

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL - GUARAPUAVA
ENGENHARIA CIVIL**

MATHEUS MARTINS PEREIRA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS EM UMA RESIDÊNCIA DE 100 M² NA CIDADE DE
GUARAPUAVA-PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GUARAPUAVA

2021

MATHEUS MARTINS PEREIRA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS EM UMA RESIDÊNCIA DE 100 M² NA CIDADE DE
GUARAPUAVA-PR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Coordenação de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Adriano Martins de Souza

GUARAPUAVA

2021

ATA DA DEFESA

Realizou-se no dia **27 de agosto de 2021**, às **10h30min**, no Campus Guarapuava da UTFPR, a defesa Trabalho de Conclusão de Curso, como requisito parcial para aprovação do aluno **Matheus Martins Pereira**, na disciplina de TCC2 do Curso de Engenharia Civil intitulado: **ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS EM UMA RESIDÊNCIA DE 100M² NA CIDADE DE GUARAPUAVA-PR.**

A Banca foi composta pelo Presidente:

Prof. Msc. Adriano Martins de Souza (Orientador), e pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Rodrigo Scoczynski Ribeiro

Prof. Dr. Marcelo Henrique Granza

Guarapuava, 27 de agosto de 2021.

AGRADECIMENTOS

Somente palavras não serão suficientes para descrever a minha gratidão a todos esses anos que marcaram uma importante fase da minha vida. Porém, aqui vai algumas menções a pessoas especiais que estiveram comigo.

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar energia, saúde e a oportunidade de conhecer pessoas tão gentis e inteligentes, que certamente me alçaram a um nível que eu jamais poderia imaginar.

Ao meu professor orientador Adriano Martins de Souza, pela paciência e clareza em me passar as informações necessárias a esse trabalho. Sem sua orientação, a dificuldade seria muito maior e o resultado certamente inferior.

Aos colegas que tornaram-se amigos por compartilhar tantas experiências, noites de estudos, dificuldades. Vocês conseguiram tornar essa trajetória muito mais leve e divertida.

A minha família, que sempre esteve comigo e me deu suporte em todos esses anos. Mãe, pai, irmãos, sem vocês nada disso seria possível.

A minha namorada, a quem compartilhei todos os momentos difíceis e felizes, e esteve sempre ao meu lado em todos esses anos me dando forças para continuar.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma tiveram contato comigo nessa trajetória. Tanto as experiências positivas e negativas me fizeram chegar até aqui e evoluir como pessoa.

RESUMO

PEREIRA, Matheus Martins. **Análise da viabilidade econômica da aplicação de painéis fotovoltaicos em uma residência de 100 m² na cidade de Guarapuava-PR.** 2021. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2021.

Este trabalho apresenta uma análise econômica da instalação de painéis fotovoltaicos em uma residência de 100 m² na cidade de Guarapuava-PR. O sistema fotovoltaico utilizado para a residência foi o conectado à rede (on grid), onde a energia gerada é injetada na rede de distribuição municipal de energia elétrica. O dimensionamento do sistema foi feito com base em uma residência modelo de 100 m² ocupado por uma família composta por quatro pessoas. Em seguida, foi estimado o custo de instalação do sistema. Por fim, realizou-se uma análise econômica usando as ferramentas financeiras, Payback, Payback Descontado, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). Os resultados demonstraram boa rentabilidade mesmo adotando premissas conservadoras, como o não aumento da tarifa de energia. A TIR obtida foi de 23,67%, a qual superou a TMA (Taxa Mínima de Atratividade) de 10% estipulada. Os painéis fotovoltaicos já estão inseridos no mercado há alguns anos, e mesmo o Brasil tendo um alto potencial fotovoltaico, ainda utiliza pouco dessa tecnologia. Em 2020, apenas 1,9% da geração de energia elétrica brasileira foi provida pela energia fotovoltaica.

Palavras-chave: Sistemas fotovoltaicos. Energia solar. Energias renováveis. Geração solar. Painéis fotovoltaicos.

ABSTRACT

PEREIRA, Matheus Martins. **Analysis of the economic feasibility of applying photovoltaic panels in a 100 m² house in the city of Guarapuava-PR.** 2021. 63 p. Work of Conclusion Course in Civil Engineering - Federal University of Technology - Paraná. Guarapuava, 2021.

This work presents an economic analysis of the installation of photovoltaic panels in a 100 m² home in the city of Guarapuava-PR. The photovoltaic system used for the residence was connected to the grid (on grid), where the generated energy is discharged into the municipal electric energy distribution network. The sizing of the system was based on a model house of 100 m² occupied by a family composed of four people. Then, the cost of installing the system was estimated. Finally, an economic analysis was carried out using the financial tools, Payback, Discounted Payback, Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR). The results showed good profitability even with conservative assumptions, such as not increasing the energy tariff. The IRR obtained was 23.67%, which surpassed the stipulated TMA (Minimum Rate of Attractiveness) of 10%. Photovoltaic panels have already been on the market for a few years, and even though Brazil has a high photovoltaic potential, it still uses little of this technology. In 2019, only 1.9% of Brazilian electricity generation was provided by photovoltaic energy.

Keywords: Photovoltaic systems. Solar energy. Renewable energy. Solar generation. Photovoltaic panels.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Célula Fotovoltaica..... | 14 |
| Figura 2 – Funcionamento da célula fotovoltaica | 15 |
| Figura 3 – Acumulo de cargas na junção p-n..... | 16 |
| Figura 4 – Matriz de painéis solares fotovoltaicos..... | 17 |
| Figura 5 – Curva característica I-V para 4 módulos FV associados em série. | 18 |
| Figura 6 – Curva característica I-V para 4 módulos FV associados em paralelo. | 19 |
| Figura 7 – Esquema de um sistema fotovoltaico domiciliar em corrente contínua | 21 |
| Figura 8 – Sistema fotovoltaico em uma residência em c.c. com acumulador | 22 |
| Figura 9 – Sistema fotovoltaico misto..... | 23 |
| Figura 10 – Sistema fotovoltaico híbrido | 24 |
| Figura 11 – Esquema do funcionamento do sistema fotovoltaico conectado à rede . | 25 |
| Figura 12 – Exemplo de um medidor de energia fotovoltaica em uma residência | 25 |
| Figura 13 – Potencial de energia fotovoltaica do Brasil..... | 27 |
| Figura 14 – Potencial de energia fotovoltaico da Alemanha | 28 |
| Figura 15 – Divisão da oferta de energia elétrica no Brasil em 2020 | 29 |
| Figura 16 – Residência unifamiliar selecionada | 36 |
| Figura 17 – Área de cobertura..... | 36 |
| Figura 18 – Histórico de consumo na fatura da unidade consumidora..... | 37 |
| Figura 19 – Tipo de ligação do imóvel demonstrado na fatura..... | 38 |
| Figura 20 – Ilustração do conceito de HSP | 40 |
| Figura 21 – Demonstrativo da fatura | 48 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Histórico do consumo de energia elétrica..... | 38 |
| Tabela 2 – Consumo de energia mensal e diário | 39 |
| Tabela 3 – Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia] | 41 |
| Tabela 4 – Valores de irradiação solar | 41 |
| Tabela 5 – Informações sobre o painel FV..... | 43 |
| Tabela 6 – Informações sobre o inversor | 44 |
| Tabela 7 – Custo do sistema FV | 48 |
| Tabela 8 - Fluxo de caixa do sistema FV | 51 |
| Tabela 9 - Fluxo de caixa descontado do sistema FV | 52 |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 | OBJETIVOS | 11 |
| 2.1 | OBJETIVO GERAL | 11 |
| 2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 11 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 12 |
| 3.1 | BREVE HISTÓRICO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA | 12 |
| 3.2 | CÉLULA FOTOVOLTAICA | 13 |
| 3.3 | PAINÉIS FOTOVOLTAICOS | 16 |
| 3.4 | ASSOCIAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS | 17 |
| 3.4.1 | Associação dos Módulos Fotovoltaicos em Série | 17 |
| 3.4.2 | Associação dos Módulos Fotovoltaicos em Paralelo | 19 |
| 3.5 | COMPONENTES DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS | 20 |
| 3.6 | TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS | 20 |
| 3.6.1 | Sistema Fotovoltaico Independente | 20 |
| 3.6.2 | Sistema Fotovoltaico Híbrido | 23 |
| 3.6.3 | Sistema Conectado à Rede | 24 |
| 3.7 | CARACTERÍSTICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS | 26 |
| 3.8 | POTENCIAL FOTOVOLTAICO NO BRASIL | 27 |
| 3.9 | MATEMÁTICA FINANCEIRA | 29 |
| 3.9.1 | Fluxo de Caixa | 29 |
| 3.9.2 | Taxa Mínima de Atratividade (TMA) | 29 |
| 3.9.3 | Payback Simples e Payback Descontado | 30 |
| 3.9.4 | Valor Presente Líquido (VPL) | 31 |
| 3.9.5 | Taxa Interna de Retorno (TIR) | 32 |
| 3.10 | MARCO LEGAL DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA | 32 |
| 4 | METODOLOGIA | 34 |
| 5 | ESTUDO DE CASO | 35 |
| 5.1 | DIMENSIONAMENTO | 35 |
| 5.2 | LOCALIZAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA | 35 |
| 5.3 | LEVANTAMENTO DO CONSUMO ELÉTRICO | 37 |
| 5.4 | AVALIAÇÃO DO RECURSO SOLAR | 39 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.5 | DIMENSIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO..... | 41 |
| 5.5.1 | Escolha dos painéis fotovoltaicos | 42 |
| 5.5.2 | Escolha do inversor | 44 |
| 5.5.3 | Tensão de entrada no inversor | 44 |
| 5.5.4 | Faixa de tensão de operação de máximo ponto de potência do inversor | 45 |
| 5.5.5 | Corrente máxima do inversor..... | 46 |
| 5.6 | VIDA ÚTIL DO SISTEMA FOTOVOLTAICO..... | 47 |
| 5.7 | CUSTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO | 47 |
| 5.8 | CUSTO DA TARIFA DE ENERGIA..... | 48 |
| 5.9 | ENERGIA MENSAL GERADA..... | 48 |
| 5.10 | TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE (TMA)..... | 49 |
| 5.11 | CONDIÇÕES E PREMISSAS | 49 |
| 5.12 | PAYBACK SIMPLES | 50 |
| 5.13 | PAYBACK DESCONTADO..... | 52 |
| 5.14 | VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)..... | 53 |
| 5.15 | TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)..... | 53 |
| 6 | CONCLUSÃO..... | 54 |
| | REFERÊNCIAS | 56 |
| | ANEXO A..... | 60 |

1 INTRODUÇÃO

O Sol é uma fonte inesgotável e intermitente de energia. Para enfatizar sua magnitude, estima-se que em apenas uma hora o Sol produza energia suficiente para suprir um ano de toda a demanda energética global. Esta fonte possibilita a utilização de placas fotovoltaicas para converter a radiação solar em energia elétrica. Entretanto, ainda hoje, o alto custo das instalações necessárias ao sistema, muitas vezes, impossibilita o aumento da produção deste tipo de energia no Brasil (MACKAY, 2015).

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, em 2020, apenas 1,9% de toda a oferta na matriz energética brasileira era proveniente da energia solar. Em contrapartida, 59,2%, provém da energia hidráulica, uma energia renovável, mas que apresenta impactos significativos ao meio ambiente (ABSOLAR, 2021).

Neste ponto, um fator importante é a suscetibilidade do recurso hídrico, que torna necessário a diversificação das fontes de geração de energia elétrica na matriz brasileira. Os relatórios do Balanço Energético Nacional entre 2011 e 2015, evidenciam um crescimento no setor de geração de energia a partir de termoelétricas, associado principalmente à crise hídrica no período que atingiu grande parte do território brasileiro (INPE, 2017).

Contudo, têm-se o fato do Brasil ter firmado vários acordos internacionais com o objetivo de reduzir a emissão de gases do efeito estufa. Em reunião com a ONU, em setembro de 2016, o Brasil assumiu a meta de reduzir em 43% as emissões de gases do efeito estufa até 2030, em relação aos valores aferidos em 2005. Também firmou o compromisso de ter na composição de sua matriz energética, 45% de geração a partir de fontes renováveis, o que inclui a fonte hídrica, porém, com participação de outras fontes que teriam entre 28% e 33% do total (INPE, 2017).

Atualmente, o Brasil está entre os 20 países que mais produzem energia elétrica a partir do Sol, ocupando a 16ª posição no ranking, hoje liderado pela China, seguido do Japão e Alemanha (ABSOLAR, 2020). Apesar de não parecer uma colocação ruim, o potencial brasileiro não é explorado, pois no local menos ensolarado do Brasil, é possível, por exemplo, gerar mais energia solar do que no local mais ensolarado da Alemanha (INPE, 2017).

Segundo um estudo realizado pelo Instituto Ideal de Santa Catarina, é amplo o potencial da energia solar no Brasil, pois, de acordo com a análise, caso fossem

instalados sistemas fotovoltaicos sobre o lago da Usina Hidrelétrica de Itaipu, que contém uma área de 1.350 km², a quantidade de energia elétrica gerada seria suficiente para atender a metade da demanda nacional (ESPOSITO e FUCHS, 2013).

De modo semelhante, um estudo realizado pela Empresa de Pesquisa Energética estimou que caso houvesse uma instalação de sistemas fotovoltaicos em uma área de 2.400 km² (cerca de metade da área do Município de Salvador-BA), a quantidade de energia elétrica gerada supriria todo o consumo de energia elétrica do país, isto, considerando uma irradiação solar anual de 1.400 kWh/m²/ano, valores conservadores para o Brasil (ESPOSITO e FUCHS, 2013).

Além disso, uma estimativa baseada em séries históricas de consumo, feita pelo Ministério de Minas e Energia em 2016, apontou um crescimento da demanda de eletricidade em 200% para os próximos 30 anos (INPE, 2017).

Diante destes argumentos, percebe-se que a geração de energia elétrica a partir de placas fotovoltaicas pode ser uma alternativa para atender as atuais e futuras demandas. Nesses termos, sabendo que as coberturas de residências podem ser usadas para aplicação das placas, logo percebe-se o potencial das cidades tornarem-se áreas de produção de energia elétrica fotovoltaica.

Dessa forma, para entender melhor essa temática, o presente estudo tem por objetivo analisar a viabilidade econômica da aplicação de painéis fotovoltaicos em uma residência de 100 m² na cidade de Guarapuava, Paraná.

Como consequência, serão obtidos dados sobre a radiação solar em Guarapuava, assim como do consumo elétrico de uma residência de 100 m². Além disso, este estudo propõe dimensionar um sistema fotovoltaico *on-grid*, calculando seus custos, sendo possível, ainda, identificar a viabilidade econômica deste sistema.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade econômica da instalação de painéis solares fotovoltaicos em uma residência de 100 m² na cidade de Guarapuava-PR.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter os dados de radiação solar para a cidade de Guarapuava-PR;
- Identificar o consumo de energia elétrica de uma residência de aproximadamente 100 m²;
- Dimensionar um sistema fotovoltaico *on-grid*;
- Mensurar o custo do sistema fotovoltaico;
- Apontar a viabilidade econômica deste sistema.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 BREVE HISTÓRICO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O primeiro contato com a geração de energia elétrica a partir do Sol foi em 1839, pelo cientista francês Edmond Becquerel. O efeito ocorreu quando o cientista colocou duas placas de latão mergulhadas em um eletrólito, expostas aos raios solares e observou uma diferença de potencial entre as extremidades. Este efeito ganhou o nome de efeito fotovoltaico (BALFOUR, 2016).

A descoberta iniciou longas eras de pesquisa sobre essa tecnologia. Em 1873 o cientista Willoughby Smith percebeu que o material Selênio (Se) reagia à luz. Com isso, no ano de 1880, o inventor Charles Fritts conseguiu desenvolver a primeira célula solar, um dispositivo sólido a partir do selênio, que gerava eletricidade. A utilização do selênio como matéria-prima apresentava ineficiência, além do alto custo na sua extração. Então, somente no ano de 1954, cientistas dos Laboratórios *Bell* nos EUA, descobriram que o Silício (Si) quando tratado com impurezas, torna-se reagente à luz (BALFOUR, 2016).

Uma das vantagens do Silício é a sua disponibilidade no planeta. Esse elemento é o segundo com maiores reservas, assim, o custo de produção das células fotovoltaicas diminuiriam. A partir de 1956, a produção industrial de células fotovoltaicas iniciou-se, seguindo o avanço do desenvolvimento da eletrônica (PINHO e GALDINO, 2014).

Embora no momento atual haja falta de semicondutores no mercado devido alta demanda e baixa produção ocasionado pela pandemia da covid-19, a situação deve-se normalizar a partir de 2022. (PORTAL SOLAR, 2021)

A primeira abordagem de incentivos para o desenvolvimento da tecnologia, deu-se por empresas do setor de telecomunicações. Com o foco de solucionar problemas de energia elétrica em sistemas instalados em localidades remotas, as quais tinham dificuldade de acesso com a concessionária de energia elétrica (PINHO e GALDINO, 2014).

O segundo incentivo e vislumbre, foi para equipamentos de sistemas espaciais, onde a geração de energia elétrica fotovoltaica mostrou-se o tipo de geração elétrica mais adequado. Apresentava, e ainda apresenta, o menor custo,

peso, bem como a maior segurança para fornecer energia por longos períodos a equipamentos no espaço (PINHO e GALDINO, 2014).

Apesar dessas utilidades e avanços na tecnologia, o uso em larga escala desse tipo de geração elétrica ainda era pouco explorado devido ao seu alto custo. O panorama mudou a partir de 1973, com a crise do petróleo. Nesse período, países e empresas perceberam a necessidade de diversificar suas fontes de geração de energia, e passaram a desenvolver estudos e métodos para produzir as células fotovoltaicas com um custo razoável (PINHO e GALDINO, 2014).

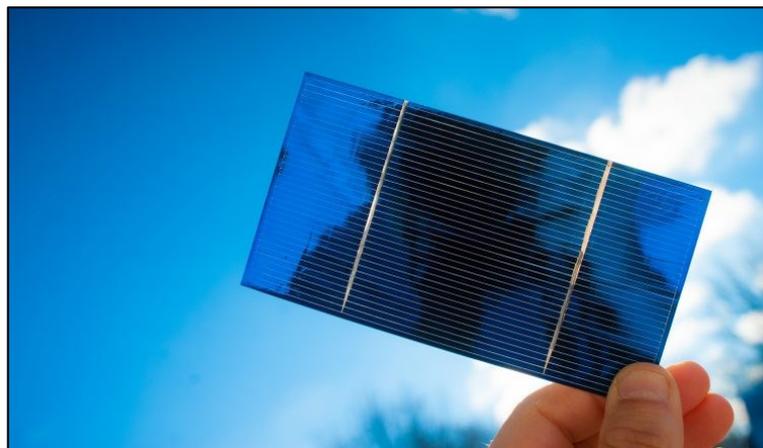
A partir dos anos 2000, países como EUA, Japão e Alemanha despontaram como líderes mundiais na produção de células fotovoltaicas, devido ao avanço da tecnologia, incentivos, além dos compromissos de redução de CO₂, conforme previsto pelo Protocolo de Kyoto (ESPOSITO e FUCHS, 2013).

Porém, o maior salto de produção dos últimos anos deu-se no continente asiático. Hoje, a China assume o posto de líder mundial na produção de células fotovoltaicas e terminou 2019 com uma capacidade total de 205.072MW de energia elétrica solar (ABSOLAR, 2020). Ao mesmo tempo, o Brasil obteve em 2020 uma capacidade instalada de 4.635MW de energia elétrica solar (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2021).

3.2 CÉLULA FOTOVOLTAICA

A célula fotovoltaica, demonstrada na figura 1, é o dispositivo responsável por transformar energia solar em energia elétrica. Estes dispositivos são feitos de material semicondutor, um intermediário entre materiais isolantes e condutores. Estes semicondutores são dopados, adicionando uma porcentagem de outros materiais para obter características específicas. Os semicondutores possuem átomos com três, quatro ou cinco elétrons de valência, os quais são elétrons que podem se soltar devido algum estímulo (BALFOUR, 2016).

Figura 1 – Célula Fotovoltaica



Fonte: BlueSol (2017)

O Silício é o semicondutor mais utilizado na produção de células fotovoltaicas no mercado, devido a sua disponibilidade e custo. Conforme Pinho e Galdino (2014), as células de silício cristalino (c-Si) corresponderam a 87,9% do mercado mundial em 2011. Segundo os autores, podem ser encontradas no mercado alguns tipos de células de silício cristalino (c-Si), sendo que suas diferenças estão na forma que o material é trabalhado e na sua eficiência de conversão da energia solar em elétrica. Os dois tipos principais são:

- Monocristalino: 12-15% de eficiência média;
- Policristalino: 11-14% de eficiência média.

As células de silício monocristalino recebem esse nome porque são feitas a partir de um único cristal de silício, o qual é mergulhado em silício fundido. Durante este processo, chamado de Czochralski, o cristal recebe a dopagem de boro, fazendo com que o semicondutor formado seja do tipo p, o qual tem a capacidade de receber elétrons. O boro gera a vacância de um elétron na rede, formando “buracos”, uma vez que o silício tem quatro elétrons livres e o boro três (PINHO e GALDINO, 2014).

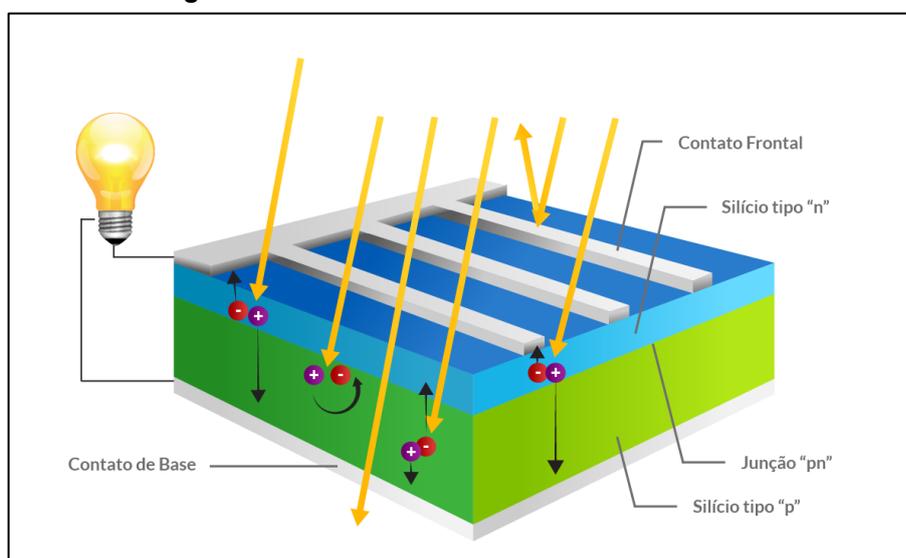
Em seguida, uma parte do cristal recebe a dopagem de fósforo, o qual tem cinco elétrons livres. Isso causa uma sobra de elétrons nesse material, fazendo que o semicondutor seja do tipo n, o qual tem a capacidade de enviar elétrons a partir de algum estímulo (PINHO e GALDINO, 2014).

Já as células de silício policristalino possuem vários cristais de silício fundidos, sendo, portanto, de menor pureza e, conseqüentemente, menor eficiência. Entretanto,

seu custo é menor. Da mesma forma que ocorre com o monocristalino, uma parte é dopada com boro e outra com fósforo, tornando iguais os processos de obtenção de energia elétrica (MACHADO e MIRANDO, 2015).

Nesse sentido, o processo de geração da energia elétrica funciona conforme a figura 2. A seção de silício do tipo “n” tem a capacidade de doar elétrons quando estimulado pelos fótons, energia proveniente da radiação solar. A seção de silício do tipo “p”, tem a capacidade de receber elétrons, devido aos “buracos” em seus átomos (MACHADO e MIRANDO, 2015).

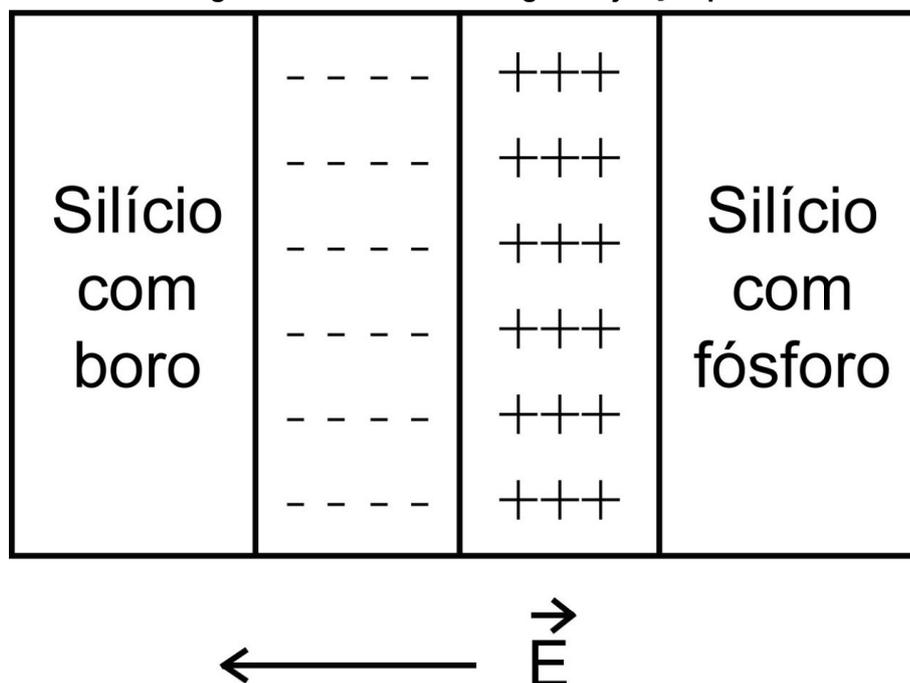
Figura 2 – Funcionamento da célula fotovoltaica



Fonte: Blue Sol (2015)

Diante disso, a junção “p-n” passará a ter um acúmulo de cargas, formando um campo elétrico, como mostra a figura 3, com a flecha indicando o sentido real de movimentação dos elétrons.

Figura 3 – Acumulo de cargas na junção p-n



Fonte: Adaptado de Machado e Mirando (2015)

Segundo Machado e Mirando (2015), quando forma-se a junção p-n no material, surge um campo elétrico permanente naquela região. O campo é formado devido ao fluxo de elétrons livres no material do tipo n (carregado negativamente) para o material do tipo p (carregado positivamente). Devido a exposição à luz, alguns elétrons tornam-se mais enérgicos devido a absorção de fótons, com isso, há a movimentação desses elétrons, gerando diferença de potencial entre as duas faces da junção p-n, causando assim, o efeito fotovoltaico.

3.3 PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

A célula fotovoltaica é responsável por converter energia solar em energia elétrica. Quando um grupo de células são conectadas, podem gerar energia em conjunto e recebem o nome de painel solar, painel FV ou módulo solar (PINHO e GALDINO, 2014).

Esses painéis têm dimensões, tensões, amperagens e voltagens diferentes, sendo necessário o dimensionamento para cada tipo de situação. A figura 4 demonstra uma matriz de painéis fotovoltaicos.

Figura 4 – Matriz de painéis solares fotovoltaicos



Fonte: Portal Solar (2018)

Em aplicações pequenas, como calculadores e relógios que funcionam a base de energia solar, ou até um poste de iluminação pública, é provável que apenas um painel solar seja suficiente para gerar a energia necessária. Porém, em outros casos, tais como em residências, um único painel solar não é o bastante para gerar energia suficiente. Nesse tipo de aplicação, será necessário o agrupamento de painéis solares, associados em série ou paralelo para atingir a energia pretendida (BALFOUR, 2016).

Ainda segundo o autor, os módulos quando são interligados em série criam uma “*string*” (palavra de origem inglesa que significa “corda”, “fio” ou “linha”). A *string* é a faixa de tensão e corrente criada a partir da ligação dos módulos. Essa tensão é proporcional à sua quantidade, sendo assim, quanto mais módulos em série, maior a tensão.

3.4 ASSOCIAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

A associação dos painéis deve ser realizada com cabos e conexões específicos para uso em sistemas fotovoltaicos, os quais terão capacidade de proteger os módulos contra efeitos de radiação e intempéries (PINHO e GALDINO, 2014).

3.4.1 Associação dos Módulos Fotovoltaicos em Série

Segundo Pinho e Galdino (2014), para a conexão entre os painéis em série, o terminal positivo de um módulo deve ser conectado ao terminal negativo de outro, seguindo assim de maneira linear. Desse modo, as tensões são somadas e a corrente para módulos idênticos não é afetada. Logo:

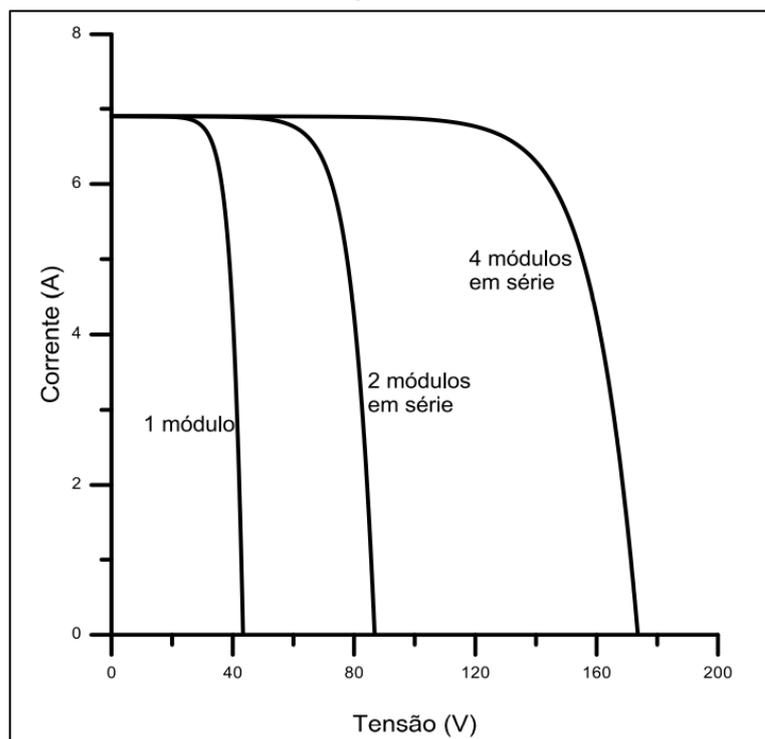
$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (1)$$

E,

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_N \quad (2)$$

Na figura 5 percebe-se que a cada módulo adicionado, a tensão é aumentada, e a corrente permanece constante.

Figura 5 – Curva característica I-V para 4 módulos FV associados em série.



Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014)

Considera-se que os módulos sejam idênticos sob as mesmas condições de radiação e temperatura. Todavia, algumas características podem mudar, como o fato de um dos painéis ficar em algum momento em uma área sombreada. Nesse caso, a corrente do sistema todo será limitada pelo módulo com a menor corrente individual (PINHO e GALDINO, 2014).

3.4.2 Associação dos Módulos Fotovoltaicos em Paralelo

Para conexão em paralelo, todos os terminais positivos dos painéis são conectados entre si, e o mesmo acontece com os terminais negativos. Dessa forma, haverá o oposto da conexão em série, onde as correntes serão somadas e a tensão ficará constante.

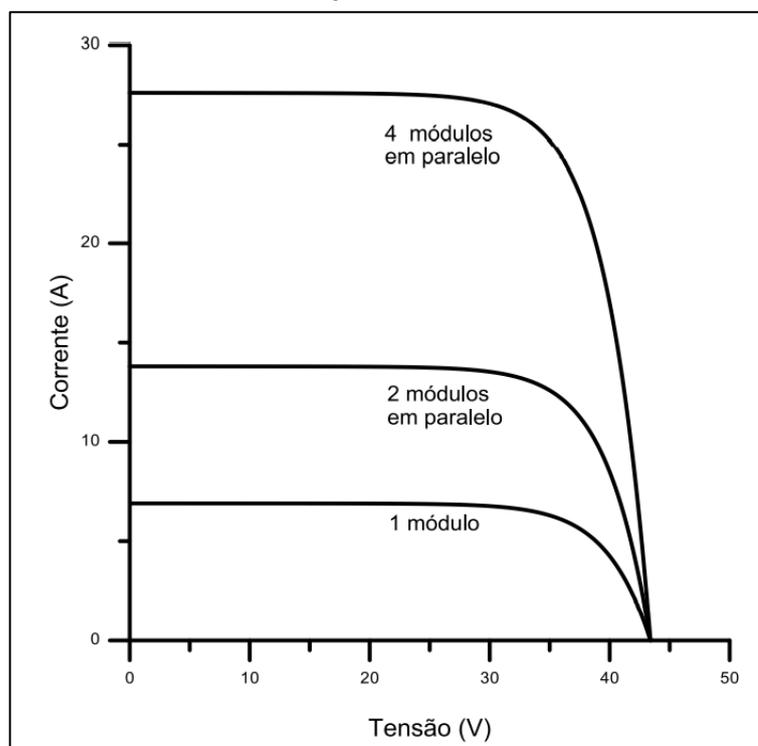
$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (3)$$

E,

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_N \quad (4)$$

A figura 6 demonstra o efeito de uma conexão em paralelo. Percebe-se que as correntes são somadas a cada módulo, porém, a tensão permanece constante.

Figura 6 – Curva característica I-V para 4 módulos FV associados em paralelo.



Fonte: Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014)

3.5 COMPONENTES DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Para o sistema fotovoltaico funcionar, há outros componentes além dos painéis que devem ser utilizados a fim de obter êxito na geração de energia elétrica. Estes componentes podem variar dependendo dos fatores ambientais do local, influenciando diretamente no desempenho do sistema.

Segundo Balfour (2016), os componentes são:

- Recurso solar: todos os sistemas dependem da radiação solar;
- Células fotovoltaicas: dispositivos para transformar energia solar em elétrica;
- Módulo ou Painel: várias células associadas em série ou paralelo que fornecerão tensão e corrente pro sistema;
- Matriz: painéis ou módulos ligados entre si em série ou paralelo;
- Bateria: é a responsável por armazenar a energia gerada, porém pode ou não estar presente, dependendo do tipo do sistema;
- Inversor: dispositivo que converte a energia contínua para corrente alternada;
- Controlador de carga: regula, carrega e mantém a tensão da bateria;
- Cabeamento: condutores conectados ao sistema para produzir os circuitos;
- Protetor contra surtos: dispositivo de segurança para evitar que variações bruscas na energia, como curtos-circuitos ou choques afetem o sistema.

3.6 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Há alguns tipos de sistemas fotovoltaicos para aplicação residencial. Porém, são dois os principais: sistemas independentes e sistemas integrados à rede.

3.6.1 Sistema Fotovoltaico Independente

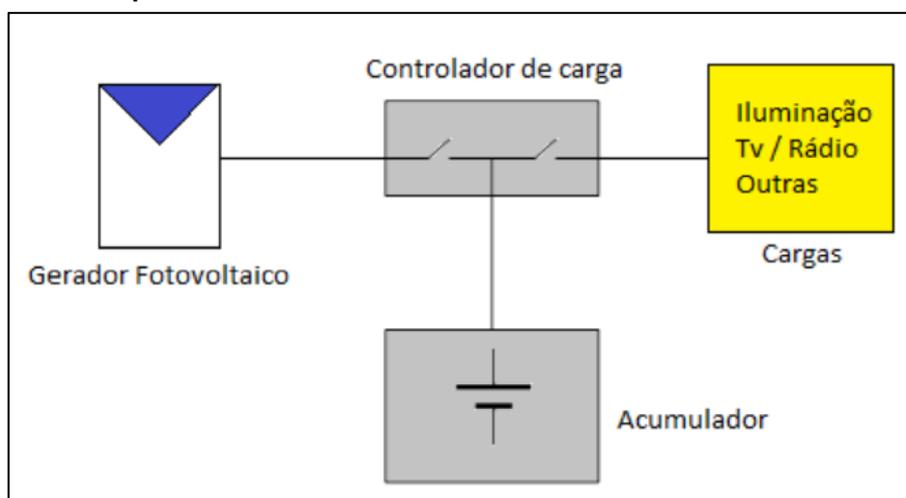
Segundo Balfour (2016), os sistemas fotovoltaicos independentes são aqueles que não dependem de nenhum outro sistema de geração de energia. Pode ou não ter baterias, dependendo do objetivo. Esse modelo geralmente é utilizado em áreas remotas, onde não há o acesso de redes de concessionárias.

Caso não haja baterias, o sistema se limita a utilização da energia nos momentos mais ensolarados do dia, o que impossibilitaria o uso de energia elétrica durante a noite. Porém, com baterias para acumular a energia, torna-se possível o uso noturno, mas aumenta o custo de instalação, já que é necessário um item a mais (BALFOUR, 2016).

Ainda segundo o autor, para seu devido funcionamento, é necessário ter controlador de carga e inversor, caso seja necessário transformar a energia de corrente contínua para corrente alternada.

A figura 7 demonstra uma ligação de um sistema fotovoltaico com controlador de carga e acumulador (bateria).

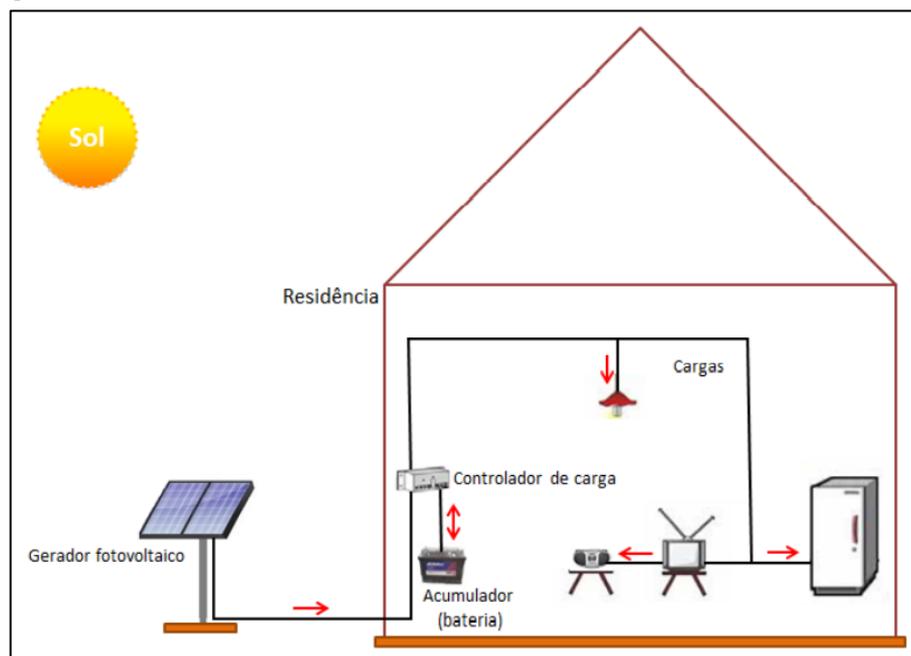
Figura 7 – Esquema de um sistema fotovoltaico domiciliar em corrente contínua



Fonte: Pinho e Galdino (2014)

Na figura 8 mostra-se o esquema de funcionamento do sistema. Há a geração de energia elétrica nos painéis, sendo que a mesma passa por um controlador de carga e é utilizada imediatamente. Caso haja energia elétrica ociosa, esta passará para o acumulador (bateria), para armazenamento.

Figura 8 – Sistema fotovoltaico em uma residência em c.c. com acumulador



Fonte: Pinho e Galdino (2014)

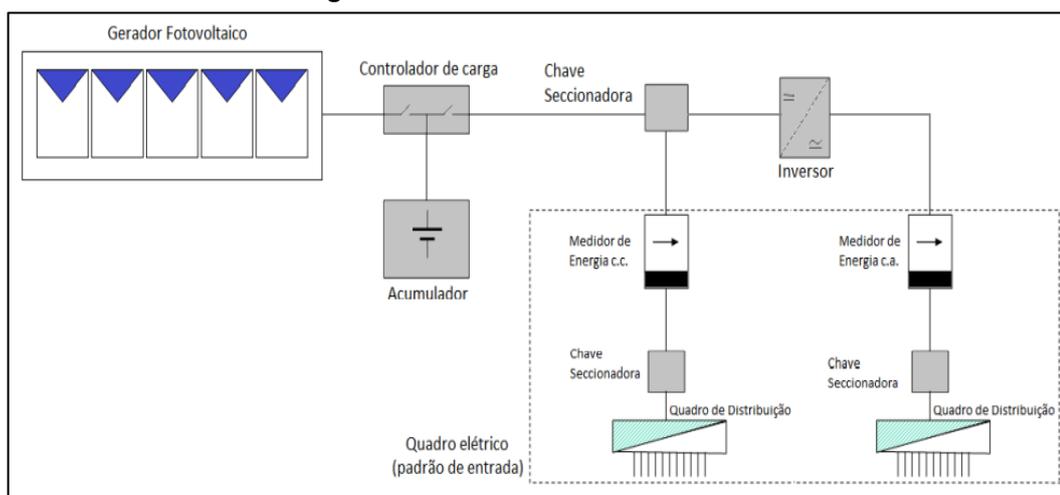
Percebe-se que o sistema não apresenta inversor, ou seja, toda a carga gerada permaneceria em corrente contínua, já que essa é a forma primária da energia elétrica provida dos painéis fotovoltaicos.

Porém, isso ocasiona limitações, uma vez que todo o sistema elétrico das concessionárias funciona em corrente alternada, da mesma forma que o funcionamento da maioria dos eletrodomésticos comercialmente disponíveis (PINHO e GALDINO, 2014).

Há, todavia, casos mistos, onde parte da corrente permanece contínua e outra parte é transformada em alternada. Neste tipo de esquema, parte da energia contínua é usada em aparelhos que aceitam essa corrente, como refrigeradores, luminárias, motores, entre outros, e outra parte vai para utilização em corrente alternada. A desvantagem desse sistema é a complexidade de instalação.

Na figura 9 percebe-se que apenas parte da energia transforma-se em corrente alternada, justamente quando passa pelo inversor.

Figura 9 – Sistema fotovoltaico misto



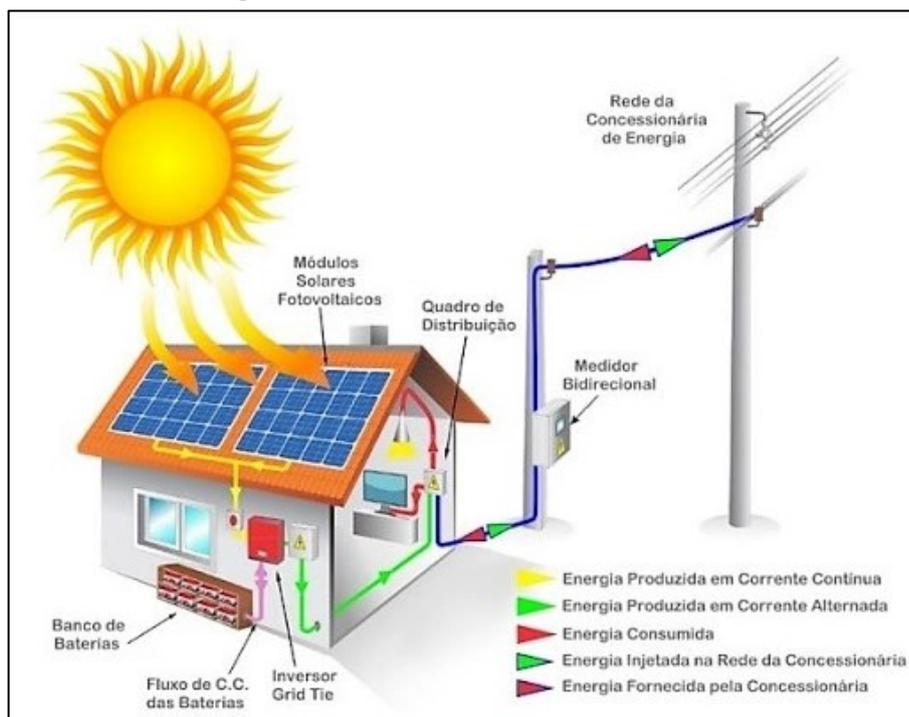
Fonte: Pinho e Galdino (2014)

3.6.2 Sistema Fotovoltaico Híbrido

São sistemas de geração de energia que trabalham em conjunto com outras formas de produção, como a eólica ou conectado à rede da concessionária. Geralmente nesses casos há alguma limitação local que impede que o sistema fotovoltaico isolado seja suficiente para suprir toda a demanda energética, como por exemplo, um inverno com pouca insolação (BALFOUR, 2016).

A figura 10 mostra um sistema fotovoltaico híbrido onde há armazenamento com baterias. Além disso, neste caso, está conectado à rede elétrica da distribuidora de energia.

Figura 10 – Sistema fotovoltaico híbrido



Fonte: Adaptado de Oca Energia (2019)

3.6.3 Sistema Conectado à Rede

Também chamado de sistema *on grid*, no sistema conectado à rede toda a energia gerada passa pelo inversor, sendo injetada na rede da concessionária de energia elétrica. Isto torna esta modalidade interessante para o consumidor pelo fato de dispensar o uso de acumuladores, pois a energia gerada pode ser consumida imediatamente ou ser injetada na rede (PINHO e GALDINO, 2014).

Caso haja menos consumo do que geração, a concessionária compra a energia elétrica excedente. Dessa forma, a energia elétrica utilizada é compensada pela energia que já foi produzida e injetada na rede.

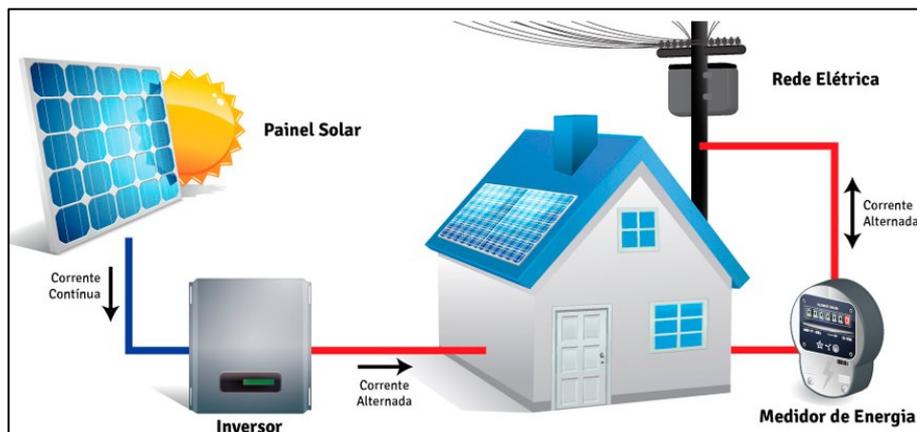
Este tipo de sistema já é comum em países como Japão e EUA e vem tornando-se popular no Brasil. As principais vantagens são o custo de instalação reduzido, devido à ausência de acumuladores, e o gerador representar uma fonte complementar ao sistema elétrico da concessionária.

Dessa forma, caso haja uma pane no sistema fotovoltaico, a residência continuará recebendo energia elétrica da rede (PINHO e GALDINO, 2014).

Na figura 11 pode-se observar o sistema em funcionamento. Neste caso, a energia elétrica gerada em corrente contínua passa pelo inversor e é utilizada na

residência. Após isso, caso haja excedente, é injetada na rede da concessionária, e o medidor de energia registrará o quanto foi produzido em relação ao quanto foi consumido.

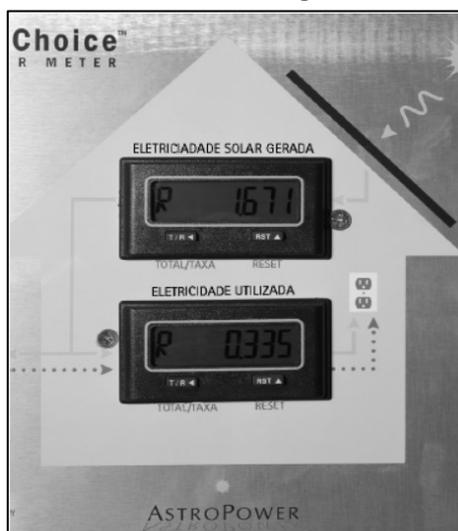
Figura 11 – Esquema do funcionamento do sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: Universo Solar (2017)

No exemplo da figura 12 percebe-se que a quantidade de eletricidade utilizada é menor que a quantidade gerada. Nesse caso, a rede elétrica da concessionária recebeu essa energia excedente, que pode ser utilizada ou não pela residência.

Figura 12 – Exemplo de um medidor de energia fotovoltaica em uma residência



Fonte: Adaptado de Balfour (2016)

Caso não seja, em alguns lugares pode haver a compra da energia pela concessionária, usando o chamado *net metering* (medição da rede). Além dessa vantagem por parte do consumidor, a empresa distribuidora de energia elétrica

também beneficia-se da geração de fontes alternativas, uma vez que ajudam a rede elétrica a não sobrecarregar em momentos de pico nas cidades (BALFOUR, 2016).

Segundo Pinho e Galdino (2014), quando há energia excedente gerada, essa energia entra como crédito na concessionária, podendo ser utilizado inclusive em outras unidades consumidoras registradas no mesmo CPF do proprietário do sistema fotovoltaico. De acordo com a Resolução Normativa 687/2015, estabelecida pela ANEEL, tais créditos são válidos por até 60 meses.

3.7 CARACTERÍSTICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A classificação dos módulos fotovoltaicos são as características necessárias para projetar um sistema. São as informações que as empresas fabricantes usam e fornecem para determinação do sistema fotovoltaico. Segundo Balfour (2016), são:

- Potência nominal: capacidade nominal em watts produzida pelo módulo;
- Tolerância de energia: faixa de sobredesempenho e subdesempenho;
- Potência nominal por pé quadrado: potência de saída por pé quadrado de módulo;
- Eficiência do módulo: razão da entrada de luz solar em watts em relação a saída em watts;
- Tensão em circuito aberto: tensão produzida quando não há carga na matriz. É necessário que a entrada máxima dos controladores de carga e inversores seja maior que a tensão em circuito aberto da matriz;
- Tensão máxima do sistema: máxima tensão que a matriz pode ser operada com segurança;
- Classificação de fusível em linha: valor do fusível necessário para proteger o módulo contra correntes reversas;
- Ponto de potência máxima: corrente em máxima potência multiplicado pela tensão em máxima potência. Valor usado para maximizar o rendimento da matriz fotovoltaica.

3.8 POTENCIAL FOTOVOLTAICO NO BRASIL

O Brasil ocupa a 16ª posição no ranking dos países que mais produzem energia elétrica a partir do Sol (ABSOLAR, 2020). Apesar de não parecer uma colocação ruim, o potencial brasileiro não é explorado, pois no local menos ensolarado do Brasil, é possível, por exemplo, gerar mais energia solar do que no local mais ensolarado da Alemanha (INPE, 2017).

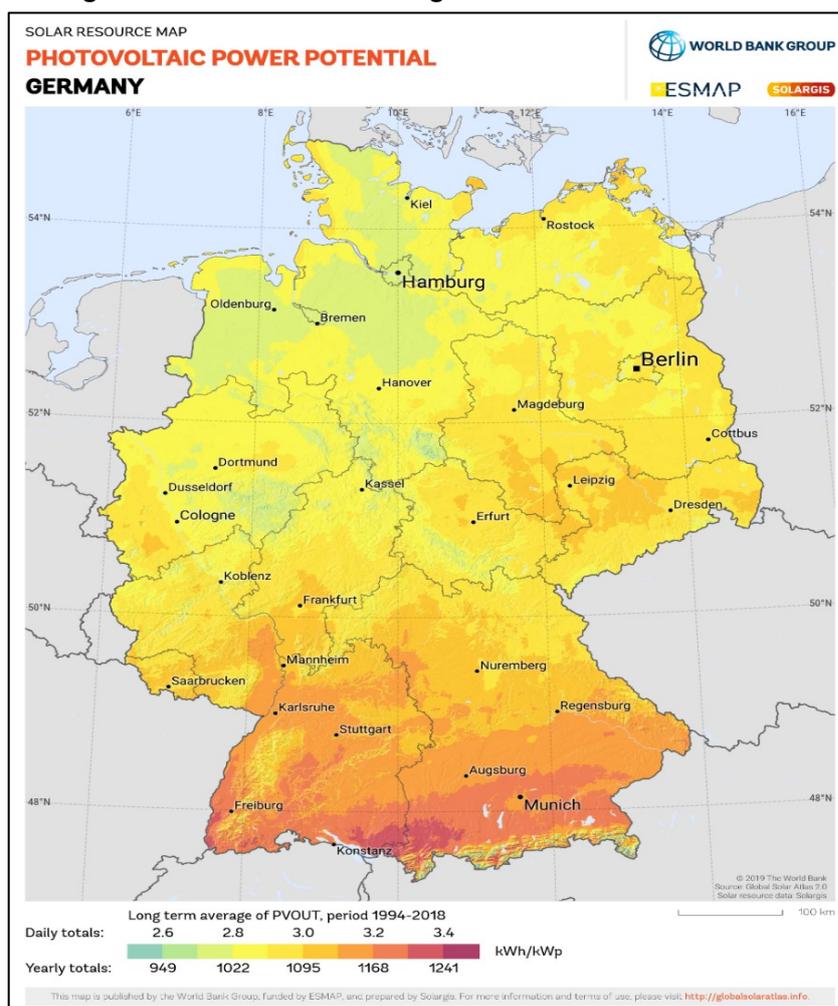
As figuras 13 e 14 são mapas do potencial fotovoltaico do Brasil e Alemanha. Os comparando, percebe-se que o local mais ensolarado da Alemanha chega a 1.241 kWh/kWp, enquanto no Brasil, o local menos ensolarado atinge 1.387 kWh/kWp.

Figura 13 – Potencial de energia fotovoltaica do Brasil



Fonte: Solargis (2020)

Figura 14 – Potencial de energia fotovoltaico da Alemanha

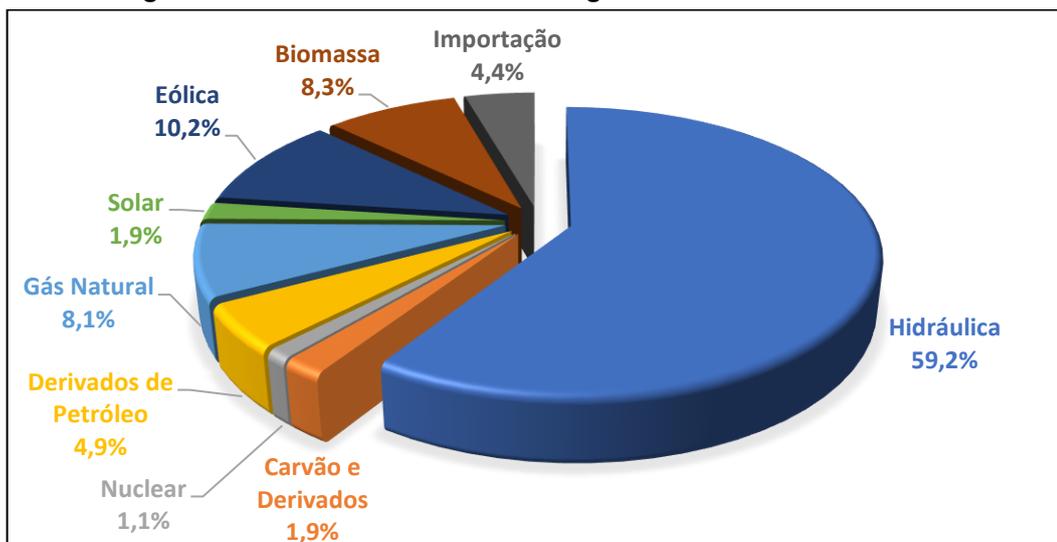


Fonte: Solargis (2020)

Percebe-se com isso, que o país não utiliza grande parte de seu potencial, uma vez que no local com menos potencial fotovoltaico, ainda há mais capacidade de geração que no local com maior potencial fotovoltaico da Alemanha, por exemplo.

Tal cenário torna-se mais evidente ao observar a oferta de energia elétrica no Brasil. Conforme mostra a figura 15, em 2019, a participação da energia solar no Brasil foi de apenas 1%. Neste sentido, é importante que o país desenvolva incentivos e pesquisas que fomentem a geração de energia elétrica proveniente da radiação solar, com o intuito de tornar-se um país mais eficiente e sustentável na sua matriz energética, explorando todo seu potencial.

Figura 15 – Divisão da oferta de energia elétrica no Brasil em 2020



Fonte: Adaptado de ABSOLAR (2021)

3.9 MATEMÁTICA FINANCEIRA

Para realizar a análise da viabilidade econômica do sistema fotovoltaico será necessário o uso de algumas ferramentas da matemática financeira.

Estes conceitos e ferramentas serão fundamentais para identificar se o sistema fotovoltaico é um investimento rentável ou não, uma vez que, para o consumidor final, a decisão de instalar os sistemas fotovoltaicos será pautada principalmente na questão econômica.

3.9.1 Fluxo de Caixa

Segundo Alves (2017), o Fluxo de Caixa é a primeira atividade que deve ser realizada para análise de investimentos. Ele representa o fluxo de entradas e saídas do dinheiro em determinado projeto durante seu ciclo de vida.

Pode ser utilizado de diferentes formatos, explícitos ou tácitos e seus resultados aliados a outras ferramentas da matemática financeira auxiliam o investidor na tomada de decisão.

3.9.2 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Segundo Alves (2017), denomina-se Taxa Mínima de Atratividade qualquer taxa mínima de juros que torne vantajoso ao investidor a escolha de determinado investimento. Ela atua como referência, ou seja, se o retorno do investimento for menor que a TMA, o investimento não é viável.

Além disso, a TMA é uma taxa que é mantida constante no horizonte do projeto e não necessariamente é uma taxa realizável no mercado. Todavia, reflete uma avaliação dos investidores de acordo com o retorno esperado considerando os riscos do projeto (TORRES, 2006).

Uma vez que o risco é relativo de acordo com cada investidor, a TMA pode ser vislumbrada de maneira diferente para mesmos projetos, aos olhos de diferentes investidores. Sendo assim, torna-se um critério que exige certa individualidade.

Portanto, de maneira a simplificar a determinação da Taxa Mínima de Atratividade, pode-se considerar como referência, investimentos de baixo risco, com retornos constantes, disponíveis no mercado.

3.9.3 Payback Simples e Payback Descontado

Também conhecido como prazo de recuperação do capital, o Payback é o tempo necessário para se recuperar o valor do investimento. Dessa forma, quanto mais amplo o horizonte de tempo, mais arriscado é o investimento (SANTOS, 2018).

Com isso, o Payback mostra a qualidade do investimento levando em consideração o tempo de retorno do mesmo. Em outras palavras, o Payback é o tempo mínimo para que a soma dos Fluxos de Caixa se igualem a 0 (zero) (ALVES, 2017).

Quanto à sua forma, o Payback Simples é tão somente o tempo necessário para que o investimento seja retornado ao investidor. Já o Payback Descontado, embora similar, traz os Fluxos de Caixa a valores presentes. Dessa forma, ao descontar tais valores à uma determinada taxa, avalia também qual seria o custo do capital (ALVES, 2017).

A Equação 5 demonstra o valor presente de uma entrada ou saída de um Fluxo de Caixa, considerando uma determinada taxa.

$$VP = \frac{Fc_j}{(1 + i)^j} \quad (5)$$

Onde:

VP – Valor Presente

Fc_j – entrada ou saída no fluxo de caixa em certo período

i – taxa

j – período

Assim, monta-se o Fluxo de Caixa Descontado e pode-se aferir o prazo de recuperação do capital no período em que a soma dos fluxos de caixa se igualam a 0 (zero). Percebe-se que o Payback Descontado é um método que se assemelha mais à realidade, uma vez que a taxa pode representar, por exemplo, a inflação e o custo de oportunidade do capital investido.

3.9.4 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido é o valor presente dos fluxos de caixa esperados no futuro, considerando uma taxa para o risco do negócio. Para a análise, considera-se o valor inicial investido e soma-se os valores estimados de recebimento nos períodos seguintes, descontados por uma determinada taxa (Taxa Mínima de Atratividade). Caso o valor final seja positivo, o investimento é rentável, ou seja, será lucrativo. Porém, caso o valor final seja negativo, é inviável, pois indica que o investimento não superou a TMA, resultando em prejuízo para o investidor (SANTOS, 2018).

Com isso, têm-se a equação:

$$V_{pl} = \sum_{j=1}^n \frac{Fc_j}{(1+i)^j} - FC_0 \quad (6)$$

Onde:

Fc_j – Valor de entrada ou saída de caixa para cada intervalo de tempo

FC_0 – Fluxo de caixa no momento zero, investimento inicial

i – taxa mínima de atratividade

O Valor Presente Líquido não identifica diretamente a taxa de rentabilidade do investimento. Porém, retorna o valor monetário atualizado da alternativa financeira em análise, mostrando assim o seu resultado econômico (ASSAF NETO, 2017).

3.9.5 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Segundo Santos (2018), a Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de desconto que leva os valores presentes da entrada de caixa ao mesmo valor presente das saídas de caixa. Em outras palavras, é a taxa de rentabilidade de um investimento em um certo período de tempo. Logo, se a TIR for maior que o custo do capital, o projeto é rentável, se for menor, é inviável.

Geralmente, o Fluxo de Caixa no período 0 (zero) é igual ao investimento ou empréstimo realizado. Os demais fluxos tratam dos valores das receitas a serem recebidas ou prestações devidas (ASSAF NETO, 2017).

Com isso, têm-se a equação:

$$FC_0 = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad (7)$$

Onde:

FC_j – Valor de entrada ou saída de caixa para cada intervalo de tempo

FC₀ – Fluxo de caixa no momento zero, investimento inicial

i – taxa interna de retorno

Dessa forma, percebe-se que a Taxa Interna de Retorno ao levar em consideração os efeitos do tempo no dinheiro, expressa a rentabilidade geral de um investimento ou aplicação financeira (ASSAF NETO, 2017).

3.10 MARCO LEGAL DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Durante o período de realização do trabalho, a câmara dos deputados aprovou o projeto de lei número 5829/19 que institui o marco legal da geração própria de energia (conhecida como geração distribuída).

O projeto de lei cria a cobrança de encargos e tarifas sobre o sistema de geração, afetando assim, a rentabilidade do mesmo. Porém, sistemas de microgeração (sistemas que geram até 75 kW) já existentes ou que solicitem acesso

a rede em até 12 meses da publicação da lei ficarão isentos de cobranças até 31 de dezembro de 2045. (G1, 2021)

Além disso, o projeto percorre no momento, os trâmites do senado federal, onde poderá sofrer alterações a respeito do valor dos encargos, taxas e datas referente a isenção e tempo de transição. (G1, 2021)

Diante disso, considerando que o sistema fotovoltaico do trabalho seria realizado dentro desse período, não considerou-se qualquer taxa de encargo ou tarifa devido ao marco legal da geração distribuída.

4 METODOLOGIA

Para efetivação deste estudo, realizou-se, primeiramente, uma revisão bibliográfica acerca do tema energia solar, demonstrando o efeito fotovoltaico e o funcionamento das placas fotovoltaicas. Para tanto, foram utilizadas referências em livros, teses, artigos, entre outros.

Em seguida, após definir a residência que seria objeto de estudo, iniciou-se a etapa de coleta dos dados, estimando os custos dos materiais, instalação e manutenção do sistema fotovoltaico. Para tanto, seguiu-se a mesma linha de outros autores, tais como Scaff (2017) e Nogueira & Garcia (2017), realizando pesquisas em websites de empresas que vendem e instalam produtos dessa área.

Para a residência analisada neste trabalho, foi escolhida uma residência em Guarapuava-PR, de aproximadamente 100 m², na qual habitam quatro pessoas. Com isso, obteve-se acesso as faturas de energia elétrica da mesma e coletou-se as informações necessárias para realização do sistema fotovoltaico.

A partir disso, efetuou-se o dimensionamento de um sistema fotovoltaico para a residência escolhida com auxílio do software Microsoft Excel. Em seguida, fez-se a análise dos resultados obtidos, com a aplicação de ferramentas econômicas: Payback Simples, Payback Descontado, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

Cabe destacar que para a aplicação das ferramentas financeiras, estipulou-se o Fluxo de Caixa do sistema fotovoltaico para um período de 25 anos, período esse escolhido devido a vida útil das placas fotovoltaicos. Além disso, para a análise foi necessário considerar uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA), sendo esta de 10% ao ano, tendo como referência um investimento pré-fixado no Tesouro Direto.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 DIMENSIONAMENTO

Segundo Pinho e Galdino (2014), as principais etapas de um projeto fotovoltaico são:

- Levantamento adequado do recurso solar disponível;
- Definição da localização e configuração do sistema;
- Levantamento adequado do consumo de energia elétrica;
- Dimensionamento do gerador fotovoltaico;
- Dimensionamento dos equipamentos de condicionamento de potência;
- Dimensionamento do sistema de armazenamento para sistemas isolados.

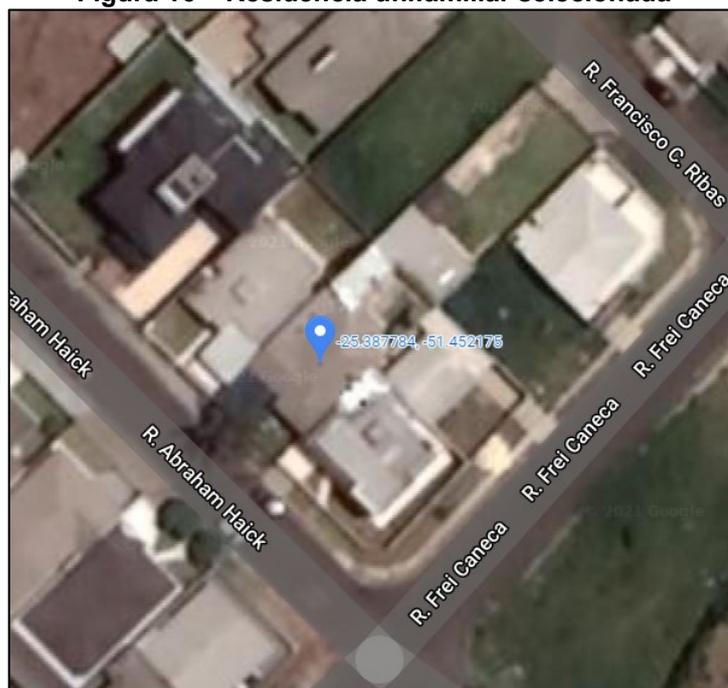
Como o estudo de caso trata-se de um sistema *on grid*, não isolado, não será necessário o dimensionamento do sistema de armazenamento de energia.

5.2 LOCALIZAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

Para a escolha da residência a ser analisada, determinou-se alguns critérios. Entre eles:

- Estar localizada no município de Guarapuava-PR;
- Ter uma área útil de aproximadamente 100m²;
- Ter acesso ao histórico de consumo de energia elétrica da residência.

Com isso, selecionou-se uma residência neste município, situada no Bairro Santana, Rua Abaham Haick, 534, conforme mostra a figura 16.

Figura 16 – Residência unifamiliar selecionada

Fonte: Google Maps (2021)

Trata-se de uma residência unifamiliar, habitada por quatro pessoas, não ultrapassando 100 m² de área útil. Contém três quartos, uma cozinha, uma sala e dois banheiros, nos quais, é utilizado chuveiro elétrico, sendo estes os maiores consumidores de energia elétrica na residência. Além disso, possui área de cobertura disponível em torno de 90 m², como mostra a figura 17.

Figura 17 – Área de cobertura

Fonte: Google Earth (2021)

Percebe-se que não há elementos de sombreamento sobre a cobertura, que, por sua vez, poderiam diminuir a eficiência dos painéis fotovoltaicos.

Para a configuração do sistema, devido ser uma residência com fácil acesso à rede concessionária de energia, optou-se pela configuração do sistema conectado à rede sem armazenamento.

5.3 LEVANTAMENTO DO CONSUMO ELÉTRICO

O objetivo do sistema é gerar energia suficiente para atender toda a demanda da residência. Nesse sentido, para o levantamento da demanda de consumo elétrico, analisou-se o consumo médio da residência no último ano, ou seja, de março de 2020 à fevereiro de 2021. Tais informações foram obtidas a partir da fatura da Concessionária Energisa, a qual é a responsável pela distribuição de energia elétrica no município de Guarapuava, na unidade consumidora em questão.

A figura 18 demonstra o histórico do consumo de energia elétrica na residência, mês a mês. Já a tabela 1 aponta, além do histórico, o consumo médio ao longo deste período.

Figura 18 – Histórico de consumo na fatura da unidade consumidora

| Média últimos meses (kWh) | VENCIMENTO | | TOTAL A PAGAR | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------------|--------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| 439 | 01/04/2021 | | R\$ 365,22 | | | | | | | | | |
| Histórico de Consumo (kWh) | | | | | | | | | | | | |
| 306 | 445 | 442 | 425 | 491 | 447 | 423 | 492 | 432 | 484 | 448 | 432 | |
| MAR/20 | ABR/20 | MAI/20 | JUN/20 | JUL/20 | AGO/20 | SET/20 | OUT/20 | NOV/20 | DEZ/20 | JAN/21 | FEV/21 | |

Fonte: Autor (2021)

Tabela 1 – Histórico do consumo de energia elétrica

| Mês/Ano | Histórico de consumo (kWh) |
|----------------------|-----------------------------------|
| mar/20 | 306 |
| abr/20 | 445 |
| mai/20 | 442 |
| jun/20 | 425 |
| jul/20 | 491 |
| ago/20 | 447 |
| set/20 | 423 |
| out/20 | 492 |
| nov/20 | 432 |
| dez/20 | 484 |
| jan/21 | 448 |
| fev/21 | 432 |
| CONSUMO MÉDIO | 438,92 |

Fonte: Autor (2021)

Logo, têm-se que, para produzir toda a demanda de energia necessária, precisa-se de aproximadamente 439Kwh por mês. Porém, há ainda o custo de disponibilidade que deve ser considerado.

Segundo Pinho e Galdino (2014), para o dimensionamento de forma otimizada do sistema conectado à rede, deve-se considerar o consumo médio diário anual, descontando o valor da disponibilidade mínima de energia.

Uma vez que o sistema será conectado à rede da distribuidora, a mesma passa a cobrar um valor mensal referente a disponibilidade do sistema, conforme o tipo de ligação no imóvel. Tal cobrança é regulamentada pela Resolução Normativa Nº 414/2010 da ANEEL, art. 98.

A figura 19 mostra o tipo de ligação na unidade consumidora em questão, sendo que, segundo a Energisa, para o caso de imóvel com ligação bifásico, o custo mínimo é de 50kW/h por mês.

Figura 19 – Tipo de ligação do imóvel demonstrado na fatura

Cls/Sbc: RESIDENCIAL/RESIDENCIAL BIFÁSICA
Roteiro: 16-6001-040-351 Referência: MAR/2021

Fonte: Autor (2021)

Sendo assim, retirando o custo de disponibilidade, têm-se para a demanda mensal do sistema fotovoltaico o total de:

$$438,92kWh - 50kWh = 388,92kWh \quad (8)$$

Assumindo que cada mês tem em torno de 30 dias, têm-se que a energia diária a ser gerada é de 12,96kWh, conforme demonstra tabela 2.

Tabela 2 – Consumo de energia mensal e diário

| CONSUMO | [kWh] |
|----------------|--------------|
| MÉDIO MENSAL | 388,92 |
| MÉDIO DIÁRIO | 12,96 |

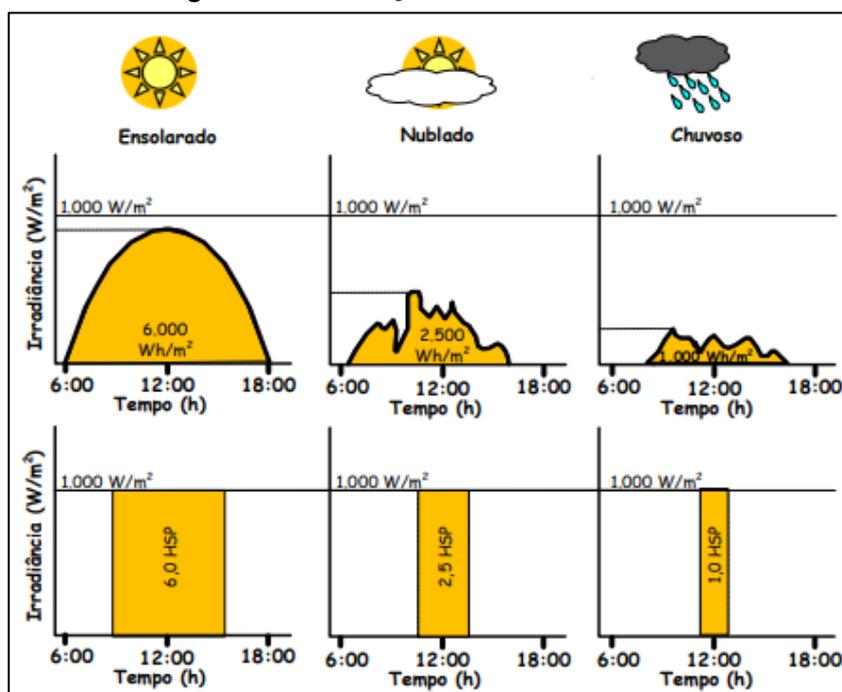
Fonte: Autor (2021)

5.4 AVALIAÇÃO DO RECURSO SOLAR

Nesta etapa, busca-se quantificar a radiação solar incidente sobre o painel fotovoltaico. Segundo Pinho e Galdino (2014), para as estimativas, é útil ignorar os efeitos à variação da irradiância a cada instante, e considerar a quantidade total de energia elétrica potencial em intervalo de tempos.

A irradiância é variável e para expressar o quanto de irradiância incide sobre uma área em um intervalo de tempo, define-se um parâmetro chamado Horas de Sol Pleno. Esta grandeza define o número de horas que a irradiância deve permanecer igual a 1 kW/m² ou 1000 W/m², de forma que a energia resultante seja equivalente à energia disponibilizada pelo Sol no local em questão, acumulada ao longo de um dia. (PINHO e GALDINO, 2014)

Figura 20 – Ilustração do conceito de HSP



Fonte: Adaptado de Pinho e Galdino (2014).

Com isso, para a avaliação de irradiação solar, utilizou-se a ferramenta Potencial Solar (SunData v 3.0) disponível no site da CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito), o qual é um dos principais portais de referência ao estudo de energia solar e eólica no Brasil.

O SunData é um software desenvolvido pela CEPEL (Centro de Pesquisas em Energia Elétrica vinculado às empresas Eletrobrás) que destina-se ao cálculo da irradiação solar diária mensal em qualquer ponto do território nacional. Trabalha como apoio para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos (INPE, 2017).

Cabe destacar que, após a publicação do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017) realizado pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), o CRESESB o utilizou para atualizar a base de dados de irradiação do SunData.

Utilizando o SunData v 3.0 pelo portal do CRESESB, inserindo as coordenadas de 25,401° S para latitude e 51,449° O para longitude, têm-se os resultados de irradiação solar diária média mensal para Guarapuava, demonstrado na tabela 3.

Tabela 3 – Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]

| Inclinação | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez | Média |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 0° N | 5,75 | 5,34 | 4,87 | 4,12 | 3,23 | 2,86 | 3,14 | 4,11 | 4,28 | 4,98 | 5,83 | 6,01 | 4,54 |
| 25° N | 5,18 | 5,11 | 5,05 | 4,74 | 4,07 | 3,78 | 4,08 | 4,98 | 4,61 | 4,88 | 5,33 | 5,32 | 4,76 |
| 21° N | 5,32 | 5,19 | 5,07 | 4,89 | 3,97 | 3,67 | 3,97 | 4,89 | 4,60 | 4,94 | 5,45 | 5,47 | 4,77 |
| 45° N | 4,31 | 4,46 | 4,70 | 4,77 | 4,32 | 4,13 | 4,41 | 5,16 | 4,41 | 4,35 | 4,47 | 4,35 | 4,49 |

Fonte: Adaptado de SunData V 3.0 (2021)

Observa-se que para maior média anual, a melhor configuração dos painéis é a inclinação de 21° com relação ao Norte. Assim, têm-se os valores de irradiação solar mínima, média e máxima apontadas na tabela 4.

Tabela 4 – Valores de irradiação solar

| IRRADIAÇÃO SOLAR | VALOR [kWh/m ² .dia] |
|------------------|---------------------------------|
| MÍNIMA | 3,67 |
| MÁXIMA | 5,47 |
| MÉDIA | 4,77 |

Fonte: Adaptado de SunData v 3.0 (2021)

Como já definido anteriormente, o valor a ser utilizado será a média, que representa as Horas de Sol Pleno para localidade escolhida.

$$HSP = \frac{4,77[(kWh/m^2)/dia]}{1[kW/m^2]} = 4,77h/dia \quad (9)$$

5.5 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO

Para o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos, deve-se encontrar a potência de pico do painel fotovoltaico, que seria a potência total necessária do sistema. Segundo Pinho e Galdino (2014), têm-se a equação:

$$P_{fv}(WP) = \frac{E/TD}{HSP_{ma}} \quad (10)$$

Onde:

$P_{fv}(WP)$ – Potência de pico do painel FV

$E(Wh/dia)$ – Consumo diário médio anual

$HSP_{ma}(h)$ – Média diária anual das HSP

TD(adimensional) – Taxa de desempenho/rendimento

Como obteve-se o consumo diário médio anual e a média diária anual de Horas de Sol Pleno, o único dado a ser definido é o rendimento do sistema.

Ainda segundo Pinho e Galdino (2014), a taxa de desempenho é a relação entre o desempenho real do sistema e o desempenho teórico do mesmo. Uma vez que há perdas no sistema, devido a quedas de tensão, sombreamento, sujeira, eficiência do inversor, descasamento (*mismatch*) entre módulos de mesmo modelo, temperatura, entre outros.

Em um estudo na Alemanha, por exemplo, observou-se em sistemas com menos de 10kWp, uma média de desempenho entre 70% e 75% nos anos de 2001 a 2005 (PINHO e GALDINO, 2014).

Para sistemas residenciais, bem ventilados e não sombreados, como é o caso no estudo, uma taxa de desempenho entre 70% e 80% pode ser obtida nas condições solares encontradas no Brasil (PINHO e GALDINO, 2014).

Com isso, adotando uma taxa de desempenho de 75% para a localidade em questão, aplicando a Equação 10 aos valores obtidos, têm-se:

$$P_{fv}(WP) = \frac{12,96 / 0,75}{4,77} \quad (11)$$

$$P_{fv}(WP) = 3,62kWp \quad (12)$$

Logo, para o sistema fotovoltaico em análise, necessita-se de 3,62kWp de potência total dos painéis fotovoltaicos.

5.5.1 Escolha dos painéis fotovoltaicos

Com a potência total necessária do sistema determinada, pode-se buscar os painéis fotovoltaicos que atendam a essa demanda. A escolha é baseada na potência nominal dos painéis, onde os mais usuais variam de 150W até 450W.

Para a escolha dos painéis, seguiu-se a metodologia de Scaff (2017), em seu trabalho de conclusão de curso na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco. Neste caso, o autor pesquisou em websites de empresas que comercializam este tipo de produto, optando então pelo mais adequado.

Dessa forma, foram escolhidos módulos de 410W de potência de uma das maiores fabricantes de painéis fotovoltaico, a empresa canadense Canadian Solar. Conforme os cálculos, serão necessários nove destes painéis para atingir a potência de pico necessário.

$$Potência\ de\ cada\ painel = 410Wp$$

$$Potência\ necessária\ a\ ser\ atingida = 3620Wp$$

$$Número\ de\ painéis = \frac{3620Wp}{410Wp} = 8,83\ painéis \sim 9\ painéis \quad (13)$$

Logo, a nova potência do sistema fotovoltaico com nove placas de 410Wp instaladas será de 3690Wp.

$$P_{fv}(WP) = 9 \times 410 = 3690Wp \quad (14)$$

A tabela 5 mostra, em resumo, as informações sobre a escolha dos painéis fotovoltaicos.

Tabela 5 – Informações sobre o painel FV

| Nome do modelo | Canadian Solar CS3W-410 |
|-----------------------|-------------------------|
| Potência Nominal (Wp) | 410 |
| Eficiência (%) | 18,60 |
| Preço (R\$) | 877,22 |
| Loja/site | Eletrotrafo |

Fonte: Autor (2021)

5.5.2 Escolha do inversor

Segundo Pinho e Galdino (2014), a escolha do inversor depende da potência do sistema gerador fotovoltaico e, de maneira conservadora, a potência do inversor pode ser igual a potência nominal do sistema. Dessa forma, nos casos em que os inversores estão sujeitos a altas temperaturas, como telhados, recomenda-se uma potência igual ou superior ao do gerador fotovoltaico. Com isso, optou-se pelo modelo de 4kW da marca SunGrow, o qual tem uma alimentação máxima de entrada de até 5200W, mais que o suficiente para os 3690Wp que o sistema fotovoltaico irá gerar.

Repetiu-se aqui a metodologia de Scaff (2017), na qual foram feitas pesquisas em websites de empresas do ramo.

Tabela 6 – Informações sobre o inversor

| Nome do modelo | SG4K-D Sungrow |
|-----------------------|----------------|
| Potência Nominal (Wp) | 4000 |
| Eficiência (%) | 98,4 |
| Preço (R\$) | 4.548,59 |
| Loja/site | Eletrotrafo |

Fonte: Autor (2021)

5.5.3 Tensão de entrada no inversor

Para que haja um bom funcionamento do sistema, há critérios que devem ser levados em consideração entre as placas fotovoltaicas e o inversor.

Um desses pontos é a tensão de entrada no inversor, o qual é a soma das tensões dos módulos associados em série. Esta tensão varia de acordo com a temperatura dos módulos, atingindo seu ponto máximo em baixas temperaturas e mínimo em altas temperaturas, com isso deve estar sempre entre a faixa de operação determinado para o inversor escolhido (PINHO e GALDINO, 2014).

Para o cálculo da tensão, têm-se:

$$Voc(T) = Voc_{stc} * (1 + \beta_{Voc} * (T - 25)) \quad (15)$$

Onde:

$V_{oc}(T)$ – Tensão de circuito aberto em determinada temperatura

$V_{oc_{stc}}$ – Tensão de circuito aberto do painel FV em condições padrão de testes

$\beta_{V_{oc}}$ – Coeficiente de variação da tensão de circuito aberto

T – temperatura do painel FV

Segunda consta no *Datasheet* do inversor SG4K-D Sungrow, a máxima tensão de entrada suportada é de 600V. A tensão de circuito aberto do painel fotovoltaico Canadian Solar CS3W-410 é de 47.6V e o coeficiente $\beta_{V_{oc}}$ é de -0,28% / °C. Para a temperatura, segundo dados do INMET (2019) Guarapuava registrou -4,8°. Com isso, substituindo os valores na Equação 15, têm-se:

$$V_{oc}(T) = 47,6 * (1 + -0,28\% * (-4,8 - 25)) \quad (16)$$

$$V_{oc}(T) = 51,57V \quad (17)$$

Dessa forma, como o arranjo necessita de nove módulos em série, têm-se 464,13V de tensão máxima de circuito aberto. Como a máxima nominal suportada do inversor é de 480V, não há, portanto, qualquer risco de dano ao aparelho.

5.5.4 Faixa de tensão de operação de máximo ponto de potência do inversor

Outro critério que deve ser atendido para funcionamento do sistema é a necessidade da tensão gerada estar entre a faixa de operação SPPM do inversor. A faixa SPPM do inversor escolhido para potência nominal é de 160V até 480V, percebe-se que o limite máximo não é atingido, já que na tensão máxima atinge-se 464,13V como visto anteriormente.

É necessário, então, verificar a variação de tensão que pode ocorrer devido a mudança de temperatura, que permitirá estimar quantos módulos podem ser conectados em série e qual o limite mínimo para ficar dentro da faixa de operação.

$$\frac{V_{min_{SPMP}}}{V_{mpT_{max}}} < N^{\circ} \text{ de módulos em série} < \frac{V_{max_{SPMP}}}{V_{mpT_{min}}} \quad (18)$$

Onde:

$V_{min_{SPMP}}$ – Tensão mínima de operação do SPPM

$V_{max_{SPMP}}$ – Tensão máxima de operação do SPPM

$V_{mpT_{max}}$ – Tensão de potência máxima de um painel FV na maior temperatura

$V_{mpT_{min}}$ – Tensão de potência máxima de um painel FV na menor temperatura

De maneira similar a realizado na equação 15, identificando e substituindo V_{mp} igual a 39,1V e β_{Pmax} igual a -0,36% / °C no datasheet do painel fotovoltaico, utilizando uma temperatura máxima de 70°C que, conforme Pinho e Galdino (2014) são valores comuns que módulos podem atingir no verão do Brasil, e mínima de -4,8°C, encontra-se $V_{mpT_{máx}}$ igual a 32,77V e $V_{mpT_{mín}}$ igual a 43,29V, têm-se:

$$V_{mpT} = V_{mp} * (1 + \beta_{Voc} * (T - 25)) \quad (19)$$

$$V_{mpT_{máx}} = 39,1 * (1 + -0,36\% * (70 - 25)) = 32,77V \quad (20)$$

$$V_{mpT_{mín}} = 39,1 * (1 + -0,36\% * (-4,8 - 25)) = 43,29V \quad (21)$$

Com faixa de tensão mínima e máxima SPPM do inversor entre 160V e 480V, aplicando a equação 18, têm-se:

$$4,9 < N^{\circ} \text{ de módulos em série} < 11,1 \quad (22)$$

Como o sistema fotovoltaico do trabalho está arranjado com nove painéis em série, o sistema está de acordo com essa condição.

5.5.5 Corrente máxima do inversor

De forma similar, deve-se respeitar o limite de corrente que flui pelo sistema fotovoltaico conectado em série para não atingir o máximo estabelecido pelo inversor. Segundo Pinho e Galdino (2014), calcula-se assim o número de *strings* (série de módulos fotovoltaicos conectados em paralelo com o inversor), onde:

$$N^{\circ} \text{ séries de painéis FV em paralelo} = I_{i_{\max}}/I_{sc} \quad (23)$$

Onde:

$I_{i_{\max}}$ – Corrente máxima admitida na entrada do inversor

I_{sc} – Corrente de curto circuito do painel fotovoltaico em situação padrão de teste

Com as informações no *Datasheet* do painel fotovoltaico identificou-se que a máxima corrente é de 11,06A, para o inversor a máxima é de 12A, com isso, aplicando a Equação 23, obteve-se:

$$N^{\circ} \text{ séries de painéis FV em paralelo} = \frac{12}{11,06} = 1,08 \quad (24)$$

Nesse sentido, só será possível conectar uma série de módulos fotovoltaicos conectados em paralelo com o inversor, dessa forma, como só há uma ligação de painéis fotovoltaicos em série, a corrente máxima do inversor não será atingida no sistema.

5.6 VIDA ÚTIL DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para que possa haver uma análise econômica, é necessário definir um horizonte de planejamento para o investimento. Segundo a fabricante Canadian Solar, os painéis fotovoltaicos possuem vida útil de 25 anos e o inversor pode durar de 10 a 15 anos.

Com isso, considerou-se que a análise econômica será para um período de 25 anos, considerando uma troca de inversor no ano 13.

5.7 CUSTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A tabela 7 demonstra a relação dos equipamentos utilizados no sistema e seus respectivos custos e quantidades, que, por sua vez, resultou em um valor total de R\$18.292,16.

Além disso, considerou-se 1% ao ano de custos de manutenção, a qual inclui, basicamente, limpeza e inspeção do sistema. Determinou-se também um custo estimado de R\$300,00 para acessórios e R\$1.000,00 para instalação do sistema.

Tabela 7 – Custo do sistema FV

| Item | Quantidade | Custo | Custo total |
|---------------------|------------|--------------|----------------------|
| Painel fotovoltaico | 9 | R\$ 877,22 | R\$ 7.894,98 |
| Inversor | 2 | R\$ 4.548,59 | R\$ 9.097,18 |
| Acessórios | 1 | R\$ 300,00 | R\$ 300,00 |
| Instalação | 1 | R\$ 1.000,00 | R\$ 1.000,00 |
| VALOR TOTAL | | | R\$ 18.292,16 |

Fonte: Autor (2021)

5.8 CUSTO DA TARIFA DE ENERGIA

Na fatura de energia elétrica, têm-se as informações necessárias para aferir o custo da tarifa de energia.

Figura 21 – Demonstrativo da fatura

| Demonstrativo | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|------------|--------------------|-------------------|-----------------------|------------|------------|-----------------------------|----------|-------------|
| CCI | Descrição | Quantidade | Tarifa c/ Impostos | Valor Total (R\$) | Base Calc. ICMS (R\$) | Aliq. ICMS | ICMS (R\$) | Base Calc. PIS/Cofins (R\$) | PIS (\$) | COFINS (\$) |
| | | | | | | | | | 0,7137% | 3,2873% |
| 601 | Consumo em kWh | 432 | 0,767000 | 331,34 | 331,34 | 29 | 96,08 | 331,34 | 2,36 | 10,89 |
| 601 | Adic. B. Amarela | | | 8,65 | 8,65 | 29 | 2,51 | 8,65 | 0,06 | 0,28 |
| <u>LANÇAMENTOS E SERVIÇOS</u> | | | | | | | | | | |
| 807 | Contrib de Ilum Pub | | | 25,23 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Fonte: Autor (2021)

Como o sistema fotovoltaico gerará créditos injetando energia elétrica no sistema da concessionária, o valor a ser abatido será o de consumo em kWh, que com todos os impostos já adicionados, têm o valor de 0,767 reais para cada kWh consumido.

5.9 ENERGIA MENSAL GERADA

Como definido na Equação 14, a potência real do sistema é de 3,69kWp, a taxa de desempenho é de 75% e a HSP diária é de 4,77. Assim, segundo Pinho e Galdino (2014), de maneira análoga a Equação 10, têm-se:

$$E_{diária} = P_{fv}(WP) * TD * HSP_{ma} \quad (25)$$

$$E_{mensal} = P_{fv}(WP) * TD * HSP_{ma} * 30 \quad (26)$$

$$E_{mensal} = 396,03kWh \quad (27)$$

$$E_{anual} = 396,03kWh * 12 = 4752,36kWh \quad (28)$$

5.10 TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE (TMA)

Para determinar a TMA, escolheu-se como referência um investimento no Tesouro Direto, Programa do Tesouro Nacional, cuja finalidade é a venda de títulos públicos federais para pessoas físicas. O título escolhido foi o Tesouro Prefixado 2031, que no momento deste estudo, possuía a maior data de vencimento e uma rentabilidade de 9,43% ao ano.

Segundo o Tesouro Nacional, títulos prefixados são títulos públicos com rentabilidade definida no momento da compra. Dessa forma, o investidor saberá exatamente quanto receberá no final do período, o que torna-se adequado para utilização como referência.

Considerando que o Tesouro Direto apresenta um investimento de baixo risco e alta previsibilidade, entende-se que há um grau de complexidade maior para investir em um sistema solar. Dessa forma, adota-se para fins deste estudo, uma Taxa Mínima de Atratividade de 10% para o investimento em questão.

5.11 CONDIÇÕES E PREMISSAS

Definida a TMA, têm-se uma taxa de rentabilidade de referência para as análises econômicas. Porém, além disso, há outras taxas e condições que devem ser determinadas, como o aumento na tarifa e a perda de eficiência dos módulos fotovoltaicos ao passar do tempo.

Reajustes anuais de aumentos ou decréscimos nas tarifas que são difíceis de prever. Com isso, pode-se trabalhar de maneira conservadora desconsiderando o efeito da inflação na tarifa. Uma vez que haja aumento da tarifa no período, o

investimento tende a tornar-se ainda mais atraente, já que a economia gerada pelos créditos seria ainda maior (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE, 2014).

Desta forma, neste estudo, desconsiderou-se o aumento da tarifa de energia ao longo do período estabelecido.

Há também a perda de eficiência dos painéis fotovoltaicos com o passar do tempo. A empresa Canadian Solar, fabricante dos painéis escolhidos garante uma eficiência de 80% até o período de 25 anos. O que representa uma perda de 0,8% de eficiência dos painéis ao ano.

Por fim, considerou-se a troca do inversor no período de 13 anos, tempo esse referente a metade da vida útil do equipamento.

5.12 PAYBACK SIMPLES

O Payback Simples é o tempo de retorno do investimento não levando em consideração qualquer taxa de desconto no tempo. Assim, o Payback Simples se dá no momento em que a soma dos fluxos de caixa se igualam a zero.

A tabela 8 demonstra o fluxo de caixa do sistema fotovoltaico, considerando o investimento no sistema, o custo anual de manutenção e os créditos gerados. Observa-se que no período 13, há o custo referente a troca do inversor, necessitando assim um novo investimento no valor de R\$4.548,59.

Tabela 8 - Fluxo de caixa do sistema FV

| PERÍODO | INVESTIMENTO | MANUTENÇÃO | CRÉDITOS | FLUXO DE CAIXA | PAYBACK |
|---------|--------------|------------|----------|----------------|------------|
| 0 | -13.743,57 | | | -13.743,57 | -13.743,57 |
| 1 | | -182,92 | 3.645,06 | 3.462,14 | -10.281,43 |
| 2 | | -182,92 | 3.614,68 | 3.431,76 | -6.849,67 |
| 3 | | -182,92 | 3.584,31 | 3.401,39 | -3.448,28 |
| 4 | | -182,92 | 3.553,93 | 3.371,01 | -77,26 |
| 5 | | -182,92 | 3.523,56 | 3.340,64 | 3.263,38 |
| 6 | | -182,92 | 3.493,18 | 3.310,26 | 6.573,64 |
| 7 | | -182,92 | 3.462,81 | 3.279,89 | 9.853,53 |
| 8 | | -182,92 | 3.432,43 | 3.249,51 | 13.103,04 |
| 9 | | -182,92 | 3.402,06 | 3.219,14 | 16.322,17 |
| 10 | | -182,92 | 3.371,68 | 3.188,76 | 19.510,93 |
| 11 | | -182,92 | 3.341,31 | 3.158,39 | 22.669,32 |
| 12 | | -182,92 | 3.310,93 | 3.128,01 | 25.797,33 |
| 13 | -4.548,59 | -182,92 | 3.280,55 | -1.450,96 | 24.346,37 |
| 14 | | -182,92 | 3.250,18 | 3.067,26 | 27.413,63 |
| 15 | | -182,92 | 3.219,80 | 3.036,88 | 30.450,51 |
| 16 | | -182,92 | 3.189,43 | 3.006,51 | 33.457,02 |
| 17 | | -182,92 | 3.159,05 | 2.976,13 | 36.433,15 |
| 18 | | -182,92 | 3.128,68 | 2.945,76 | 39.378,91 |
| 19 | | -182,92 | 3.098,30 | 2.915,38 | 42.294,29 |
| 20 | | -182,92 | 3.067,93 | 2.885,01 | 45.179,30 |
| 21 | | -182,92 | 3.037,55 | 2.854,63 | 48.033,93 |
| 22 | | -182,92 | 3.007,17 | 2.824,25 | 50.858,18 |
| 23 | | -182,92 | 2.976,80 | 2.793,88 | 53.652,06 |
| 24 | | -182,92 | 2.946,42 | 2.763,50 | 56.415,56 |
| 25 | | -182,92 | 2.916,05 | 2.733,13 | 59.148,69 |

Fonte: Autor (2021)

Nota-se que o Payback Simples é atingido entre o quarto e o quinto ano, mais precisamente em 4 anos e 8 dias. É importante frisar, porém, que como não há qualquer taxa de desconto aplicado nesse resultado, o mesmo serve para fins ilustrativos e de auxílio na análise, uma vez que qualquer inflação no período, aumentaria o tempo de retorno real do investimento.

5.13 PAYBACK DESCONTADO

Como já mencionado, o Payback Descontado é o tempo de espera para que o valor investido possa retornar ao investidor, considerando uma Taxa Mínima de Atratividade que, neste caso, será de 10% ao ano.

Dessa forma, é estabelecido o Fluxo de Caixa Descontado, o qual é demonstrado na tabela 9, considerando o valor gerado em créditos (descontados pela TMA de 10%) no sistema fotovoltaico. Nota-se no período 13, o valor descontado com relação ao investimento da troca do inversor.

Tabela 9 - Fluxo de caixa descontado do sistema FV

| PERÍODO | FLUXO DE CAIXA | FLUXO DE CAIXA DESCONTADO (TMA 10%) | PAYBACK DESCONTADO |
|---------|----------------|--|-----------------------|
| 0 | -13.743,57 | -13.743,57 | -13.743,57 |
| 1 | 3.462,14 | 3.147,40 | -10.596,17 |
| 2 | 3.431,76 | 2.836,17 | -7.760,00 |
| 3 | 3.401,39 | 2.555,51 | -5.204,49 |
| 4 | 3.371,01 | 2.302,45 | -2.902,04 |
| 5 | 3.340,64 | 2.074,27 | -827,77 |
| 6 | 3.310,26 | 1.868,56 | 1.040,79 |
| 7 | 3.279,89 | 1.683,10 | 2.723,89 |
| 8 | 3.249,51 | 1.515,92 | 4.239,81 |
| 9 | 3.219,14 | 1.365,23 | 5.605,04 |
| 10 | 3.188,76 | 1.229,41 | 6.834,45 |
| 11 | 3.158,39 | 1.106,99 | 7.941,44 |
| 12 | 3.128,01 | 996,68 | 8.938,12 |
| 13 | -1.450,96 | -420,29 | 8.517,83 |
| 14 | 3.067,26 | 807,71 | 9.325,54 |
| 15 | 3.036,88 | 727,01 | 10.052,54 |
| 16 | 3.006,51 | 654,30 | 10.706,85 |
| 17 | 2.976,13 | 588,81 | 11.295,66 |
| 18 | 2.945,76 | 529,82 | 11.825,48 |
| 19 | 2.915,38 | 476,69 | 12.302,17 |
| 20 | 2.885,01 | 428,84 | 12.731,00 |
| 21 | 2.854,63 | 385,75 | 13.116,75 |
| 22 | 2.824,25 | 346,95 | 13.463,70 |
| 23 | 2.793,88 | 312,02 | 13.775,71 |
| 24 | 2.763,50 | 280,57 | 14.056,28 |
| 25 | 2.733,13 | 252,26 | 14.308,54 |

Fonte: Autor (2021)

Percebe-se que o Fluxo de Caixa passa a ser positivo entre o quinto e sexto ano, mais especificamente em 5 anos, 5 meses e 9 dias. Portanto, têm-se o Payback Descontado do investimento nesse período. Considerando que a vida útil em bom funcionamento do sistema fotovoltaico é de 25 anos, percebe-se que há entre 19 a 20 anos de geração de energia que teoricamente não haverá custos.

5.14 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

Para o Valor Presente Líquido do Fluxo de Caixa gerado, obteve-se um VPL igual a R\$14.308,54. Como mostrado na seção 3.9.4, o VPL maior que 0 significa que trazendo os fluxos de caixa futuro para valores presentes e considerando o risco do negócio com a TMA de 10% têm-se lucro, ou seja, apresentou um resultado positivo no período.

Dessa forma, o investimento para a TMA de 10% escolhida, representaria um ganho de R\$14.308,54 em valores atuais. Além disso, este valor corrobora o Payback Descontado obtido, uma vez que um VPL igual a zero representaria um retorno do investimento no vigésimo quinto ano.

5.15 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Para a Taxa Interna de Retorno, obteve-se um valor igual a 23,67% o que demonstra rentabilidade do investimento acima da TMA. Além disso, corrobora os resultados obtidos no Payback Descontado e no VPL.

Como o custo do capital nesta situação é de 10%, a TIR demonstra com clareza que o projeto em questão é viável.

É importante lembrar que como não houve consideração de aumento da tarifa de energia como recomendado pela Empresa de Pesquisa Energética (2014) a estimativa torna-se conservadora. Nota-se assim, que caso houvesse aumento na tarifa, os créditos gerados seriam maiores, de maneira a elevar ainda mais a TIR.

6 CONCLUSÃO

Apesar de ainda ser pouco utilizada, nota-se que a energia solar fotovoltaica tem grande potencial no Brasil. Os dados de irradiação solar mostram que o país tem vasta disponibilidade de energia em praticamente qualquer estado, tendo o seu ponto mínimo de irradiação com mais potencial do que o ponto máximo de países líderes em energia solar fotovoltaica.

Embora ainda distante do ideal, a tecnologia está cada vez mais difundida, mostrando um crescimento nos últimos anos. Gerar energia limpa e não depender de apenas uma fonte na matriz energética mostrou-se como uma ótima alternativa para investidores, assim como para o país.

O presente estudo conseguiu avaliar a disponibilidade de irradiação solar na cidade de Guarapuava e mostrou que a mesma dispõe de 4,77kWh por metro quadrado por dia.

Para o estudo de caso, a análise demonstrou que o investimento foi positivo mesmo adotando premissas conservadoras, como o não aumento da tarifa. É importante notar que caso houvesse qualquer alteração positiva no custo da tarifa, o sistema tornar-se-ia ainda mais rentável, uma vez que os créditos gerados impactariam o fluxo de caixa de modo a elevar a VLP e a TIR, e diminuir o período de Payback.

O Payback Descontado apresentou um retorno de 5 anos, 5 meses e 9 dias. Um período relativamente curto, atingindo o retorno do investimento em um quinto do tempo de análise, considerando que o sistema fotovoltaico tem vida útil estimada de 25 anos.

A TIR de 23,67% superou a TMA de 10% e apresentou uma rentabilidade não encontrada em outros investimentos de baixo risco no período de realização deste trabalho. Demonstra, assim, que para este caso seria viável investir no projeto.

O VPL apresentou resultado positivo de R\$14.308,54, o que corrobora as outras ferramentas financeiras aplicadas.

Outro ponto interessante é que, quanto maior for o consumo de energia elétrica da residência em análise, mais rentável o sistema tende a tornar-se. Dessa forma, embora o investimento seja mais alto, os créditos gerados igualmente serão, trazendo o retorno do investimento em menos tempo.

Considerando que o Brasil vive instabilidade econômica com variações constantes na taxa básica de juros, pode-se considerar a energia solar como uma alternativa de investimento. Diante disso, este estudo poderá servir como referência no auxílio de dimensionamentos na cidade de Guarapuava, onde percebe-se que para este padrão de consumo, com um modelo de dimensionamento conservador, o sistema é rentável.

No que refere-se ao dimensionamento e materiais escolhidos, há no mercado uma vasta gama de painéis fotovoltaicos e inversores, os quais podem se adaptar a diferentes condições de instalação. Caso a residência tenha pouca área de cobertura disponível, por exemplo, pode-se utilizar painéis de maior geração. Para este trabalho, a área necessária de cobertura foi inferior a 20 m².

Além disso, o sistema fotovoltaico necessita de atenção a respeito da manutenção das placas, limpeza e sombras que podem surgir e diminuir sua geração de energia. Porém, para a residência escolhida, a cobertura é totalmente exposta ao sol e não há vizinhos ou árvores que possam atrapalhar o sistema.

Por fim, os objetivos da pesquisa foram atendidos e demonstraram resultado positivo a respeito da viabilidade econômica. No que diz respeito a tecnologia, é notável que ainda há um grande caminho a ser percorrido para difundir informações para que a mesma possa ser cada vez mais utilizada. Com os avanços tecnológicos, os sistemas tendem a tornar-se mais eficientes e baratos com o passar do tempo. Promovendo resultados positivos aos investidores, consumidores e geradores de energia elétrica.

Há de se destacar que o maior beneficiado da aplicação da energia elétrica fotovoltaica seria o país, que como demonstrado neste estudo, sofre periodicamente com crises hídricas, gerando falta de energia, apagões, entre outros problemas em diversas localidades.

Assim, a diversificação da geração de energia elétrica que compõe a matriz energética brasileira é essencial para que haja um desenvolvimento adequado para o país, o qual tem uma demanda de consumo elétrico cada vez maior. Tendo o país um grande potencial solar e a energia fotovoltaica sendo uma tecnologia limpa, pode-se afirmar que a mesma está entre as candidatas mais adequadas para desenvolver-se no Brasil.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. Brasil entra no grupo de 20 países líderes em energia solar. **ABSOLAR**. 10 jul. 2020. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/brasil-entra-no-grupo-de-20-paises-lideres-em-energia-solar/>>. Acesso em: 10 fev. 2021.

ABSOLAR. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil e no mundo. **ABSOLAR**. 1 ago. 2021. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 24 fev. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3ª. ed. Brasília: TDA COMUNICAÇÃO, 2008.

ALVES, A. **Engenharia econômica**. Porto Alegre: ISBN, 2017.

BALFOUR, J. **Introdução ao projeto de sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

BLUESOL. **O Guia mais completa da energia Solar Fotovoltaica: Entenda Tudo!** São Paulo, 17 mar. 2018. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-fotovoltaica-guia-supremo/>> Acesso em 10 fev. de 2021.

BLUESOL. **Universidade do RS Desenvolve Célula Fotovoltaica Mais Eficiente do Brasil**. São Paulo, 2017. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/universidade-do-rs-desenvolve-celula-fotovoltaica-mais-eficiente-do-brasil/>> Acesso em 10 fev. de 2021.

BRASIL. **Resolução Normativa Nº 414, de 9 de setembro de 2010**. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?Version=1.0>>. Acesso em: 5 jun. 2021.

CRESESB. **Potencial Solar – SunData v 3.0. 2018**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>> Acesso em 10 jul. de 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2021**. Rio de Janeiro, 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil** - Condicionantes e Impactos. Rio de Janeiro, 2014.

ESPOSITO, A. S.; FUCHS, P. G. **Desenvolvimento tecnológico e inserção da energia solar no Brasil**. 1. ed. São Paulo:BNDES, 2013.

G1. **Câmara aprova projeto que institui marco legal para geração própria de energia**. Brasília, 18 ago. 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/politica/noticia/2021/08/18/camara-aprova-projeto-que-institui-marco-legal-para-geracao-propria-de-energia.ghtml>>. Acesso em: 31 ago. 2021.

GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/@-25.3877826,-51.45217036,1103.41231537a,103.86445489d,35y,0h,0t,0r>> Acesso em 5 jun. 2021.

GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/R.+Abraham+Haick,+534+-+Santana,+Guarapuava+-+PR,+85070-690/@-25.3878432,-51.4542422,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x94ef363d6671555f:0x13667b30faf7e001!8m2!3d-25.387843!4d-51.452053>> Acesso em 5 jun. 2021.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **Dados Históricos Anuais**. 2020. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>> Acesso em 10 jul. de 2021.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos, 2017.

MACHADO, C. T.; MIRANDO, F. S. **Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão**. Rev. Virtual Química, Niterói (RJ) v. 7, n. 1, p. 126-143, fev. 2015.

MACKAY, M. E. **Solar Energy: An Introduction**. 1. ed. Oxford, United Kingdom: CPI Group (UK), 2015.

NETO, A. A. **Matemática financeira**: edição universitária. São Paulo: ISBN, 2017.

NOGUEIRA, G. G. E. F. **Análise da viabilidade econômica para sistemas de geração fotovoltaica em construções residenciais de até 70m² na cidade de Curitiba**. 2017. 109 f. TCC (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

OCA ENERGIA. **Sistema fotovoltaico híbrido**: entenda o que é e suas aplicações. São Paulo, 24 mai. 2019. Disponível em: <<https://www.ocaenergia.com/blog/energia-solar/sistema-fotovoltaico-hibrido-entenda-o-que-e/>>. Acesso em: 19 out. 2020.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 1. ed. Rio de Janeiro: CEPEL - CRESESB, 2014.

PORTAL SOLAR. **Folha de Dados do Painel Solar** – O Que Você Precisa Saber. 23 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/folha-de-dados-do-painel-solar---o-que-voce-precisa-saber.html>> Acesso em 10 fev. 2021.

PORTAL SOLAR. **Vice presidente da Jinko Solar afirma que a falta de materiais da indústria solar está chegando a um ponto crítico**. 26 abr. 2021. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/empresas-de-energia-solar/vice-presidente-da-jinko-solar-afirma-que-a-falta-de-materiais-da-industria-solar-esta-chegando-a-um-ponto-critico.html>> Acesso em 31 ago. 2021.

SANTOS, J. O. D. **Valuation**: um guia prático. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2018.

SCAFF, R. L. S. **Estudo da viabilidade econômica para sistema fotovoltaico em residência no município de Pato Branco**. 2017. 74f. TCC (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

TIEPOLO, G. M. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná**. 2015. 228f. Dissertação (Pós-Graduação) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Pato Branco, 2017.

TORRES, O. F. F. **Fundamentos da engenharia econômica e da análise econômica de projetos**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2006.

ANEXO A – Datasheet dos Materiais Utilizados

A.1 PAINÉL FOTOVOLTAICO CANADIAN CS3W-410







HiKu

SUPER HIGH POWER POLY PERC MODULE
395 W ~ 420 W
CS3W-395 | 400 | 405 | 410 | 415 | 420P

MORE POWER

-  24 % higher power than conventional modules
-  Up to 4.5 % lower LCOE
Up to 2.7 % lower system cost
-  42°C Low NMOT: 42 ± 3 °C
Low temperature coefficient (Pmax): -0.36 % / °C
-  Better shading tolerance

MORE RELIABLE

-  Lower internal current, lower hot spot temperature
-  Minimizes micro-crack impacts
-  Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 3600 Pa*

25 years linear power output warranty*

12 years enhanced product warranty on materials and workmanship*

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / KS / INMETRO
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / IEC 60068-2-68: SGS
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way







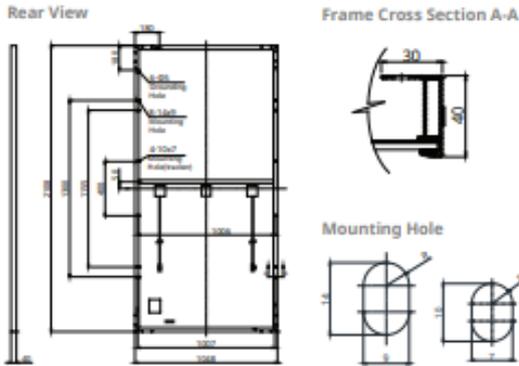

* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 40 GW deployed around the world since 2001.

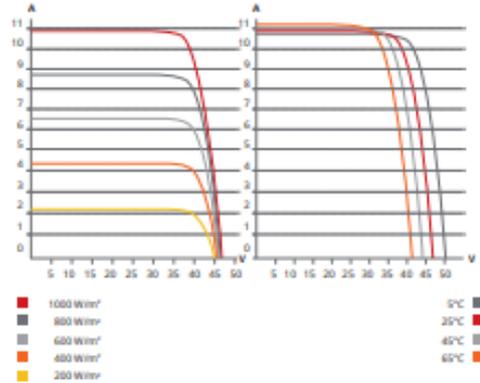
* For detail information, please refer to Installation Manual.

CANADIAN SOLAR INC.
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS3W-400P / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

| CS3W | 395P | 400P | 405P | 410P | 415P | 420P |
|------------------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| Nominal Max. Power (Pmax) | 395 W | 400 W | 405 W | 410 W | 415 W | 420 W |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 38.5 V | 38.7 V | 38.9 V | 39.1 V | 39.3 V | 39.5 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 10.26 A | 10.34 A | 10.42 A | 10.49 A | 10.56 A | 10.64 A |
| Open Circuit Voltage (Voc) | 47.0 V | 47.2 V | 47.4 V | 47.6 V | 47.8 V | 48.0 V |
| Short Circuit Current (Isc) | 10.82 A | 10.90 A | 10.98 A | 11.06 A | 11.14 A | 11.26 A |
| Module Efficiency | 17.9% | 18.1% | 18.3% | 18.6% | 18.8% | 19.0% |
| Operating Temperature | -40°C ~ +85°C | | | | | |
| Max. System Voltage | 1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL) | | | | | |
| Module Fire Performance | TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730) | | | | | |
| Max. Series Fuse Rating | 20 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.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

| CS3W | 395P | 400P | 405P | 410P | 415P | 420P |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Nominal Max. Power (Pmax) | 294 W | 298 W | 302 W | 305 W | 309 W | 313 W |
| Opt. Operating Voltage (Vmp) | 35.8 V | 36.0 V | 36.2 V | 36.4 V | 36.6 V | 36.8 V |
| Opt. Operating Current (Imp) | 8.21 A | 8.27 A | 8.33 A | 8.39 A | 8.45 A | 8.51 A |
| Open Circuit Voltage (Voc) | 44.1 V | 44.3 V | 44.5 V | 44.7 V | 44.9 V | 45.1 V |
| Short Circuit Current (Isc) | 8.73 A | 8.79 A | 8.86 A | 8.92 A | 8.99 A | 9.08 A |

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

| Specification | Data |
|------------------------------------|---|
| Cell Type | Poly-crystalline |
| Cell Arrangement | 144 [2 X (12 X 6)] |
| Dimensions | 2108 X 1048 X 40 mm (83.0 X 41.3 X 1.57 in) |
| Weight | 24.9 kg (54.9 lbs) |
| Front Cover | 3.2 mm tempered glass |
| Frame | Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced |
| J-Box | IP68, 3 bypass diodes |
| Cable | 4 mm² (IEC), 12 AWG (UL) |
| Cable Length (Including Connector) | Portrait: 500 mm (19.7 in) (+) / 350 mm (13.8 in) (-); landscape: 1400 mm (55.1 in); leap-frog connection: 1670 mm (65.7 in)* |
| Connector | T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2 |
| Per Pallet | 27 pieces |
| Per Container (40' HQ) | 594 pieces |

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

| Specification | Data |
|--------------------------------------|--------------|
| Temperature Coefficient (Pmax) | -0.36 % / °C |
| Temperature Coefficient (Voc) | -0.28 % / °C |
| Temperature Coefficient (Isc) | 0.05 % / °C |
| Nominal Module Operating Temperature | 42 ± 3°C |

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CANADIAN SOLAR INC.
 545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

A.2 INVERSOR SG4K-D

SUNGROW

SG3K-D/SG4K-D/SG5K-D/SG6K-D

Inversor String Residencial



Alto Rendimento

- Maior rendimento com eficiência máx. de 98,4%, eficiência europeia 98%
- Configurações flexíveis de strings FV, relação DC / AC de até 1,3



Seguro e durável

- Fácil monitoramento local e on-line via App ou Web
- Controle de potência exportada com medidor de energia Sungrow



Gestão Inteligente

- Protetores contra surtos embutidos e proteção de corrente residual
- Alta anti-corrosão com liga de alumínio de fundição



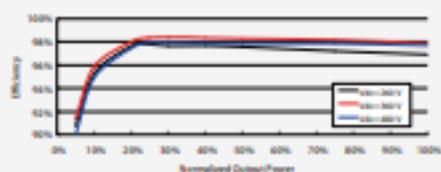
Uso fácil e amigável

- Design compacto de 11,5 kg, instalação plug and play
- Comissionamento rápido via LCD

Diagrama de circuito



Curva de eficiência



© 2018 Sungrow Power Supply Co., Ltd. Direitos reservados.
Possível alteração sem notificação prévia. Revisão 1.

SG3K-D/SG4K-D/SG5K-D/SG6K-D

| Dados do lado de entrada | SG3K-D | SG4K-D | SG5K-D | SG6K-D |
|--|--------------------|---------------|---------------|---------------|
| Alimentação máx. de entrada FV | 4000 W | 5200 W | 6500 W | 7800 W |
| Máx. tensão de entrada FV | 600 V | | | |
| Tensão de partida da entrada | 120 V | | | |
| Tensão nominal de entrada | 360 V | | | |
| Faixa de tensão MPP | 90 V – 560 V | | | |
| Faixa e tensão MPP para potência nominal | 160 V – 480 V | 210 V – 480 V | 260 V – 480 V | 315 V – 480 V |
| No. de entradas MPPTs | 2 | | | |
| Número máximo de strings FV por MPPT | 1 | | | |
| Máx. corrente FV de entrada | 20 A (10 A / 10 A) | | | |
| Máx. corrente por entrada | 24 A (12 A / 12 A) | | | |
| Máx. corrente de curto circuito DC | 24 A (12 A / 12 A) | | | |

Dados do lado de saída

| | | | | |
|--|---|---------|---------|---------|
| Potência nominal AC de saída (a 45 °C) | 3000 W | 4000 W | 5000 W | 6000 W |
| Potência AC máx. de saída para (FP = 1) (a 45 °C) | 3000 W | 4000 W | 5000 W | 6000 W |
| Potência aparente máx. de saída AC (a 45 °C) | 3000 VA | 4000 VA | 5000 VA | 6000 VA |
| Corrente de saída máx. AC | 13,7 A | 18,2 A | 22,7 A | 27,3 A |
| Tensão nominal AC | 220 Vac (monofásico) | | | |
| Faixa de tensão AC | 176 Vac – 276 Vac (pode variar de acordo com os padrões de rede) | | | |
| Frequência nominal da rede / Faixa de variação de frequência | 60Hz / 55 Hz–65 Hz (pode variar de acordo com os padrões de rede) | | | |
| DHT - Distorção harmônica total | < 3 % (da potência nominal) | | | |
| Injeção de corrente DC | < 0,5 % (da potência nominal) | | | |
| Fator de potência | > 0,99 valor padrão a potência nominal (ac), 0,8 sobrecarregado/adiantado a 0,8 subcarregado/atrasado | | | |

Eficiência

| | | | | |
|--|-----------------|-----------------|--|--|
| Eficiência máx. / Eficiência Máx. Europeia | 98,4 % / 97,7 % | 98,4 % / 98,0 % | | |
|--|-----------------|-----------------|--|--|

Proteção

| | |
|--------------------------------------|----------------------------|
| Proteção anti-rammento | Sim (desvio de frequência) |
| Proteção contra conexão DC invertida | Sim |
| Proteção contra curto circuito AC | Sim |
| Proteção contra corrente de fuga | Sim |
| Interruptor DC | Sim |
| Proteção de sobretensão | AC Tipo II |

Dados gerais

| | |
|----------------------------------|--|
| Dimensões (L*A*P) | 360 * 390 * 133 mm |
| Peso | 11,5 kg |
| Método de isolamento | Sem transformador |
| Grau de proteção (IP) | IP65 |
| Perdas no modo noturno | < 1 W |
| Temperatura ambiente de operação | -25 to 60 °C (desclassificar quando > 45 °C) |
| Umidade relativa permitível | 0 – 100 % |
| Método de resfriamento | Resfriamento natural |
| Altitude máx. de operação | 4000 m (desclassificar quando > 2000 m) |
| Visor / Comunicação | LCD / Wi-Fi |
| Tipo de conexão FV | MCH |
| Tipo de conexão AC | Conector plug and play |
| Certificação | IEC61000-6-2, IEC61000-6-3, AS4777.2, IEC62109-1, IEC62109-2, VDE-AR-N-4105, VDE0126-1-1, EN50438, NBT 32054, GB/T29215, CE, CGC, TUV, SAA, ABNT NBR 16149:2013, ABNT NBR 16150:2013 |

