13 da produção em reais das placas, ficando em R\$ 3.785,50 mensalmente.

Anualmente, as placas terão uma geração de 40.200 KWh, dando um retorno médio de R\$45.426,00 ao ano, em geração de energia. Ao se comparar com o valor investido de R\$68.000,00, as placas se pagarão com 18 meses e, após esse período, toda a estrutura dos módulos implantados começará a obter o lucro médio de R\$3.785,50 mensal e R\$ 45.426,00 anualmente.

Na figura 12 é apresentado o comparativo de investimento e em retorno entre os 3 orçamentos obtidos, podendo ser observado que o orçamento 2, mesmo tendo um valor mais alto em investimento para sua instalação, traz um maior retorno mensalmente e anualmente em geração de energia transformado com reais.

Figura 12: Comparativo entre os três orçamentos das placas fotovoltaicas



Fonte: Própria, (2024)

Aleixo (2020) traz em sua pesquisa, a análise para a viabilidade da utilização de uma opção alternativa na geração de energia limpa, por meio de um projeto de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, implementado como forma de cobertura de um estacionamento. Em sua análise foram apresentados 96 módulos do modelo Canadian CSI CS6K-270P, com um

inversor, tendo uma potência de 1,37kW h/dia por placas, totalizando 47.347,2 KWh ao ano.

Em busca de trazer melhor custo econômico, optou-se em seu estudo pela utilização de placas com médio potencial de geração de energia e apenas 1 inversor, para as 96 placas. Com isso, a geração de energia não é aproveitada em sua melhor produção disponibilizada pelos módulos, podendo haver perdas de energia, com o uso de apenas um inversor.

Farias (2020) apresenta em seu estudo, a análise da implantação de placas fotovoltaicas para geração de energia elétrica em um estacionamento localizado na cidade de Brasília, utilizando como base uma estrutura de *Carport*, com 192 módulos fotovoltaicos, tendo como resultado de seu estudo 405 *Wp* para esses módulos, com uma potência instalada das placas de 77,76 *kWp*, gerando, aproximadamente, 140.000 *kWh* ao ano, economizando-se um valor acerca de R\$ 98.000,00 em energia gerada anualmente, considerando valores pela tarifa de energia elétrica cobrada pela companhia Elétrica de Brasília.

Barcik (2020) complementa com sua pesquisa, diante de uma análise do local de instalação do sistema, em que se verificou uma área total de 12 (doze) mil metros quadrados, utilizada para estacionamento de uma universidade em Curitiba, e como resultado, obteve-se que os custos de implantação para esse projeto, teriam um investimento de R\$ 1.688.376,76 (um milhão, seiscentos e oitenta e oito mil, trezentos e setenta e seis reais e setenta e seis centavos).

O dimensionamento para transformar essa área em coberturas para estacionamento, resultou em dois sistemas de minigeração, o primeiro com potência de 178,2 kW e o segundo com potência de 158,4 kW. A área total ocupada pelo sistema é de 1.700m², tendo como análise econômica do sistema uma estimativa de 7 anos para retorno do valor investido para essa implantação, concluindo que o projeto proposto se mostra viável tecnicamente e economicamente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geração distribuída fotovoltaica, é uma das fontes renováveis mais promissoras da atualidade e, diante da análise apresentada no presente trabalho, é possível verificar que a escolha de placas fotovoltaicas para coberturas de estacionamento, é uma ótima opção pela sua fonte de retorno do investimento realizado, em que todo o valor gasto para a instalação e montagem dos módulos, retornará para o proprietário a médio e longo prazo.

Por se tratar de uma região com ampla irradiação solar, Sinop se torna uma cidade com grande geração de energia solar, gerando até 2,23 kW h/dia por placa instalada e, com a grande demanda para necessidade de construção de estruturas de estacionamento, na proteção dos veículos da irradiação solar, a escolha desse tipo de placas torna-se cada dia mais atrativa.

A energia é algo utilizado por 100% da população e, ao escolher as placas como cobertura, além de geração de energia, aproveita-se um espaço dar proteção aos carros, tudo em uma estrutura apenas, otimizando assim, gastos, e prospectando retorno no valor investido.

Teve-se como resultado da análise de custo do estacionamento em estudo, para a cobertura de 133,01 m², considerando 3 orçamentos obtidos na cidade de Sinop, o custo meio dos orçamentos de sessenta e sete mil reais, vendo que anualmente, os 50 módulos terão uma média de geração de energia de R\$ 45.261,02 (quarenta e cinco mil, duzentos e sessenta e um reais e dois centavos).

Portanto, em análise individual, dos 3 orçamentos obtidos, pode-se concluir que a melhor opção entre os orçamentos apresentados para instalação dos módulos para a cobertura de estacionamento é o orçamento 2, onde terá um investimento de R\$70.000,00 (setenta mil reais), gerando mensalmente um valor de R\$ 3.800,75 e anualmente R\$ 45.609,06 e em apenas 19 meses, todo o valor investido será pago, tendo a partir de então, lucro desse valor mensal e anualmente, retornado, em forma de energia, sendo disponibilizado para utilização sua residência, ou comércio, com uma durabilidade de toda a estrutura de 25 a 30 anos.

Essa energia fica como saldo em kwh, sendo assim, possível de se utilizar, conforme a demanda necessária, ou vender os kwh para a rede de energia da região. Conclui-se, então, que é uma excelente opção de investimento a implantação das placas fotovoltaicas para a cobertura do estacionamento, tendo em vista seu retorno em médio e longo prazo.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17:2020** - Energia solar fotovoltaica - Terminologia. Rio de Janeiro, 2020.

ANEEL. **Resolução N°482/2017**: estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e mineração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. ANEEL, São Paulo 2017 a 2021.

ANEEL, C. T. **Micro e minigeração distribuída**: Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília, DF, Brasil: Centro de Documentação–Cedoc, 2017.

ARANDA, R. T. **Energia Solar Fotovoltaica no território brasileiro**. Rio de Janeiro, 2017.

ATLAS BRASILEIRO DA ENERGIA SOLAR. **Atlas Solar Global**: Energia solar no Brasil. Rio de Janeiro, 2023.

ATLAS SOLARIMÉTRICO DO BRASIL. **Solarimetria no Brasil**: Situação e Propostas. Brasil, 2000.

BERTOLI, G. C. **Sistemas fotovoltaicos de geração de energia**: comparação de desempenho entre um sistema com rastreamento solar e um sistema estático. Bauru, 2012.

BHATTACHARYYA, SUBHES. **Energy Economics**: Concepts, Issues, Markets and Governance. Springer, Dundee, Rio de Janeiro, 2011.

BOHN, CARLOS ADRIANO. **Influências na Geração de Energia Elétrica em Módulos Fotovoltaicos Revestidos por Policarbonato Alveolar e Compacto**. Paraná, 2019.

CANADIAN. **HIKU6 55. 5W CS6W-555MS**. Brasil 2024.

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar – GTES. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2004 a 2006.

CCEE – CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **As principais fontes de energia renovável no Brasil**. Brasília, 2024.

CHURCHILL, GILBERT A.; PETER, J. PAUL. **Marketing**: Criando Valor para os Clientes. São Paulo: Saraiva, 2000.

CHINT POWER, **Inversor String Chint Power Alto Retorno de Todo o Ciclo de Vida**. São Paulo, 2024

EMILIA, GARCEZ. **Análise do potencial energético para aplicação de placas fotovoltaicas utilizando o ângulo ideal de inclinação e diferentes orientações em Sinop-MT.** Cuiabá, 2024.

FARIAS, JOSÉ ARTHUR MARTINS. **Projeto de Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede Elétrica utilizando Estacionamento com Cobertura de Módulos Fotovoltaicos.** Brasília, 2020.

IEA, INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Perspectivas Energéticas Mundiais.** Paris 2019

IMHOFF, JOHNINSON. **Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos.** Santa Maria, 2007.

IST; DGS; UE. **Energia fotovoltaica, manual sobre tecnologias, projecto e instalação.** 2004, Janeiro. Disponível em:<https://www.jgduarte.com/download/greenpro_fotovoltaico.pdf> Acesso em: 18 de março de 2024.

LAMBERTS, R. *ET AL.* **Casa eficiente: consumo e geração de energia.** Vol. 2. Florianópolis: UFSC, LabEEE. Florianópolis, 2010.

LORENZO E ZILLES. **Módulos fotovoltaicos para placas fotovoltaicas.** São Paulo, 2020

MME. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Estudo e propostas de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas.** Relatório do Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos – GT – GDSF. Brasília, 2011.

NASCIMENTO, R. L. **Energia solar no Brasil: situação e perspectivas.** Brasília, 2019.

PFEIL, W; PFEIL, M. S. **Estruturas de aço: dimensionamento prático.** Rio de Janeiro: 2020.

PINHO, J.T. E GALDINO, M.A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** CRESESB/CEPEL. Rio de Janeiro, 2012 a 2014.

PINHO, J. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2012.

PINHO, J.T. E GALDINO, M.A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** CRESESB/CEPEL. Rio de Janeiro, 2012 a 2014.

RITCHEI, H. RUTHER. **Atlas Solar Global: Energia solar no brasil.** São Paulo, 2017.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos.** Florianópolis: Editora UFSC/LABSOLAR, Rio de Janeiro, 2004.

SALAMONI, I., SANTOS, Í., ZOMER, C., & RÜTHER, R. **Estudo do potencial de contribuição da energia solar fotovoltaica integrada a prédios públicos e interligada à rede elétrica na região sul do brasil em períodos quentes.** São Paulo 2014.

SOLIAN, O. **Energia solar: sistema solar híbrido**. Brasília, 2019.

SOLFACIL. **Usinas Fotovoltaicas no Brasil**. Rio de Janeiro, 2024.

TELHAS TERMOACÚSTICAS. **Portal Metálica: Construção Civil**, São Paulo 2018.

TOPSUN ENERGIA SOLAR. **Marca histórica: Brasil ultrapassa 22 GW de energia solar**. São Paulo, 2023.

VALLÊRA, A. M. **Meio Século de História Fotovoltaica**. São Paulo 2017.

VILLALVA, M. G.; FILHO, E. R.; GAZOLI, J. R. **Modelagem e simulação baseada em circuitos de matrizes fotovoltaicas**. Revista Brasileira de Eletrônica de Potências, 2012.

WALTER, Osvaldo Luiz. **Propostas para inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. Porto Alegre, 2010.