



PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL NO BRASIL: UM ESTUDO SOBRE A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E VIABILIDADE ECONÔMICA

Lucas Ferreira Gaede Ponath

Dissertação submetida à Escola Superior de Tecnologia e Gestão para a obtenção do Grau de Mestre em Energias Renováveis e Eficiência Energética pelo Instituto Politécnico de Bragança

Orientador:

Prof. Dr. Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares

Rio de Janeiro, 2022

PONATH, Lucas Ferreira Gaede - a44931

Título: **PRODUÇÃO FOTOVOLTAICA RESIDENCIAL NO BRASIL: UM ESTUDO SOBRE A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E VIABILIDADE ECONÔMICA** / Lucas Ferreira Gaede Ponath, 2022

Nº: 92 Páginas

Orientador: **Orlando Manuel de Castro Ferreira Soares**

Tese de Mestrado - Instituto Politécnico de Bragança - ESTIG.

Rio de Janeiro, 2022.

1. Energia solar fotovoltaica. 2.Eficiência energética residencial. 3. Energias Renováveis no Brasil. 4. Estudo de Caso. 5. Análise Econômica e financeira. 6. Conclusão

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Professora por formação, que mesmo com todas as dificuldades que enfrentou, conduziu minha formação ao aluno, profissional e ao caráter que tenho hoje. Aos meus amigos feitos em Portugal, destacando o Maurílio Ferreira que esteve ao meu lado esses dois anos em Portugal e acreditou no meu potencial e apoio aos meus estudos. Ao Paulo Vaz, meu amigo de turma e parceiro de estudos que me acompanhou nessa caminhada e à Marcella Guarilha, companheira nos estudos e de morada que caminhou parte dessa jornada comigo.

Ao meu orientador Prof. Orlando Soares que dedicou seu precioso tempo em me ajudar a elaborar esse trabalho, além de levantar diferentes caminhos de narrativa para prosseguir com essa monografia e ao Prof. Coordenador do Curso Prof. Dr. Luis Frölen, por me direcionar ao melhor caminho para meu desenvolvimento.

Quero deixar um agradecimento especial ao Prof. Luís Correa, da disciplina de Sistema Solar Térmico, cadeira pela qual tive muita dedicação e aprendizado especialmente pela forma conduzida pelo Professor. Obrigado pelos ensinamentos.

À instituição e os educadores que fazem parte da turma de M.Sc Energias Renováveis e Eficiência Energética, pela grande colaboração em solucionar todas as nossas dúvidas e questionamentos, de forma ética, pontual e concisa.

RESUMO

A utilização de geração fotovoltaica e de modo a promover a poupança e eficiência energética na parte de iluminação interior e exterior de uma residência, também pode transmitir conhecimentos sobre a utilização destes sistemas elétricos por energia solar. A proposta dessa tese visa estudar a geração de energia fotovoltaica para uso residencial no Brasil. O estudo proposto analisou o consumo médio de todas as cargas de uma residência brasileira comum e dimensionou um projeto fotovoltaico conectado à rede com o intuito de promover economia financeira à família. A análise do projeto constatou a viabilidade econômica e técnica do sistema fotovoltaico, pois os resultados obtidos mostraram uma taxa de desempenho (PR) alta e um tempo curto para o retorno do investimento.

Palavras-Chave: Energia solar fotovoltaica; Eficiência energética residencial; Energias Renováveis; Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

The use of photovoltaic generation and in order to promote energy savings and efficiency in the interior and exterior lighting part of a residence, can also transmit knowledge about the use of these electrical systems by solar energy. The proposal of this thesis aims to study the generation of photovoltaic energy for residential use in Brazil. The proposed study analyzed the average consumption of all loads of a typical Brazilian residence and dimensioned a photovoltaic project connected to the grid in order to promote financial savings to the family. The analysis of the project verified the economic and technical feasibility of the photovoltaic system, as the results obtained showed a high performance rate (PR) and a short time for return on investment.

Keywords: Photovoltaic solar energy; Energy efficiency; Renewable energy.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 DIFICULDADES.....	3
1.2. OBJETIVO	4
1.2.1 OBJETIVO GERAL.....	4
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.3 JUSTIFICATIVA	5
1.4 METODOLOGIA	5
2. ENERGIA SOLAR.....	6
2.1 TRANSFERÊNCIA RADIATIVA.....	6
2.2 RADIAÇÃO SOLAR	8
2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	13
2.3.1 SISTEMAS ISOLADOS (OFFGRID).....	14
2.3.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO À REDE (ONGRID).....	15
2.3.3 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS.....	15
2.4 EFEITO FOTOVOLTAICO	18
2.5 PRODUTIVIDADE (YIELD) DE SFVCR.....	20
2.6 TAXA DE DESEMPENHO (PERFORMANCE RATIO – PR) DE SFVC.....	20
2.7 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS.....	21
2.8 PANORAMA GERAL SOBRE AS TECNOLOGIAS E MERCADOS DE ENERGIA SOLAR.....	22
3 CENÁRIO BRASILEIRO	23
3.1 CONTEXTO ENERGÉTICO (ELETRICIDADE) BRASILEIRO	23
3.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	29
3.2 REGULAMENTAÇÃO NACIONAL PARA FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA	32

3.3- LEGISLAÇÃO PARA A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL.....	33
3.3.1 RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL N° 482, DE 17.4.2012.....	34
3.3.2 RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL N° 414, DE 9.9.2010.....	37
3.3.3 CONVÊNIO ICMS/CONFAZ N° 6, DE 5.4.2013.....	38
4. ESTUDO DE CASO - PROJETO RESIDENCIAL	40
4.1 METODOLOGIA	40
4.2 UNIDADE DE CONSUMO	41
4.2.1 PERFIL DE CONSUMO.....	42
4.2.2 DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS	43
4.2.3 SIMULAÇÃO NO PVSOL.....	48
4.2.4 DIAGRAMAS DE SANKEY (EFICIÊNCIA ENERGÉTICA)	52
4.2.5 MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (ALTERNATIVA).....	53
5. ANÁLISE ECONÔMICA E FINANCEIRA	54
5.1 ANÁLISE DE CUSTOS DO PROJETO	55
5.2 PODER DE COMPRA X RENDA FAMILIAR BRASILEIRA	56
6. CONCLUSÃO.....	59
7. REFERÊNCIAS	61
8 ANEXOS	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 - Diagrama simbólico dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre. Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2006).....	7
Figura 2-2-Órbita da Terra em torno do Sol, com seu eixo N-S inclinado de um ângulo de 23,5°. Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar , 2 Edição -2017.....	9
Figura 2-3 - Variação da posição do sol com as estações do ano. Fonte: SERRÃO, 2010.....	10
Figura 2-4 - Espectro Solar. Fonte: Atlas de Energia Solar do Brasil (PEREIRA,2017)	11
Figura 2-5 – Componentes da irradiância. Fonte: Atlas de Energia solar do Brasil (PEREIRA,2017).12	
Figura 2-6 - Face frontal de uma célula FV de silício monocristalino. Fonte: engquimicasantosp.com.br	16
Figura 2-7 - Face frontal de uma célula FV de silício multicristalino. Fonte: engquimicasantosp.com.br	17
Figura 2-0-8 - Face frontal de um módulo FV de filme fino de silício amorfo. Fonte: UNICEUB- Brasília	17
Figura 2-9 - Filme fino sobre um substrato flexível. Fonte: Würt/EPV.....	18
Figura 2-10 - Band-gap de condutores, semicondutores e isolantes – Fonte: Wikimedia	19
Figura 2-11 - Cristal de Silício intrínseco (puro) – Fonte: RODRIGUEZ(1992)	30
Figura 2-12 - Mostra a potência FV instalada acumulada no mundo no final de 2012 e no final de 2013, e a participação percentual de cada região do mundo. Fonte: adaptado de EPIA, 2014.....	22
Figura 2-13- Parcela da capacidade FV instalada em 2012 e em 2013 referente as diversas regiões do mundo. Fonte: adaptado de EPIA, 2014.	23
Figura 3-1 – Representação do Sistema Interligado Nacional (SIN) . Fonte: ONS ,2015	25
Figura 3-2 - Perdas não técnicas (%) sobre o total injetado, 2019. Fonte: ANEEL e PwC	26
Figura 3-3- Irradiação solar global horizontal, em valores médios anuais para os totais diários (kWh/kWp. ano). Fonte: Atlas de Energia Solar do Brasil (PEREIRA et al., 2017).....	27
Figura 3-4 - Média anual da variabilidade dos totais diários de irradiação global horizontal. Fonte: Atlas de Energia Solar do Brasil (PEREIRA et al 2017).....	28
Figura 3-5 - Geração elétrica por energético no Brasil - participação (%), 2021 Fonte: MME; EPE. Anuário estatístico de energia elétrica 2021. [S.l.], 2021.....	30
Figura 3-6 – Cenário Energético no Brasil. Fonte: EPE/ ANEEL 2021	31

Figura 3-7 - Expansão Energética no Brasil até 2031 - Fonte: EPE – Decenário Expansão Energética - 2031.....	32
Figura 3-8 - Resolução Normativa ANEEL Fonte: EPE.....	35
Figura 3-9 - Resolução Normativa ANEEL atualizada Fonte: EPE.....	37
Figura 4-1 – Localização do estudo de caso Fonte: PV*Sys	40
Figura 4-2 – Planta baixa da residência Fonte: Autor	41
Figura 4-3 - PR do sistema fotovoltaico. Fonte: PVSOL – simulação.....	44
Figura 4-4 - Painele Fotovoltaico Jinko Tiger Pro 60 HC Fonte: Jinko	46
Figura 4-5 - Inversor Growatt 3000TL-X. Fonte: Manual de Instalação e Operação do Growatt 3000TL-X (2018).	47
Figura 4--6 - Simulação 3D do Projeto . Fonte: PV*Sol.....	49
Figura 4--7 – Produção e Consumo de Energia	49
Figura 4-8 - Fluxo de Energia e consumo x Produção . Fonte: PV*SOL	50
Figura 4--9 – Perdas de Energia. Fonte: PV*Sol	51
Figura 4-10 – Diagrama do Circuito Fonte: PV*SOL Simulação.....	51
Figura 4-11 - Diagrama de Sankey de Eficiência Energética.....	52
Figura 4-12 - Diagrama de Sankey do Consumo Energético.....	53
Figura 4-13 – Coletor solar (efeito termofissão).....	54
Figura 5-14 - Payback do Projeto de acordo com o total investido . Fonte: Simulação PV*Sol	55
Figura 5--15 – Renda líquida média familiar. Fonte: Autor.....	57
Figura 5--16 – Representação de gastos do brasileiro médio. Fonte : IBGE - 2018.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-1 - Comparativo da eficiência entre células fotovoltaicas de diversos materiais – Fonte: GreenPro	18
Tabela 2-1 - Geração elétrica por energético no Brasil (GWh) 2008 a 2012.....	24
Tabela 4-1 - Estimativa de Consumo Energético Diário e Mensal. Fonte: Autor.....	42
Tabela 4-2 – Perfil de consumo da residência . Fonte: Dados do PV*SOL.....	43
Tabela 4-3 - Datasheet Growatt MIC TL-X 1000-3000W. Fonte: Manual de Instalação e Operação do Growatt (2018).....	47
Tabela 4-4 - Datasheet Jinko Tiger 450-470W Fonte: Ficha de Dados Jinko Tiger Mono-facial 450-470 (2021).....	48
Tabela 5-5 - Fluxo de Caixa do Projeto	56
Tabela 5-6 - Financiamento do investimento	57

LISTA DE SIGLAS

CO2	Dióxido de Carbono
FIT	Tarifa Feed-in
HSP	Hora de Sol Pleno
Imp	Corrente máxima de operação
Isc	Corrente de Curto-Circuito
MPP	Ponto de Máxima Potência
MPPT	Rastreador de Máximo Ponto de Potência
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
Vmp	Tensão máxima de operação
Voc	Tensão de Circuito Aberto

ANEXOS

Relatório de Simulação PV*Sol

Fluxo de caixa do investimento com Payback

1. INTRODUÇÃO

O crescimento excessivo da população, a geração excessiva de resíduos, o uso irracional e descontrolado dos recursos naturais, as atuais formas de geração de energia a partir de combustíveis fósseis que emitem gases de efeito estufa e o aumento da temperatura do planeta têm sido determinantes no meio ambiente, levando ao grande problema do aquecimento global que acarreta deterioração dos polos, aumento do nível do mar, alteração dos ecossistemas entre outros.

As formas de geração de eletricidade no Brasil e no mundo baseiam-se em fontes não renováveis, somando-se a isso a enorme deterioração que se gera, não é possível atender a demanda energética onde existe um grande percentual de usuários em áreas distantes das redes de distribuição conhecidas como Zonas Não Interligadas (ZNI). Segundo o Instituto de Planejamento e Promoção de Soluções Energéticas (IPSE) para áreas não interligadas, equivale a 51% do território nacional. O desenvolvimento da vida cotidiana nessas áreas impede sobremaneira o crescimento social, econômico e tecnológico, facilitando a insegurança, o desenvolvimento de atividades não legais e, portanto, diminuindo a qualidade de vida de seus habitantes.

Em 2012, o consumo final de energia elétrica no Brasil foi de 448,1 TWh, um acréscimo de 3,5% quando comparado com o do ano de 2011. De acordo com as projeções do Plano Nacional de Energia realizado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética), alguns cenários apontam que a fonte solar fotovoltaica centralizada pode atingir a potência de 100 GW até 2050.

Houve uma grande quantidade de atividades de pesquisa para combinar o processo de energia solar, desenvolvendo células/painéis/módulos solares com alta forma de conversão. A maior vantagem da energia solar é estar acessível ao público em geral e disponível em grandes quantidades de suprimento, comparada com a do preço de vários combustíveis fósseis e óleos nos últimos dez anos. Além disso, a energia solar requer gastos de mão-de-obra consideravelmente mais baixos que a tecnologia convencional de produção de energia (LIMA, 2018).

Vale ressaltar que a rápida expansão do mercado de energia solar pode ser atribuída a vários instrumentos de política de apoio, ao aumento dos preços e às externalidades ambientais dos combustíveis fósseis, principalmente as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE).

Teoricamente, a energia solar possui potencial de recursos que excede em muito a demanda global de energia global. Apesar desse potencial técnico e do recente crescimento do mercado, a contribuição da energia solar para o *mix* global de fornecimento de energia ainda é insignificante.

O consumo de energia elétrica em 2030 se situará entre 859 e 1.245 TWh/ano, o que exigirá um aumento expressivo na oferta de energia elétrica no Brasil. Mesmo que seja dada prioridade ao uso do potencial hidrelétrico, ainda assim a instalação de mais 109 GW, elevando para 80% o uso desse potencial (em relação às usinas em operação no fim de 2012), poderia não ser suficiente para atender à demanda por energia nesse horizonte. No fim de 2012, o potencial nacional hidráulico disponível era de 245 GW, sendo que 35,4% desse potencial correspondia a usinas já em operação, e estavam em construção usinas correspondendo a 7,7% desse potencial. Ainda devem ser levadas em consideração as questões (e custos) socioambientais no que diz respeito à construção de novas usinas hidrelétricas, o que gera dificuldades na exploração de todo o potencial nacional existente. Esse quadro sinaliza uma perspectiva de esgotamento do potencial hidrelétrico nacional em menos de 20 anos.

Vários estudos, incluindo Arvizu et al. (2011), abordaram questões relacionadas à energia solar. Esse estudo mostra que, apesar de uma grande queda nos custos de capital e um aumento nos preços dos combustíveis fósseis, as tecnologias de energia solar ainda não são competitivas com as tecnologias convencionais para produção de eletricidade.

Além da desvantagem econômica, as tecnologias de energia solar enfrentam uma série de barreiras tecnológicas, financeiras e institucionais que restringem ainda mais sua implantação em larga escala. Os instrumentos políticos introduzidos para enfrentar essas barreiras incluem Feed in Tariff (FIT), créditos tributários, subsídios e doações de capital, padrões de portfólio de energia renovável (RPS) com padrões especificados para energia solar, investimentos públicos e outros incentivos financeiros (LIMA, 2018).

O estudo pretende demonstrar o desenvolvimento da geração fotovoltaica, descrevendo sua estrutura residencial e seu potencial, seu desenvolvimento, seus custos, bem como o apoio social que essa tecnologia possui e as grandes vantagens que ela oferece para sua adoção residencial.

Para isso, foi realizado um dimensionamento de um projeto fotovoltaica atual no Brasil, para ver as potências instaladas e o crescimento esperado, as taxas usadas de acordo com os

diferentes segmentos de energia e locais de uso e algumas restrições possíveis usadas pelos diferentes regulamentos estatais.

Neste trabalho, será analisado e avaliado o potencial existente para a implementação de energia solar fotovoltaica em uma residência na cidade do Rio de Janeiro, como uma solução energética alternativa que proporcione benefícios diretos aos moradores. Enfatizando o índice de radiação (potencial) existente na área demográfica em estudo, base primária para o desenvolvimento do projeto, assim como seu dimensionamento para seleção dos componentes necessários ao sistema de iluminação como luminárias, painéis solares, fotocélulas e inversores. Durante a seleção dos componentes, sua eficiência e custo serão decisivos.

1.1 DIFICULDADES

Conforme os parágrafos anteriores, a obtenção de energia, o desenvolvimento tecnológico e a inovação são parte fundamental do crescimento econômico de qualquer país. Também foi mencionado que as principais fontes de energia são os combustíveis fósseis, que apresentam uma grande demanda e, ao mesmo tempo, uma grande dependência mundial. Isso fez com que o meio ambiente fosse prejudicado por sua produção e uso. Além disso, apresentam uma desvantagem muito importante, pois são fontes de energia esgotáveis.

Dada sua localização geográfica, o Brasil é particularmente privilegiado por ter níveis de irradiação solar superiores aos das nações desenvolvidas e, portanto, dispõe de grande potencial para o aproveitamento da energia solar. O país possui ótimos níveis de irradiação solar, principalmente na região Nordeste, especificamente no semiárido. Esse fator coloca o Nordeste em posição de destaque em relação a regiões do mundo com maior potencial de energia solar. A região Sul do país, por outro lado, apresenta os mais altos índices de irradiação solar do país nos meses de verão, o que coincide com as estiagens na região e com o período de maior consumo e demanda de energia elétrica dessa região do país.

A energia solar se revela uma fonte promissora, tanto para as áreas distantes e ainda não eletrificadas, como também para os grandes centros urbanos, onde demandas de ar-condicionado elevam as curvas de carga, apresentando excelente sincronicidade com a geração solar. O aumento da utilização dessa fonte através de geração distribuída, seja no meio urbano ou rural, num país de dimensões continentais como o Brasil, auxiliará no suprimento dessa

crescente demanda, de forma sustentável, além de permitir uma maior diversificação da matriz energética.

Como a matriz de geração de energia elétrica no Brasil é dominada pela hidreletricidade, muitas vezes existe a necessidade de armazenamento nos reservatórios, para garantir o suprimento energético nos períodos de seca. A disponibilidade hidráulica varia sazonalmente, e observou-se que os períodos de baixa precipitação são coincidentes com os períodos de maior potencial para algumas FRE, como é o caso da fonte solar.

A necessidade de desenvolver melhores modelos de inovação que permitam o desenvolvimento deste tipo de energia e que estes modelos também permitam integrar facilmente tanto os novos sistemas de fontes de energia, como os sistemas inovadores de fontes de energia com a indústria e o mercado.

1.2. OBJETIVO

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Análise técnica, além de instalação, cálculos de dimensionamento com auxílio do PVGIS e PVSol, eficiência energética da residência, passando pela análise micro-econômica do investimento e sua viabilidade dentro do contexto sócio-econômico brasileiro.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desta dissertação são os seguintes:

1. Desenvolvimento de metodologia para análise do retorno do investimento em sistemas FV instalado numa residência comum de uma família regular brasileira;
2. Análise da legislação em vigor no Brasil sobre geração descentralizada FV no meio urbano;
3. Análise dos índices de irradiação na região estudada;
4. Análise dos custos da energia elétrica cobrada de consumidores residenciais urbanos para a residência em estudo;

5. Análises do retorno do investimento em sistemas FV instalados no projeto proposto e seu impacto econômico na família.

1.3 JUSTIFICATIVA

Apesar da grande capacidade energética, principalmente no Norte e Nordeste do país, o Brasil ainda enfrenta dificuldades para acesso a implementação da energia fotovoltaica (seja *ongrid* ou *offgrid*) para uso residencial. Além do alto investimento atrelado ao custo de um projeto, há também uma regulação engessada que dificulta a massificação do acesso.

Já que ainda não são contabilizados adequadamente os custos referentes a externalidades (custo socioambiental, entre outros), o custo da energia elétrica produzida por sistemas FV é atualmente considerado alto em relação ao da energia gerada a partir de fontes convencionais (hidráulica, térmica, nuclear etc.), o que representa uma forte barreira à sua disseminação. Dessa forma, em países em desenvolvimento, essa tecnologia é vista apenas como uma alternativa para o suprimento energético em áreas não atendidas pela rede elétrica pública, tendo em vista que, nesses países, grande parte da população não tem acesso à energia elétrica.

No Brasil, por exemplo, os dados do IEMA(2016), indicam que na Amazônia, o estado quase 1 milhão de pessoas não possuem eletricidade, a maioria em terras indígenas. Ainda assim o percentual comparado a todo território nacional é baixo. Uma forte contra argumentação a respeito desses altos custos é a constatação da evolução da curva de aprendizagem da tecnologia FV, na qual os custos de produção dessa tecnologia vêm mostrando um decréscimo significativo desde o início de sua utilização para aplicações terrestres, desde os anos 70.

1.4 METODOLOGIA

O projeto teórico consiste numa investigação através do método bibliográfico para a instalação de um sistema de painéis solares em uma casa de uma família brasileira ordinária, de aproximadamente 4 moradores, localizada no município de Cordeiro- Rio de Janeiro.

O estudo permite levantar o custo – benefício da instalação desse projeto correlatando as condições econômicas de um brasileiro médio. Para isso, uma análise econômica e de

eficiência energética será realizada para entender quão capaz o brasileiro médio está para adotar um sistema de painel solar em sua residência.

A metodologia proposta consiste nos seguintes processos de desenho de pesquisa:

- Pesquisa bibliográfica de tópicos relacionados ao projeto;
- Levantamento e dimensionamento energético mínimo;
- Análise sócio-econômica para realização de tal investimento;
- Desenho e seleção dos elementos e dispositivos que integram o sistema de iluminação fotovoltaica, através de uma série de cálculos;
- Uso das Ferramentas: PVSol, PVGIS, Autocad, Diagrama de Sankey;
- Análise de resultados.

2. ENERGIA SOLAR

2.1 TRANSFERÊNCIA RADIATIVA

A radiação solar constitui a principal forma motriz para processos térmicos (como o aquecimento da superfície e dos oceanos), dinâmicos (como a própria atmosfera) e químicos (como a fotossíntese das plantas). A energia proveniente do Sol chega à superfície propagando-se como energia radiante ou simplesmente radiação. O fluxo de energia que o topo da atmosfera terrestre recebe do Sol por unidade de área é chamada de “constante solar” e vale aproximadamente 1.367 W/m^2 (GUIMARÃES, 2003). A principal característica da radiação é a radiância (ou intensidade de radiação). Essa grandeza se refere à quantidade de radiação solar num intervalo unitário de comprimento de onda e ângulo sólido que atravessa uma unidade de área tomada perpendicularmente à direção considerada, na unidade de tempo (PAIVA, 2005).

Conhecendo-se a radiância, pode-se determinar outra grandeza muito importante no estudo da radiação atmosférica: a irradiância, que é a densidade de fluxo de radiação integrada em todo o espectro. A irradiância representa a potência de radiação solar que passa através de um plano na unidade de área (W/m^2) (MARTINS, PEREIRA e ECHER, 2004).

A irradiância solar que incide na superfície da Terra depende, além dos fenômenos referentes ao Sol, da interação da radiação eletromagnética com os constituintes do sistema

Terra-Atmosfera. A transmissão da radiação solar através da atmosfera é um processo complexo de difícil descrição, devido ao grande número de propriedades físicas da atmosfera que a influenciam, como, por exemplo, as concentrações de vapor d'água, a concentração de gotículas, a presença de cristais de gelo etc. (MARTINS, PEREIRA e ECHER, 2004).

A razão entre a irradiância solar na superfície terrestre e no topo da atmosfera é definida como transmitância atmosférica. Ao atravessar a atmosfera, a radiação solar é atenuada por processos de espalhamento e absorção causados pelas partículas em suspensão (denominadas aerossóis), pelas nuvens e pelas moléculas de gases atmosféricos. Os coeficientes de absorção e de espalhamento dependem do comprimento de onda da radiação e das espécies de gases e partículas presentes na atmosfera (MARTINS, PEREIRA e ECHER, 2004).

A Figura 2-1 apresenta um diagrama com os principais processos de interação da radiação solar e térmica com a atmosfera.

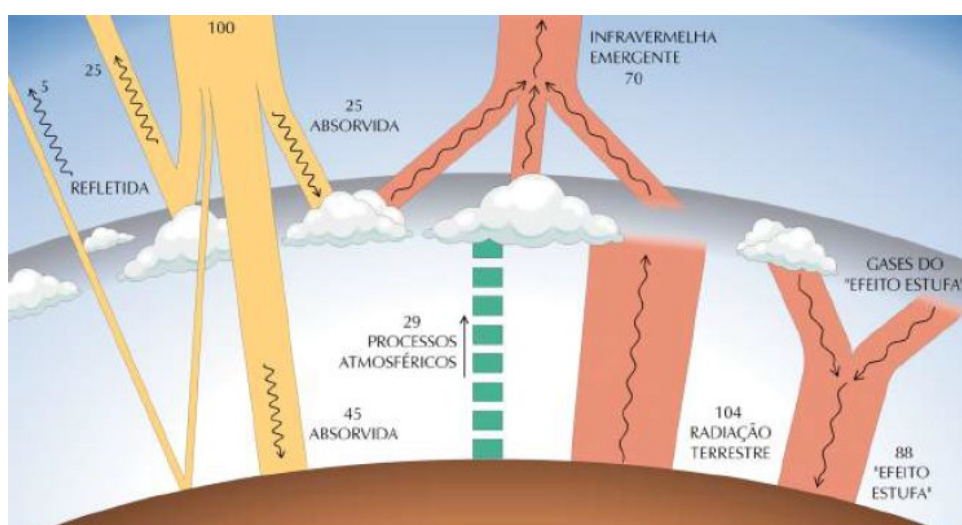


Figura 2-1 - Diagrama simbólico dos processos de interação da radiação solar com a atmosfera terrestre. Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2006).

As nuvens, à superfície do planeta, os gases e partículas atmosféricas refletem cerca de 30% da radiação incidente no topo da atmosfera. Os 70% restantes são absorvidos, produzindo aquecimento do sistema e causando a evaporação de água (calor latente) ou convecção (calor

sensível). A absorção da radiação solar é seletiva, sendo o vapor d'água, o ozônio (O^3) e o dióxido de carbono (CO_2) os principais absorvedores. A energia absorvida pelo sistema Terra-Atmosfera é reemitida na faixa do infravermelho do espectro da radiação eletromagnética, sendo que 6% são provenientes da superfície e 64% têm origem em nuvens e constituintes atmosféricos (PEREIRA et al., 2017).

O dióxido de carbono (CO_2), embora constitua cerca de 0,03% da atmosfera terrestre, desempenha papel importante por sua contribuição no efeito estufa, responsável pela estabilidade da temperatura média da superfície terrestre. Essa contribuição deve-se à capacidade do dióxido de carbono de absorver radiação infravermelha, mantendo parte da energia do sistema Terra-Atmosfera que seria perdida para o espaço.

2.2 RADIAÇÃO SOLAR

A órbita da Terra ao redor do Sol e a rotação da Terra em torno do seu próprio eixo são os principais fatores que determinam a quantidade de energia solar que chega à Terra e as mudanças do clima do sistema Terra-atmosfera. A órbita terrestre é elíptica e o eixo de rotação é inclinado, em $23,5^\circ$, como mostra a Figura 2-2 (PEREIRA e COLLE, 1997).

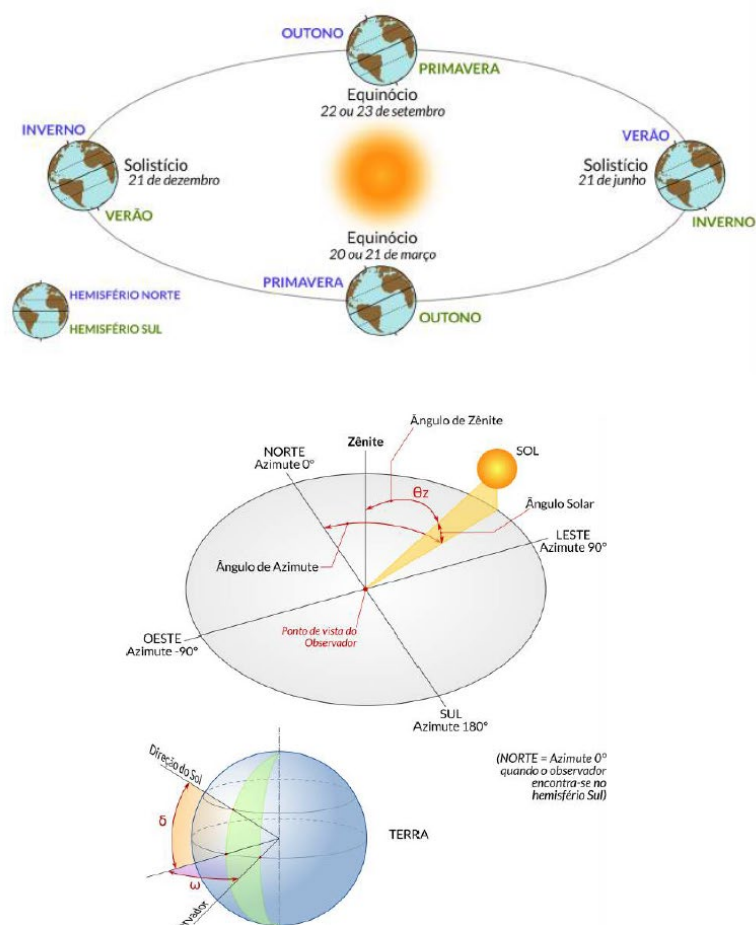


Figura 2-2-Órbita da Terra em torno do Sol, com seu eixo N-S inclinado de um ângulo de $23,5^\circ$. Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar , 2 Edição -2017

A característica mais destacável das variações climáticas, causadas pela inclinação do eixo de rotação, é a mudança das estações do ano. Durante o solstício de verão (no hemisfério norte), que acontece no dia 21 de junho, o Sol se posiciona diretamente acima da latitude $23,5^\circ\text{N}$ ao meio-dia, chamada de trópico de Câncer. A elevação do sol acima do horizonte e a duração dos dias atingem os valores máximos no hemisfério norte durante o solstício de verão, e todas as latitudes acima do círculo ártico ($66,5^\circ\text{N}$) tem o Sol acima do horizonte por vários dias ao longo do verão. No hemisfério sul, a elevação do Sol é mínima nessa ocasião, os dias são mais curtos e para as latitudes abaixo do círculo Antártico ($66,5^\circ\text{S}$) o Sol não nasce. Este é o começo do verão no hemisfério norte, sendo que no hemisfério sul o verão começa no dia 21 de dezembro, correspondendo ao solstício de inverno do hemisfério norte (BERGAMASCHI, 2011).

Desta forma, a posição do painel solar pode ser ajustada conforme latitude local e o período do ano onde há necessidade de mais energia, ocasionando um maior aproveitamento da radiação solar (INMET – LABSOLAR, 1998).

Para a captação destes raios solares recomenda-se que no hemisfério sul, os painéis FV fiquem orientados para o norte geográfico, e que no hemisfério norte os painéis FV fiquem voltados para o sul. Deste modo haver, um melhor aproveitamento e geração de energia solar durante o ano. A Figura 2.3 mostra um exemplo de uma casa com placas solares localizada no hemisfério sul e a respectiva trajetória do sol durante o ano.

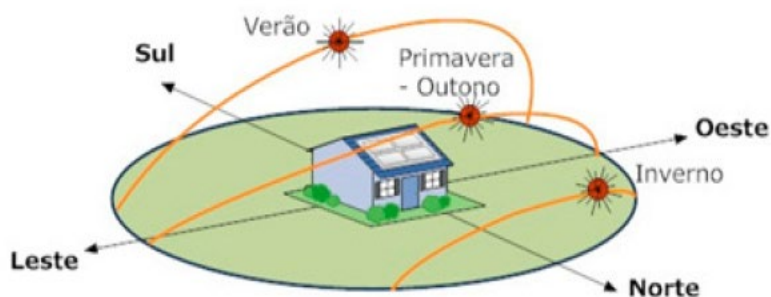


Figura 2-3 - Variação da posição do sol com as estações do ano. Fonte: SERRÃO, 2010.

A distribuição da radiação eletromagnética emitida pelo Sol como função do comprimento de onda incidente no topo da atmosfera é chamada de espectro solar. A constante solar é a densidade superficial de potência solar no topo da atmosfera. Esta constante é definida como o fluxo de energia solar (energia por tempo) que cruza uma unidade de área normal a um raio solar na distância média entre o Sol e a Terra (GUIMARÃES, 2003).

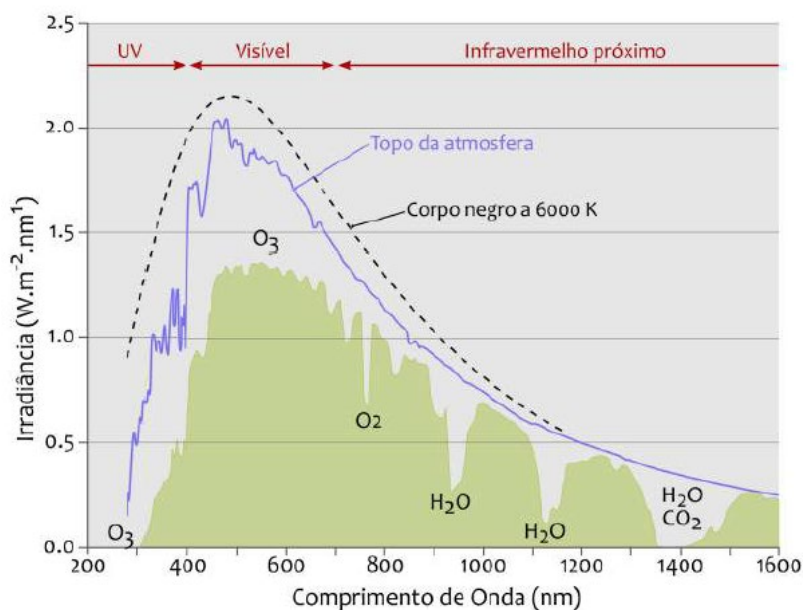


Figura 2-4 - Espectro Solar. Fonte: Atlas de Energia Solar do Brasil (PEREIRA,2017)

Sobre a energia eletromagnética que deixa o Sol, aproximadamente 50% ocorrem em comprimentos de onda além da região do visível (infravermelho), cerca de 40% na região do visível e os 10% restantes na região do ultravioleta (GUIMARÃES, 2003).

A incidência de radiação solar sobre a superfície terrestre depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Isso se deve à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a terra gira diariamente e a trajetória elíptica que a Terra faz ao redor do Sol (ANEEL, 2003), conforme mostra a Figura 2.2.

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

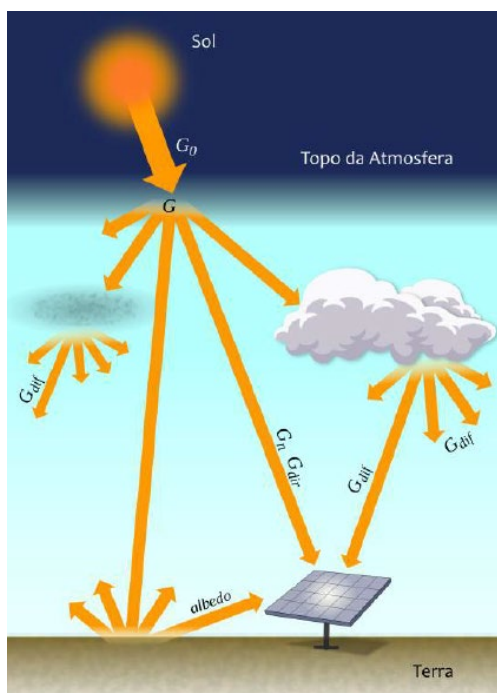


Figura 2-5 – Componentes da irradiância. Fonte: Atlas de Energia solar do Brasil (PEREIRA,2017)

Irradiância extraterrestre (G_0): é a taxa de energia incidente por unidade de área em um plano horizontal imaginário situado no topo da atmosfera. É também conhecido como irradiância no topo da atmosfera ou GTOA. Irradiância direta normal (G_n): também conhecida como DNI, é a taxa de energia por unidade de área proveniente diretamente do Sol que incide perpendicularmente à superfície.

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

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

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

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

O ozônio concentra-se majoritariamente entre 10 km e 50 km, com pico de concentração em torno de 30 km acima do nível do mar, na região da estratosfera. Sua distribuição também varia com a latitude, estação do ano, horário, condições meteorológicas e variabilidade da atividade solar. Apesar de baixa concentração em relação a outros gases e da distribuição espacial e temporal não uniforme, sua presença na alta na atmosfera desempenha um papel de extrema importância para a manutenção das condições atuais de vida no planeta. A camada de ozônio é resultado de uma série de processos que envolvem a absorção da radiação solar ultravioleta e dissociação do oxigênio molecular (O_2) em atômico (O).

A camada de ozônio absorve parte da radiação solar em comprimentos de onda na faixa do ultravioleta que incide na atmosfera evitando que cheguem à superfície. A resposta espectral da maioria das células fotovoltaicas é muito baixa para a faixa da radiação ultravioleta, porém, junto com os efeitos de longo prazo da temperatura, essa radiação é responsável pela degradação dos painéis fotovoltaicos e de aquecimento solar.

No caso dos painéis fotovoltaicos, a resistência interna das células pode aumentar devido à infiltração de contaminantes por rachaduras no material encapsulante sob ação dessa radiação (Jordan e Kurtz, 2012). O mesmo ocorre com o revestimento antirreflexo desses painéis.

2.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

O sistema solar fotovoltaico funciona basicamente com painéis solares que, através do efeito fotovoltaico, convertem a energia do sol em energia elétrica de maneira silenciosa, não-poluente e renovável. Este tipo de sistema tem grande importância no que se trata da eficiência energética, citando como exemplo, o fato de que a demanda de energia elétrica para o uso de sistemas de ar-condicionado é máxima quando a insolação é máxima. Nesta situação, a curva de geração FV é bastante coincidente com a curva de consumo do ar-condicionado (RüTHER, 2004).

As instalações fotovoltaicas podem ser integradas junto ao ponto de consumo, ou seja, como parte da arquitetura do edifício. Também podem ser instaladas de forma centralizada como uma grande usina, fornecendo energia para pontos mais distantes (RüTHER, 2004).

As principais categorias de sistemas fotovoltaicos são: isolados (puros ou híbridos) ou conectados à rede. Um sistema solar fotovoltaico é constituído por um ou mais painéis solares que, em conjunto com dispositivos como inversores, baterias e outros equipamentos elétricos, permitem aproveitar a energia solar e gerar eletricidade. Os sistemas fotovoltaicos podem ser agrupados em sistemas autônomos (*Offgrid*) e sistemas conectados à rede (*Ongrid*). Atualmente mais de 90% dos sistemas no mundo estão conectados à rede, sendo amplamente utilizado em países em desenvolvimento onde existem vastas áreas não interligadas. Nas aplicações offgrid seu uso pode variar de tecnologias básicas como carregadores de telefones celulares, baterias, lanternas a projetos de iluminação até fornecimento de energia elétrica para residências (LIMA, 2018).

Esses sistemas funcionam a partir da luz solar que irradia diretamente na superfície de uma célula, o que permite gerar um fluxo de elétrons gerando eletricidade. A eletricidade produzida por uma célula é muito pequena, por isso elas se conectam com outras células, formando um painel fotovoltaico capaz de gerar maiores quantidades de energia elétrica. Os painéis solares geram eletricidade em corrente contínua, portanto, dependendo da aplicação final do sistema, é utilizado um inversor CC-CA, juntamente com um banco de baterias que permitirá o fornecimento de energia elétrica quando não houver luz solar. Por fim, é usado um controlador que regula o nível de tensão para uso final.

2.3.1 SISTEMAS ISOLADOS (OFFGRID)

A característica principal dos sistemas FV isolados é o fato de não serem conectados a uma rede elétrica pública de distribuição ou mesmo a uma mini-rede. Eles podem ser do tipo puro (quando o Sol é a única fonte para a geração de energia elétrica) ou híbrido (quando há alguma – ou algumas – fonte complementar para geração de energia elétrica, além do Sol). Para armazenar a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos, em sistemas isolados é necessário o uso de um banco de baterias, para que, posteriormente, a energia seja distribuída para os pontos de consumo. Esse tipo de tecnologia é utilizado no Brasil em algumas comunidades onde a rede elétrica é de difícil acesso (RüTHER, 2004).

No país, a legalização para sistemas FV isolados é regulamentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), através da Resolução Normativa nº 493, de 05 de junho

de 2012, que define “Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica – MIGDI ou Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente – SIGFI”. Em sistemas isolados é necessário um controlador de carga para abastecer o banco de baterias, que tem como principal função controlar a carga enviada para a bateria, melhorando sua vida útil.

O sistema FV isolado também pode ser utilizado numa configuração híbrida, juntamente com um gerador complementar, que pode ser um motor a diesel, um gerador eólico ou qualquer outro que utilize um tipo de fonte de energia auxiliar.

2.3.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO À REDE (ONGRID)

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede costumam não utilizar armazenamento de energia, pois a rede elétrica pública é utilizada como sistema de armazenamento. Entretanto é uma tendência cada vez mais forte que as residências passem a utilizar sistemas de armazenamento próprios. Os equipamentos principais que compõem um SFVCR são os painéis fotovoltaicos e inversores que têm a função de sincronizar os módulos com a rede.

2.3.3 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A conversão de energia solar em eletricidade, através de um material semicondutor, ocorre na célula fotovoltaica. Um semicondutor apropriado é aquele com mais sensibilidade para gerar o maior produto corrente-tensão para a luz visível, pois a maior parcela de energia fornecida pelo sol está na região visível do espectro.

As células mais encontradas no mercado são as de silício. A seguir são apresentados três diferentes tipos de tecnologias de células FV de silício.

I. SILÍCIO MONOCRISTALINO [M-SI]

Estas células são obtidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino produzidas em fornos especiais. Sua eficiência de conversão da luz solar em energia elétrica é de 12 a 20% em produtos comerciais. É o tipo de tecnologia que utiliza mais material e energia para a fabricação de células FV (GTES, 2004).

A Figura 2.6 mostra a face frontal de uma célula FV de silício monocristalino.



Figura 2-6 - Face frontal de uma célula FV de silício monocristalino. Fonte: engquimicasantosp.com.br

II. SILÍCIO POLICRISTALINO [P-SI]

Nestas células FV o silício está solidificado em forma de um bloco composto por vários pequenos cristais. Por não ser um único cristal, a eficiência comparada ao monocristalino é menor, mas, em compensação, o custo do policristalino, por exigir menos energia no processo de fabricação, se torna mais barato (NASCIMENTO, 2004).

A mostra a face frontal de uma célula FV de silício policristalino.



Figura 2-7 - Face frontal de uma célula FV de silício multicristalino. Fonte: engquimicasantosp.com.br

III. FILME FINO DE SILÍCIO AMORFO [A-SI]

Nesta tecnologia, as células FV estão dispostas em filmes finos de silício amorfo depositados sobre substratos de baixo custo, como vidro, aço, inox e plásticos. Esta tecnologia tem espaço no mercado por sua maior versatilidade para se adaptar bem à arquitetura das edificações, podendo os módulos FV serem flexíveis e até mesmo semitransparentes.

Por outro lado, esta tecnologia possui uma eficiência baixa comparada com as duas tecnologias descritas anteriormente, variando entre 5 a 10% (PARIDA, INIYAN e GOIC, 2011).

A Figura 2.8 mostra a face frontal de um módulo FV de filme fino de silício amorfo e a Figura 2.9 mostra um exemplo de filme fino aplicado sobre um substrato flexível.



Silício amorfo
(a-Si)

Figura 2-8 - Face frontal de um módulo FV de filme fino de silício amorfo. Fonte: UNICEUB- Brasília

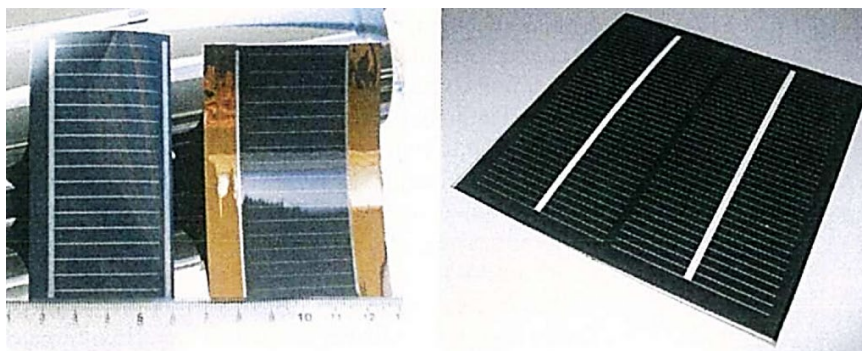


Figura 2-9 - Filme fino sobre um substrato flexível. Fonte: Würt/EPV

A tabela abaixo resume as diferenças de eficiência de conversão energética entre os tipos de células fotovoltaicas mais comercialmente ativas:

Tabela 1-1 - Comparativo da eficiência entre células fotovoltaicas de diversos materiais – Fonte: GreenPro

Material	Eficiência		
	Máxima Teórica	Em Laboratório	Produção em Série
Silício Mono	24,7%	18%	14%
Silício Poli	19,8%	15%	13%
Silício Amorfo	15%	10,5%	7,5%
CIGS	18,8%	14%	10%
CdTe	16,4%	10%	9%

As constantes melhorias nas técnicas de produção têm aumentado a eficiência de conversão das células fotovoltaicas de silício cristalizado, em especial a do silício policristalino, que é o mais utilizado atualmente.

2.4 EFEITO FOTOVOLTAICO

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel, em 1839 (utilizando o primeiro componente eletrônico da história) e, devido à similaridade, foi confundido com o efeito fotoelétrico.

O efeito fotovoltaico é o surgimento de uma tensão elétrica em um material semicondutor, quando este é exposto à luz visível. Os dois efeitos estão relacionados, mas são processos diferentes.

Para entender como funciona o efeito fotovoltaico, devemos conhecer o modelo atômico, que demonstra o comportamento das partículas que compõem um átomo.

É necessário saber que os semicondutores têm a “**banda de valência**” completamente cheia e a “**banda de condução**” vazia, mas o “**band-gap**” dos semicondutores é de **1 eV** (um elétron-volt). Isso faz com que um semicondutor se comporte como um isolante à 0° Kelvin, mas, com o aumento da temperatura, começam a conduzir eletricidade, agindo como um condutor.

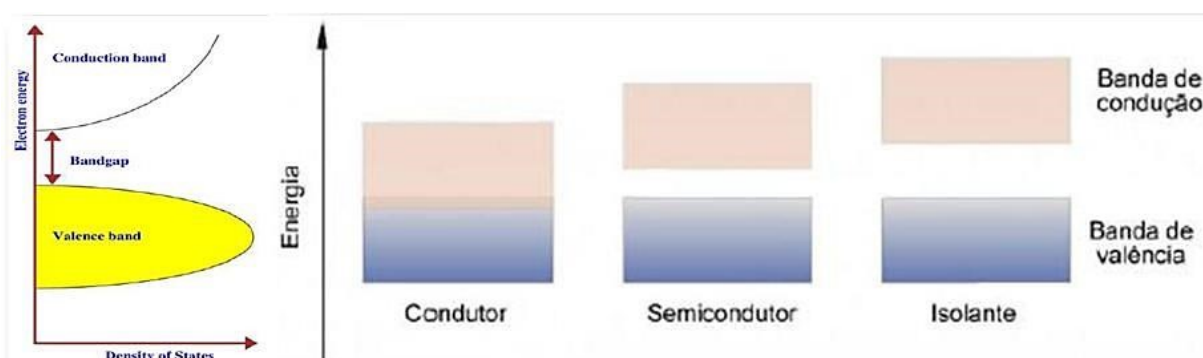


Figura 2-10 - Band-gap de condutores, semicondutores e isolantes – Fonte: Wikimedia

Ao receber fótons de radiação eletromagnética com frequência dentro do espectro da luz visível, os elétrons da banda de valência podem saltar para a banda de condução, produzindo uma corrente elétrica no interior da estrutura cristalina do semicondutor.

Quando um elétron deixa o seu lugar de origem, fica um buraco que é preenchido por outro elétron, pelo efeito da recombinação. Essa recombinação de elétrons faz com que o cristal fique eletricamente neutro. Um semicondutor puro, que não tem impurezas, é chamado de intrínseco.

2.5 PRODUTIVIDADE (YIELD) DE SFVCR

O *Yield* (produtividade) é uma relação simples entre energia gerada sobre potência instalada de um sistema, na qual se pode saber o quanto cada unidade de potência nominal instalada do SFVCR está gerando. A unidade tipicamente usada é o kWh/kWp.

Equação 2.1 - *Yield*.

$$Yield = \frac{E_{FV}}{P_{FV}}$$

Onde:

Yield = produtividade

E_{FV} = energia gerada

P_{FV} = potência instalada

2.6 TAXA DE DESEMPENHO (PERFORMANCE RATIO – PR)

A taxa de desempenho, mais conhecida pelo termo em inglês PR (Performance Ratio), é uma das variáveis mais importantes quando se avalia a eficiência de um SFVCR. Nesta análise pode-se encontrar o fator de qualidade para o sistema. Neste trabalho será utilizada a sigla PR para designar esta grandeza. O PR é indicado em porcentagem (%) e apresenta a relação entre as saídas de energia reais e teóricas do SFVCR, mostrando a porcentagem de energia disponível para injetar na rede após a dedução de perdas de energia (perdas térmicas, condução e inversores) e o consumo de energia para a operação.

Em um SFVCR ocorrem perdas: relacionadas à temperatura de operação dos módulos FV, no cabeamento elétrico, na conversão CC/CA no inversor, por sombreamento, entre outras. Quanto mais perto de 100% for o valor de PR, menores são as perdas no SFVCR. No entanto, não é possível atingir um PR de 100% na prática, pois há perdas inevitáveis que surgem durante o funcionamento de um sistema FV. Para a realidade técnica atual, normalmente um sistema FV bem projetado e instalado, que utiliza módulos FV e inversores de boa qualidade, e que esteja em perfeitas condições de funcionamento tem um PR de cerca de 80% (DECKER e JAHN, 1997).

Segundo estudo realizado na Alemanha por Reich (2011), no qual foi analisado o PR de cerca de 100 SFVCR, foi encontrado uma média de ~84% para o valor de PR. Entre os sistemas analisados, os que apresentaram o maior valor de PR foram sistemas bem instalados e com tecnologias mais avançadas. Acredita-se que com o avanço dos estudos, capacitação técnica e os avanços de tecnologias na área FV possam tornar o $PR > 90\%$ uma realidade (REICH, 2012).

2.7 FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS

Os programas computacionais já estão presentes em todas as áreas, facilitando o desenvolvimento de inúmeros projetos. Tratando-se de sistemas fotovoltaicos, os programas aperfeiçoam o projeto fornecendo condições climáticas, características dos componentes e do perfil de demanda de energia. Atualmente já existem programas desenvolvidos por empresas ou universidades capazes de simular sistemas FV isolados (puros ou híbridos) ou SFVCR. Existem dois softwares bastante utilizados e ambos serviram como auxílio durante o atual trabalho. São os seguintes:

- PV*Sol: É um software usado para dimensionamento de sistemas FV. Permite fazer simulações na fase de projeto final ou em uma fase pós-construtiva com monitorações através de dados enviados pelo sistema FV. As simulações podem ser feitas tanto para sistemas isolados quanto os conectados à rede. Através de dados meteorológicos, o programa otimiza os sistemas, permitindo a escolha de uma correta orientação e posicionamento dos módulos FV em uma área de máxima exposição ao sol e mínima de sombreamento.
- PV*Gis: É uma base de dados com acesso gratuito que disponibiliza os dados de irradiação solar produzidos a partir das imagens de satélite que são comparados com as medições no nível do solo, reduzindo a incerteza dos resultados.

2.8 PANORAMA GERAL SOBRE AS TECNOLOGIAS E MERCADOS DE ENERGIA SOLAR

A potência instalada acumulada mundial de sistemas FV ultrapassou os 140 GWp em 2013. A Figura 2-12 mostra a potência FV instalada acumulada no mundo no final de 2012 e no final de 2013, e a participação percentual de cada região do mundo.

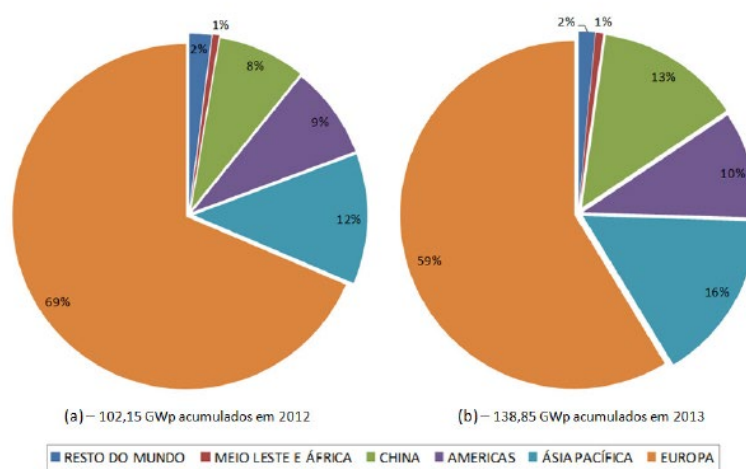


Figura 2--11 - Mostra a potência FV instalada acumulada no mundo no final de 2012 e no final de 2013, e a participação percentual de cada região do mundo. Fonte: adaptado de EPIA, 2014.

A potência instalada mundial durante o ano de 2012 foi de 31,09 GWp (EPIA, 2013) e ao longo de 2013 foi de 38,35 GWp (EPIA, 2014), segundo Press Release do EPIA's Global Market Outlook (GMO), que foi publicado em junho de 2015, a potência instalada ao longo de 2014 foi de 40 GW. Na Figura 2-13 pode-se observar crescimento massivo do mercado chinês em 2013 e qual foi a participação de cada região durante os anos de 2012 e 2013.

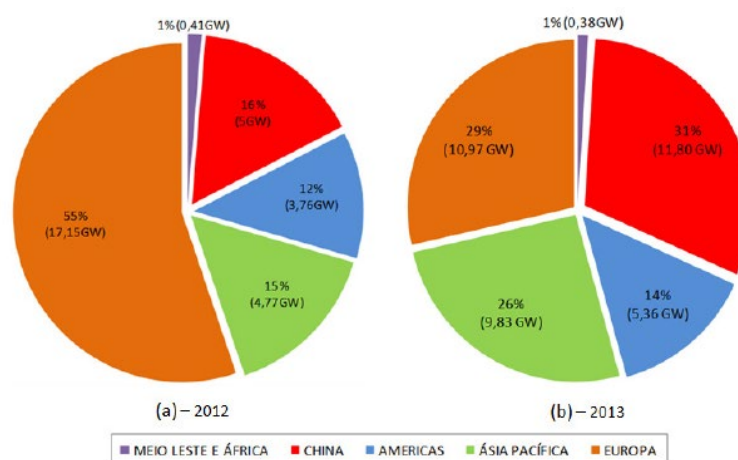


Figura 2-12- Parcela da capacidade FV instalada em 2012 e em 2013 referente as diversas regiões do mundo. Fonte: adaptado de EPIA, 2014

Conforme observado na Figura 2-12, o mercado Europeu tinha participação em mais de 50% da potência FV instalada mundial até 2013. Desde 2004 até 2012 a Europa veio sendo responsável por mais da metade do valor da potência instalada no mundo. No entanto, conforme observado na Figura 2-13, em 2013 a China mudou esse cenário.

3 CENÁRIO BRASILEIRO

3.1 CONTEXTO ENERGÉTICO (ELETRICIDADE) BRASILEIRO

Como se pode observar pela Tabela 2-1, até 2012 a geração FV nem aparecia entre as fontes de geração citadas no Balanço Energético Nacional, e mesmo a participação de eólica e biomassa ainda são bastante tímidas para um país com um potencial como o do Brasil.

Tabela 2-1 - Geração elétrica por energético no Brasil (GWh) 2008 a 2012.

Energético	2008	2009	2010	2011	2012	$\Delta\%$ (2012/11)	Part. % (2012)
Total	463.120	462.976	515.799	531.758	552.498	3,9	100,0
Gás Natural	28.778	13.182	36.476	25.095	46.760	86,3	8,5
Hidráulica (i)	369.556	389.858	403.290	428.333	415.342	-3,0	75,2
Derivados de Petróleo (ii)	15.628	12.549	16.065	12.239	16.214	32,5	2,9
Carvão	6.730	5.416	8.263	6.485	8.422	29,9	1,5
Nuclear	13.969	12.957	14.523	15.659	16.038	2,4	2,9
Biomassa (iii)	19.199	20.572	31.523	31.633	34.662	9,6	6,3
Eólica	1.183	1.238	2.177	2.705	5.050	86,7	0,9
Outras (iv)	8.076	7.205	3.481	9.609	10.010	4,2	1,8

Notas:

I) Inclui autoprodução

II) Derivados de petróleo: óleo diesel e óleo combustível

III) Biomassa: lenha, bagaço de cana e lixívia

IV) Outras: recuperações, gás de coqueria e outros secundários

Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN) 2013; Elaboração: EPE

Atualmente, o sistema elétrico brasileiro está praticamente todo conectado através do Sistema Interligado Nacional (SIN), com tamanho e características que permitem considera-lo único em âmbito mundial. Apenas 1,7% do total demanda de energia elétrica no Brasil é atendida por sistemas isolados (não conectados ao SIN), localizados principalmente na região amazônica.

A Figura 3-1 mostra o mapa do Sistema Interligado Nacional (ONS, 2015), ilustrando a abrangência nacional do SIN e apresenta previsão que aponta um crescimento da demanda de eletricidade na ordem de 200% para os próximos 30 anos, com base na série histórica do consumo de eletricidade no Brasil (MME, 2016b).



Figura 3-1 – Representao do Sistema Interligado Nacional (SIN) . Fonte: ONS ,2015

O valor atual de perdas no SIN  cerca de 15%, com projeo de reduo para 14% até 2050. Entre os fatores que contribuem para essas perdas estão a distância entre as grandes usinas e os principais centros de consumo (perdas na transmissão e distribuio) e perdas associadas ao desvio de energia (consumidor que faz a utilizao da energia elétrica sem que esta seja contabilizada no sistema).

Em 2019, a ANEEL e PWC apresentou uma análise de perdas nos sistemas de transmissão e distribuio (T&D). Nota-se pela Figura 3-2 que perdas superiores às registradas 12%, com destaque para o Rio de Janeiro e Amazonas. Apesar desses percentuais se referirem a perdas técnicas e não-técnicas (como roubo de energia), esse  outro ponto a se levar em conta nos argumentos para se investir em gerao distribuída (GD) no Brasil, pois, gerando junto ao ponto de consumo, as perdas em T&D são desprezveis, sendo uma medida de eficiência energética efetiva e de grande impacto.

Perdas não técnicas reais por estado

% Perdas reais sobre total injetado¹, destaque top 5, 2019

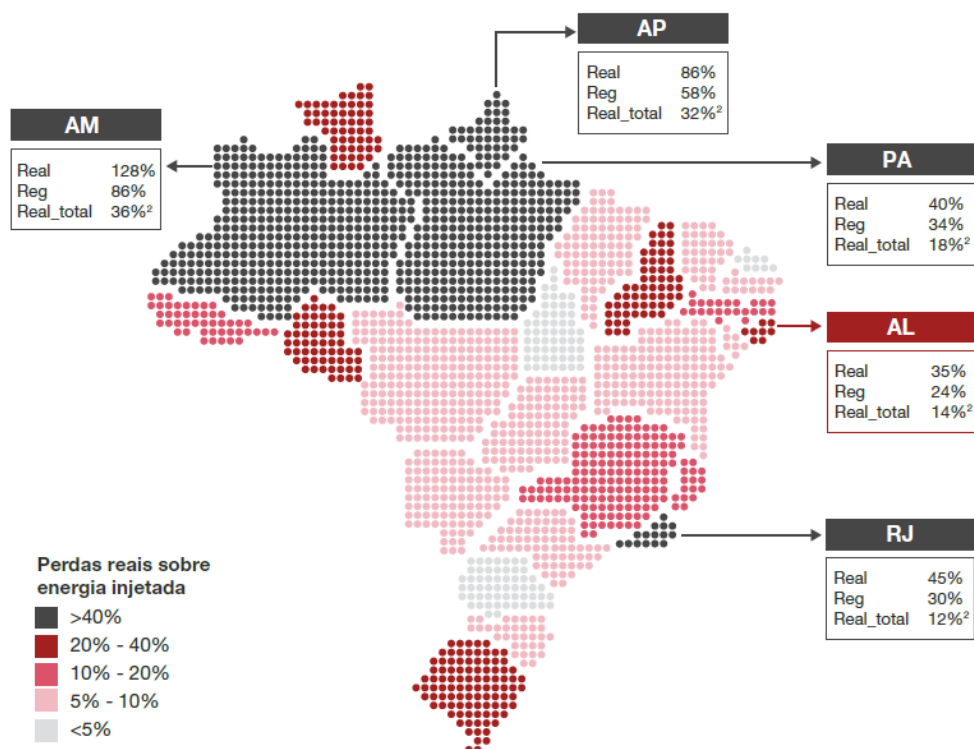


Figura 3-2 - Perdas não técnicas (%) sobre o total injetado, 2019. Fonte: ANEEL e PwC

Mesmo com o clima mais temperado da região sul, ainda ocorre um potencial considerável para a utilização da energia solar para todos os fins. Na Figura 2.5 é apresentado o mapa com os níveis de irradiação solar no plano inclinado, informados em valores médios anuais para os totais diários (kWh/m²/dia). Na Figura 2.6 é apresentado um mapa com as médias anuais da variabilidade dos totais diários de irradiação no plano inclinado.

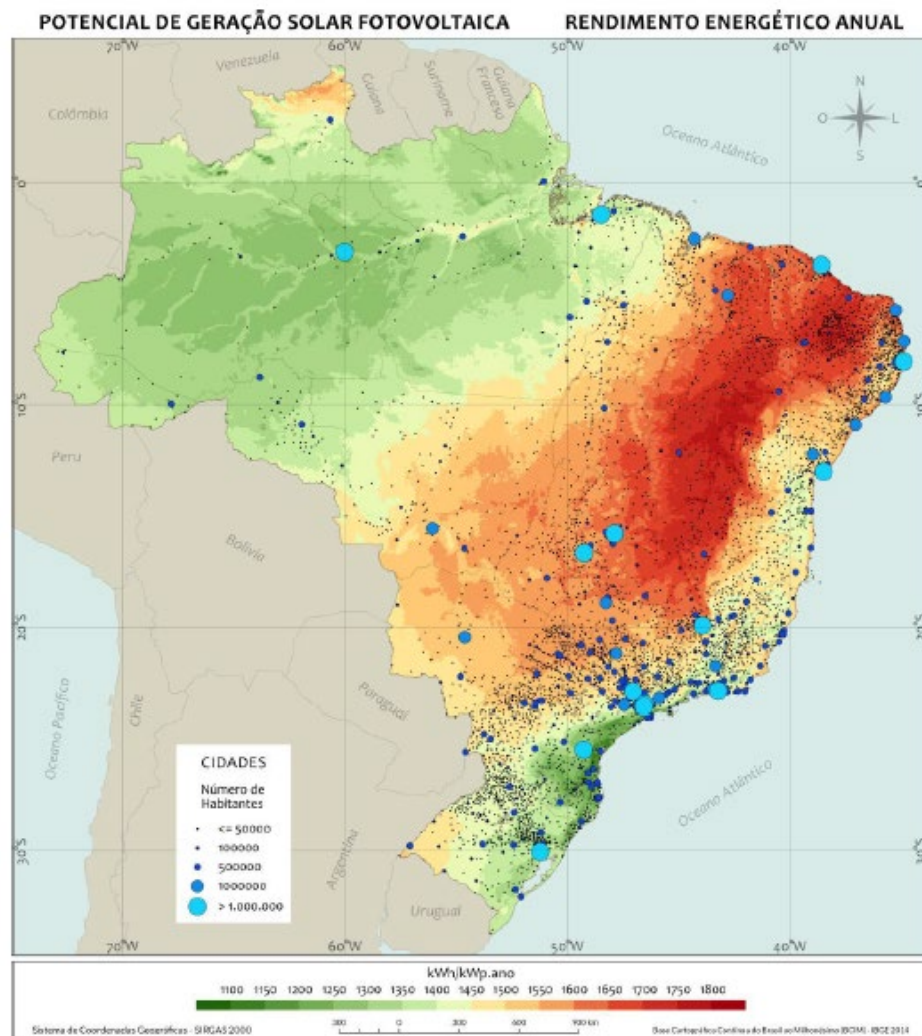


Figura 3-3- Irradiação solar global horizontal, em valores médios anuais para os totais diários (kWh/kW_p. ano).

Fonte: Atlas de Energia Solar do Brasil (PEREIRA et al., 2017)

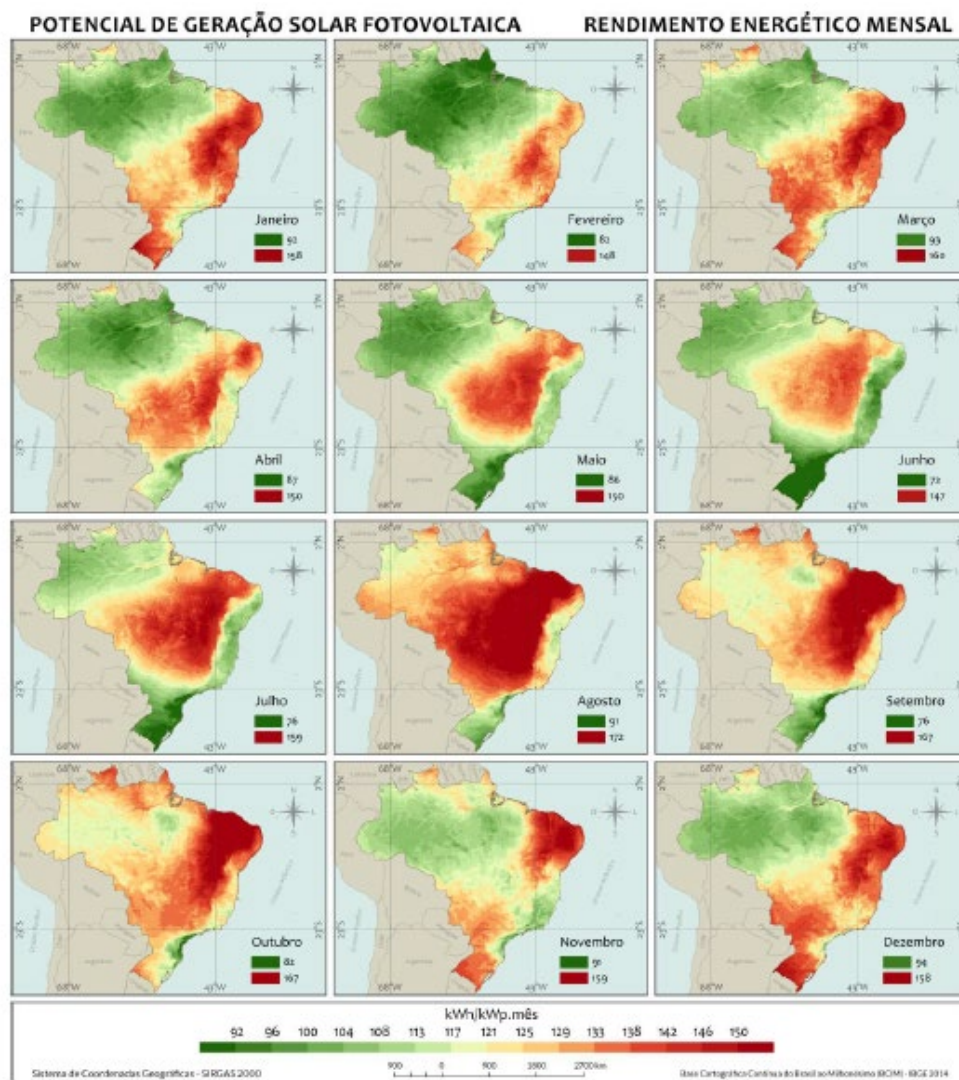


Figura 3-4 - Média anual da variabilidade dos totais diários de irradiação global horizontal. Fonte: Atlas de Energia Solar do Brasil (PEREIRA et al 2017).

No local menos ensolarado do Brasil, é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha, por exemplo. O mapa mostra o rendimento energético anual máximo (medido em kWh de energia elétrica gerada por ano para cada kWp de potência fotovoltaica instalada) em todo o território nacional, tanto para usinas de grande porte centralizadas e instaladas em solo, como para a geração fotovoltaica distribuída integrada em telhados e coberturas de edificações. A taxa de desempenho médio anual de 80% foi adotada para simplificar a análise e representa o desempenho de um gerador solar fotovoltaico bem projetado e instalado com equipamentos de boa qualidade e etiquetados pelo INMETRO.

O Brasil é um dos países com melhores níveis de irradiação solar no mundo (1.000-2.600 kWh/m²/ano, para o plano horizontal) (PEREIRA et al. 2006). O valor de irradiação incidente sobre o território brasileiro é mais privilegiado do que o incidente sobre os países que possuem maior potência FV instalada dentro da União Europeia, como Alemanha (950-1.250 kWh/m²/ano), Itália (1.100-1.900 kWh/m²/ano), Espanha (1.200-2.000 kWh/m²/ano) e França (1 kWh/m²/ano) (PVGIS, 2013).

3.3 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração distribuída (GD), tipicamente urbana e integrada em telhados e coberturas de edificações, tem, desde o início de sua utilização no Brasil, um caráter bastante pulverizado por todo o território nacional. Sua adoção é tanto mais viável quanto mais cara for a tarifa de eletricidade convencional da distribuidora local e quanto maior for o índice de irradiação anual da região. A demanda crescente de energia elétrica, representada pelo uso crescente de aparelhos de ar-condicionado, vem alterando o perfil de consumo e demanda no Brasil. Ano a ano os valores máximos de demanda são registrados nos meses de verão e no horário entre 12 e 15 horas, com excelente coincidência com a disponibilidade de radiação solar para a geração fotovoltaica.

O mapa do potencial mostrado na Figura 3.3 revela uma ótima coincidência entre a concentração de municípios e população brasileira e a distribuição da disponibilidade de irradiação anual. Com a queda acentuada dos preços dos geradores solares fotovoltaicos nos últimos anos, sua adoção por todo o território brasileiro é crescente e atingiu crescimento exponencial a partir do final de 2016. Gerar eletricidade solar no telhado de uma residência é cada vez mais competitivo com os preços e tarifas de energia elétrica convencionais cada vez mais as distribuidoras de energia vêm reconhecendo a tecnologia solar fotovoltaica muito mais como uma oportunidade do que como um risco (perda de receita). Financiar os ativos da geração de energia elétrica nunca foi papel do consumidor final e as concessionárias distribuidoras de energia no Brasil pouco a pouco começam a entender que por serem detentoras do sistema de distribuição, têm por isso já um contrato com o consumidor final. Neste contrato, as distribuidoras podem simplesmente estender a oferta dos serviços de fornecimento de energia através da instalação (e dos serviços de operação e manutenção) de um gerador fotovoltaico no

telhado das unidades consumidoras e compartilhar com o consumidor final os benefícios da geração solar distribuída e conectada junto ao ponto de consumo. As distribuidoras de energia locais são, portanto, o caminho natural de entrada no Brasil da geração solar fotovoltaica distribuída e a oferta desta tecnologia por parte das próprias concessionárias distribuidoras deve tomar um grande impulso no país, na medida em que os benefícios da tecnologia vão sendo compreendidos pelo setor (PEREIRA, 2017).

Desde então o aumento de novas fontes de energia se destacaram no país como mostra o anuário da ANEEL de 2021 na Figura 3-5:

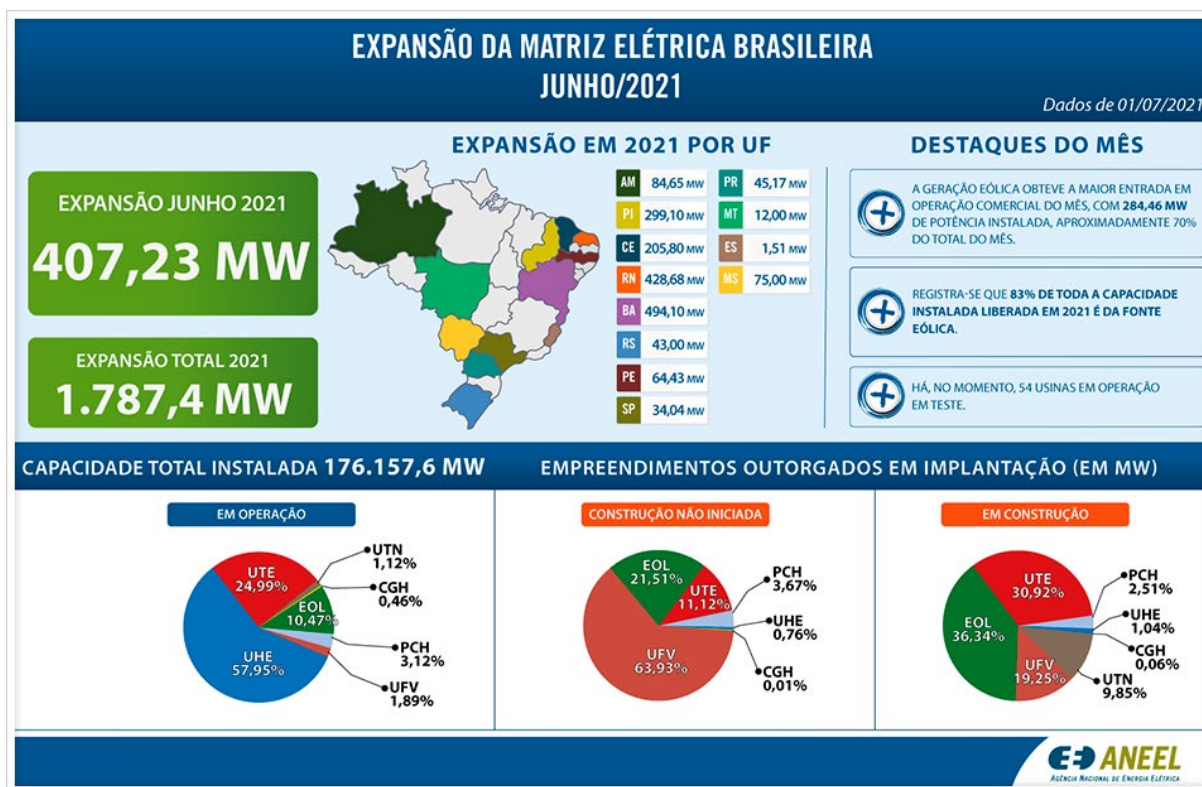


Figura 3-5 - Geração elétrica por energético no Brasil - participação (%), 2021 Fonte: MME; EPE. Anuário estatístico de energia elétrica 2021. [S.l.], 2021.

A fonte hidráulica (composta por Usina Hidrelétrica, Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais geradoras Hidrelétricas - menores) gerou 63,8% da energia elétrica em 2020 enquanto as demais fontes energéticas geraram 36,2%. Entre essas fontes, os destaques foram a energia eólica e a geração termelétrica a gás natural e à biomassa (ANEEL, 2021).

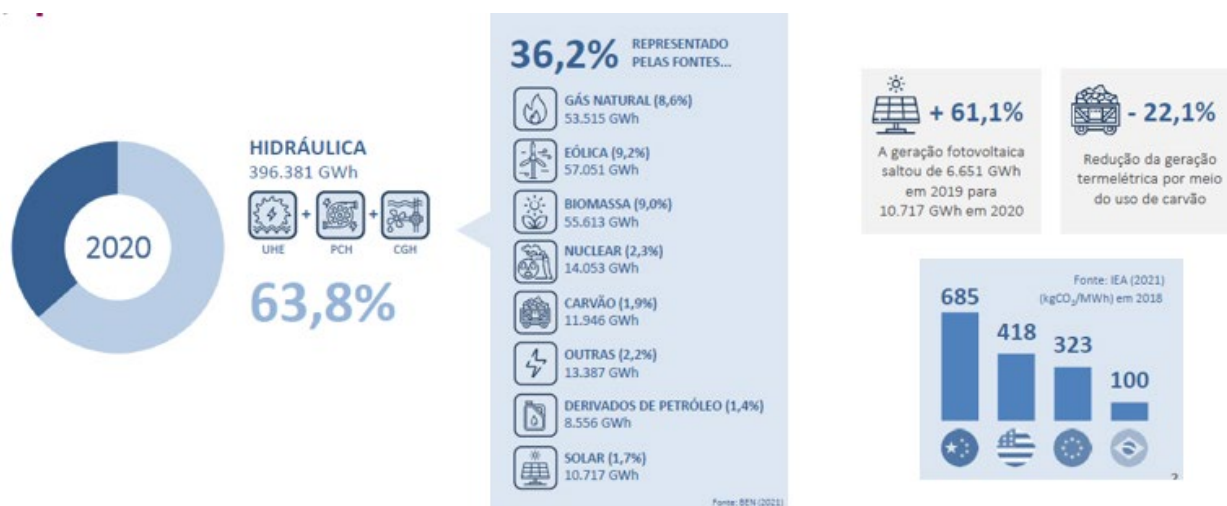


Figura 3-6 – Cenário Energético no Brasil. Fonte: EPE/ ANEEL 2021

No entanto, os movimentos de grande destaque verificados entre os anos de 2019 e 2020 foram o aumento de 61,1% da geração fotovoltaica e a redução de 22,1% da geração de eletricidade a partir do uso de carvão. As emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) provenientes da geração elétrica no Brasil totalizaram 49 milhões de toneladas (Mt) de CO₂ em 2020, mais de 10% inferior a 2019.

O PDE 2031 indica as perspectivas da expansão do setor de energia para os próximos 10 anos (2022 a 2031) dentro de uma visão integrada para os diversos energéticos. O planejamento foi elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) sob as diretrizes e o apoio das equipes do Ministério de Minas e Energia, coordenados pelas Secretarias de Planejamento e Desenvolvimento Energético (SPG/MME) e de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (SPG/MME).

Os estudos do plano subsidiam decisões de política energética e fornecem ao mercado informações que permitem a análise do desenvolvimento do sistema elétrico e das condições de adequabilidade de suprimento sob diferentes cenários futuros possíveis.

Foi publicado o aprimoramento do Plano Decenal de Expansão de energia conforme abaixo Figura 3-7, onde mostra o crescente investimento em energias renováveis até 2031.

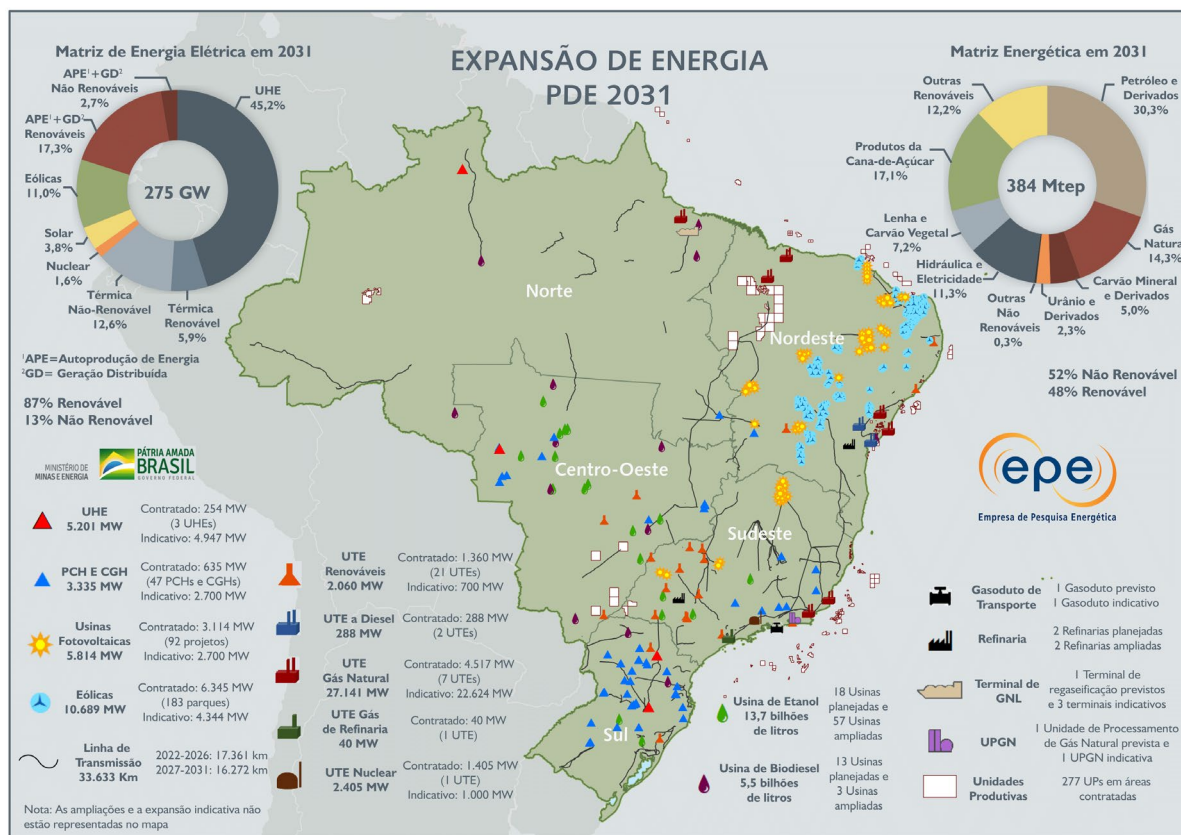


Figura 3-7 - Expansão Energética no Brasil até 2031 - Fonte: EPE – Decenário Expansão Energética - 2031

3.2 REGULAMENTAÇÃO NACIONAL PARA FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou a resolução 482/2012 que estabelece regras para a micro- e a minigeração distribuída através de sistemas FV. Para microgeração, a limitação é de até 75kW de potência com conexão em baixa tensão, e para minigeração a potência instalada pode ser acima de 75kW até no máximo 5MW com conexão em média tensão. A regra é válida também para fontes renováveis como energia hídrica (PCH), biomassa, eólica e para cogeração qualificada.

A resolução 482/2012 criou um sistema de compensação de energia, no qual o pequeno consumidor que instalar geradores em sua unidade tem a possibilidade de trocar energia com a distribuidora.

Instalando unidades geradoras em residências, por exemplo, a energia produzida que não for consumida será injetada na rede distribuidora, que utilizará o crédito para abastecer o consumo dos meses subsequentes. Os créditos devem ser utilizados em até 60 meses. As informações são apresentadas na fatura do consumidor, para que o mesmo tenha um controle do saldo de energia. Caso expire o prazo de 60 meses e os créditos de energia não forem consumidos, o saldo não utilizado torna-se propriedade da distribuidora (ANEEL, 2012).

Para sistemas FV com potência instalada maior que 5MWp, a comercialização passa a ser diferente, através de contratação regulada (Leilões) e contratação livre. Em leilões são definidos os preços de compra e venda pelo órgão organizador. No caso do Brasil existem os leilões de Ambiente de Contratação Regulada (ACR), que são delegados pela ANEEL e realizados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Em leilões definidos pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), os mesmos são realizados diretamente pela ANEEL (CCEE, 2014). No Ambiente de Contratação Livre (ACL), os geradores, produtores, comercializadores de energia e os consumidores livres e especiais têm a liberdade para negociar a compra de energia. Esse tipo de contrato deve ser, obrigatoriamente, registrado na CCEE.

3.3- LEGISLAÇÃO PARA A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL

O processo de aprovação de uma regulamentação para o incentivo ao uso da tecnologia FV em geração distribuída (GD) no meio urbano no Brasil foi bastante demorado e cheio de incertezas e reveses. O trabalho teve início em 2008 quando o Ministério de Minas e Energia (MME) instituiu o Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos (GT-GDSF). O GT-GDSF teve como finalidade elaborar uma proposta de política de utilização de geração FV conectada à rede elétrica, em particular em edificações urbanas, em curto, médio e longo prazo. A seguir, dois eventos, convocados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) tiveram fundamental importância para que o movimento se tornasse mais fluido:

1. A Consulta Pública nº 15/2010, que mapeou as principais barreiras para a instalação da GD de pequeno porte.

2. A Audiência Pública nº 42/2011 apresentou propostas com objetivo de reduzir barreiras para acesso de centrais geradoras até 1 MW, que utilizem fontes incentivadas de energia, assim como para a fonte solar (até 30 MW).

A audiência ficou aberta no período de 08/08/2011 a 14/10/2011 e, ao todo, foram recebidas 403 contribuições de agentes do setor, universidades, fabricantes, associações, consultores, estudantes e políticos.

A ANEEL analisou então as contribuições apresentadas, e, após alguns meses de discussões, aprovou a Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril de 2012, instituindo as regras destinadas a reduzir barreiras para instalação de GD de pequeno porte, que incluem a microgeração (até 100 kW) e a minigeração (100 kW a 1 MW).

3.3.1 RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 482, DE 17.4.2012

A Resolução Normativa nº 482, de 17.4.2012, cria o “Sistema de Compensação de Energia”, que permite ao consumidor instalar pequenos geradores em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local. A regra é válida para geradores que utilizem fontes incentivadas de energia (hídrica, solar, biomassa, eólica e cogeração qualificada).

Pelo sistema, a unidade geradora instalada em uma residência, por exemplo, produzirá energia, e o que não for consumido será injetado no sistema da distribuidora, que utilizará o crédito para abater o consumo dos meses subsequentes (sistema *net metering*). Os créditos poderão ser utilizados em um prazo de 60 meses e as informações estarão na fatura do consumidor, a fim de que ele saiba o saldo de energia e tenha o controle sobre a sua fatura.

Os órgãos públicos e as empresas com filiais que optarem por participar do sistema de compensação também poderão utilizar o excedente produzido em uma de suas instalações para reduzir a fatura de outra unidade.

O consumidor que instalar micro ou minigeração distribuída será responsável inicialmente pelos custos de adequação do sistema de medição necessário para implantar o sistema de compensação. Após a adaptação, a própria distribuidora será responsável pela manutenção, incluindo os custos de eventual substituição.

E **ANEEL** **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482 (687)**
Micro e Minigeração Distribuída

Fonte de Energia	<ul style="list-style-type: none"> • Permitido o uso de qualquer fonte de energia renovável
Faixa de Potencia	<ul style="list-style-type: none"> • Microgeração: Até 75 kW • Minigeração: 75 KW – 5 MW
Compensação de Energia	<ul style="list-style-type: none"> • Compensação de créditos de energia entre matrizes e filiais • Prazo para utilizar os créditos: 5 anos
Geração Compartilhada	<ul style="list-style-type: none"> • Geração distribuída em condomínios • Consórcio ou Cooperativa • Geração em terrenos afastados do local de consumo
Prazo para conexão	<ul style="list-style-type: none"> • Prazo total da distribuidora: 34 dias

Figura 3-8 - Resolução Normativa ANEEL Fonte: EPE

As distribuidoras tiveram até 240 dias após a publicação da resolução para elaborar ou revisar normas técnicas para tratar do acesso desses pequenos geradores, tendo como referência a regulamentação vigente, as normas brasileiras e, de forma complementar, as normas internacionais. A geração de energia elétrica próxima ao local de consumo ou na própria instalação consumidora, chamada de "geração distribuída", pode trazer uma série de vantagens sobre a geração centralizada tradicional, como, por exemplo, economia dos investimentos em transmissão, redução das perdas nas redes e melhoria da qualidade do serviço de energia elétrica.

Paralelamente ao sistema de compensação de energia, a ANEEL aprovou novas regras para descontos na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e na Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST) para usinas maiores (de até 30 MW) que utilizarem a fonte solar. Para os empreendimentos que entrarem em operação comercial até 31 de dezembro de 2017, o desconto de 80% será aplicável nos 10 primeiros anos de operação da usina. O desconto será reduzido para 50% após o décimo ano de operação da usina. Para os empreendimentos que entrarem em operação comercial após 31 de dezembro de 2017, mantém-se o desconto de 50% nas tarifas.

Em 2019, com auxílio de consulta pública para decidir o futuro da energia solar e do sistema de compensação de energia elétrica no país. Após diversas audiências, uma nova proposta de revisão na NR 482/2012 foi definida. E o impacto é considerável: os consumidores, que antes podiam abater o consumo de energia em até 100%, agora devem pagar os custos da rede, encargos e transporte da energia gerada. Com a alteração, agora o consumidor paga:

- Transmissão do fio A;
- Transmissão do fio B;
- Transporte e encargos;
- Perdas de energia;
- Encargos da energia consumida.

Na prática, isso representa até 62% da tarifa de energia. Ou seja: a aplicação de painéis solares é um investimento tão rentável que, mesmo com todas as novas tributações, ainda garante reaproveitamento financeiro de até 38% da energia gerada.

Para novos entrantes (Geração Distribuída local): custos de rede (fios A e B) em 2020; + encargos em 2030 ou quando a capacidade de GD no Brasil chegar a 5,9 GW.

Para novos entrantes (Geração Distribuída remota): custos de rede (fios A e B) + encargos em 2020;

Para quem já possui Geração Distribuída (local ou remota): custo de rede (fios A e B) + encargos a partir de 31/12/2030.

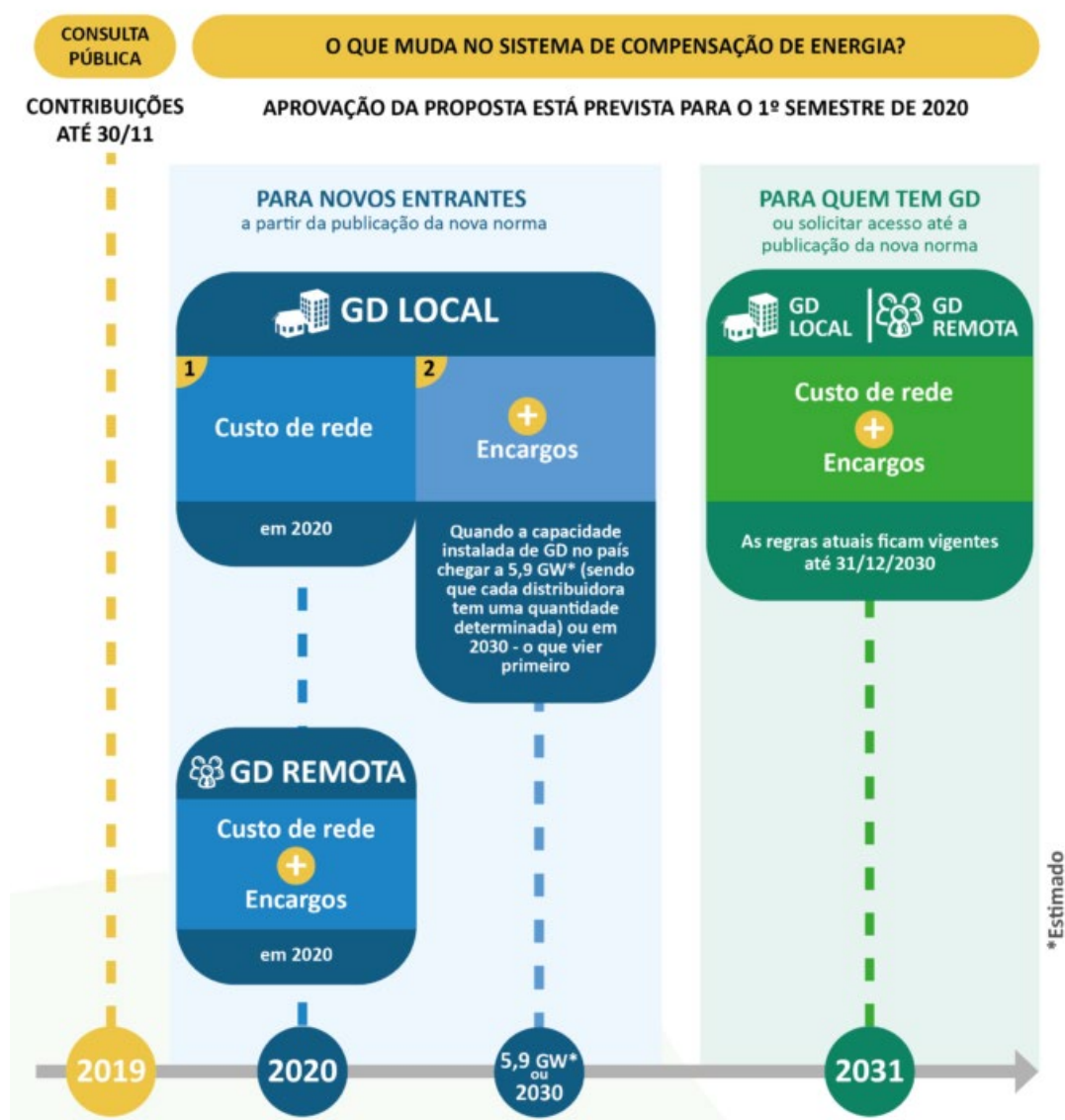


Figura 3-9 - Resolução Normativa ANEEL atualizada Fonte: EPE

A alteração da norma mostrada na figura acima ainda está em tramitação até o fechamento desse estudo e não está em vigor.

3.3.2 RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL N° 414, DE 9.9.2010

A Resolução Normativa n° 414, de 9.9.2010, estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica. Em seu Artigo 98 (redação dada pela Resolução Normativa ANEEL n° 479, de 03.04.2012), regulamenta que:

"O custo de disponibilidade do sistema elétrico, aplicável ao faturamento mensal de consumidor responsável por unidade consumidora do grupo B, é o valor em moeda corrente equivalente a:

- I. 30 kWh, se monofásico;
- II. 50 kWh, se bifásico;
- III. 100 kWh, se trifásico.

§1º O custo de disponibilidade deve ser aplicado sempre que o consumo medido ou estimado for inferior aos referidos neste artigo, não sendo a diferença resultante objeto de futura compensação."

Isso significa que o consumidor do grupo B que instalar um sistema FV-CRIE vai ter que pagar em cada mês no mínimo o custo de disponibilidade correspondente à sua categoria (monofásico, bifásico ou trifásico). Ou seja, um consumidor do grupo B terá que pagar ao mês no mínimo o valor correspondente a um consumo de 50 kWh, mesmo que o seu consumo ao fim do mês tenha sido inferior a 50 kWh – seja por ter um consumo baixo naquele mês, seja por ter um sistema FV-CRIE que reduziu seu consumo a um patamar abaixo de 50 kWh.

3.3.3 CONVÊNIO ICMS/CONFAZ Nº 6, DE 5.4.2013

O Convênio ICMS/CONFAZ nº 6, de 5.4.2013 estabelece as orientações quanto à cobrança do Imposto Sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e Sobre Prestações de Serviços (ICMS) no sistema de compensação de energia previsto pela Resolução Normativa nº 482, de 17.4.2012.

A questão do ICMS no "Sistema de Compensação de Energia Elétrica" (REN 482/2012 ANEEL) foi tratada em Brasília no âmbito dos trabalhos do "GT13 – Energia Elétrica"(Grupo de trabalho nº13 - Energia Elétrica), do qual participam representantes das Secretarias de Estado da Fazenda (SEFAZ) de cada um dos estados brasileiros. O GT13 é vinculado ao MME e o texto do Convênio ICMS 6/2013 do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) é um dos resultados do trabalho desse grupo.

O Convênio ICMS 6/2013 do CONFAZ é um convênio nacional orientativo. Em cada estado brasileiro, a SEFAZ correspondente deve publicar sua regulamentação própria para tratar

do assunto, mas a tendência é que tal convênio seja ratificado na íntegra por cada unidade federativa.

Ainda segundo informações da SEFAZ-SC, nos itens do RICMS/SC que tratam do ICMS no "Sistema de Compensação de Energia Elétrica"(REN 482/2012 ANEEL), será abolida, para os mini e microgeradores instalados em Santa Catarina, a exigência dos relatórios previstos no inciso III da cláusula quarta do Convênio ICMS/CONFAZ nº 6/2013. Visando simplificar o cumprimento das obrigações relativas a este convênio, o estado de Santa Catarina dispensou as distribuidoras catarinenses da entrega do relatório pormenorizado da energia injetada nos seus respectivos sistemas. Esta dispensa está prevista no próprio convênio no §2º da mesma cláusula quarta.

Quanto à cobrança do ICMS no âmbito do "Sistema de Compensação de Energia Elétrica"(REN 482/2012 ANEEL), será cobrado o ICMS sobre o valor integral da operação de venda de energia elétrica, antes de qualquer compensação, conforme indicado nos incisos I e II da cláusula segunda do Convênio ICMS/CONFAZ nº 6/2013 do CONFAZ. Ou seja, será tributado o consumo bruto.

Tome-se como exemplo um consumidor residencial (não baixa-renda) trifásico que em um determinado mês injeta na rede 300 kWh com seu sistema FV-CRIE (o restante da geração foi consumido pelas cargas da casa antes de ser injetada na rede, e não é cobrado ICMS sobre tal parcela). Caso no mesmo mês essa residência consuma da rede 300 kWh, ao fim do mês tal consumidor receberá uma fatura cobrando o ICMS (e muito provavelmente também PIS e COFINS) sobre o seu consumo bruto da rede "antes de qualquer compensação" (ou seja, 300 kWh) e pagará ainda um custo de disponibilidade correspondente a 100 kWh.

A incidência do ICMS em Cordeiro, Rio de Janeiro, incide sobre a TSUD em 32% até 350 KWh e abaixo desse teto, 18% mais o custo de disponibilidade. Estados como São Paulo e Pernambuco foram os primeiros a isentar o ICMS, que varia de estado para estado.

4. ESTUDO DE CASO - PROJETO RESIDENCIAL

4.1 METODOLOGIA

Neste trabalho, tal metodologia é aplicada a sistemas FV instalados no meio urbano, em uma residência (consumidor não baixa renda), na cidade de Cordeiro no estado do Rio de Janeiro, considerando as diferenças na disponibilidade do recurso solar local e na tarifa residencial local.

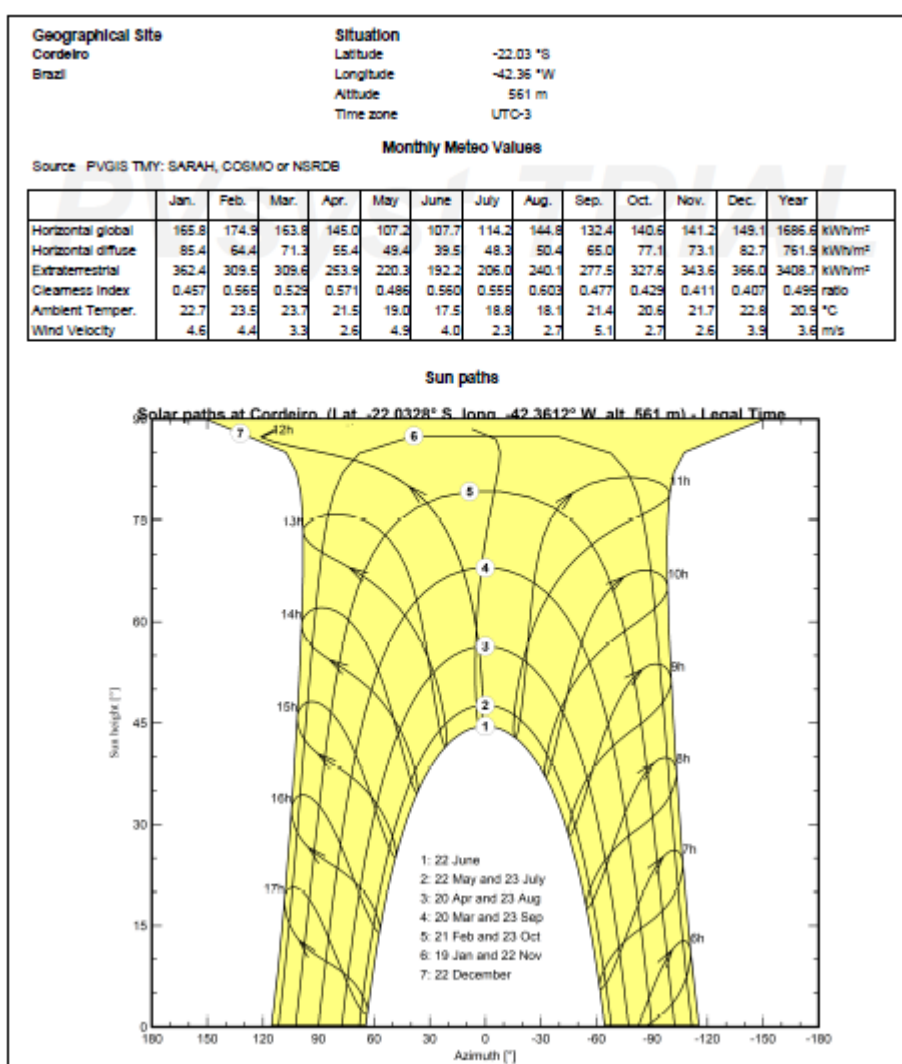


Figura 4-1 – Localização do estudo de caso Fonte: PV*Sys

Quanto ao consumidor analisado, nas seções seguintes são apresentados os critérios considerados para definição dos seguintes tópicos:

1. Características geográficas do local de instalação;
2. Tipo de conexão: monofásica, bifásica ou trifásica (reflete no custo de disponibilidade);
3. Consumo mensal de energia elétrica da rede a ser considerado;
4. Taxa de inflação anual da tarifa de energia elétrica residencial.

4.2 UNIDADE DE CONSUMO

A residência analisada para o desenvolvimento deste trabalho fica localizada na cidade de Cordeiro no Estado do Rio de Janeiro e o telhado escolhido para a fixação dos painéis é mostrado na Figura 4-2, no qual foram dispostos os módulos fotovoltaicos dimensionados na seção 4.2.2. O norte geográfico fica orientado exatamente para a direção do telhado e tem uma inclinação de aproximadamente 20°, possuindo as melhores características possíveis para a geração de energia. O sistema fotovoltaico do projeto é ongrid e não possui baterias para armazenamento de energia.

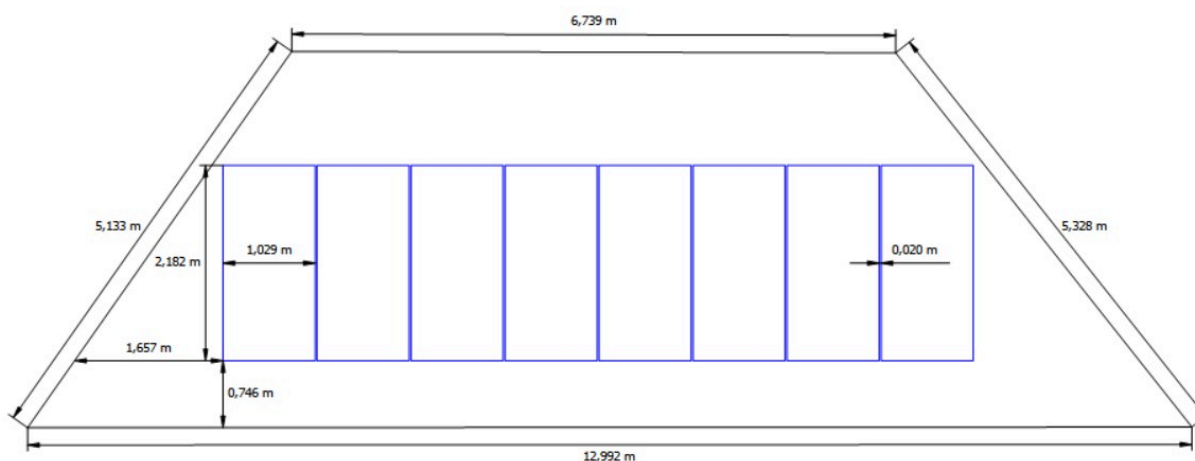


Figura 4-2 – Planta baixa da residência Fonte: Autor

O padrão de entrada da residência possui um disjuntor bipolar de 50A e de acordo com as Normas Técnicas da concessionária de energia local, a máxima demanda em inversores que poderia ser instalada é de 10kW. Caso o dimensionado requisitasse um inversor de potência

superior, seria necessário realizar o aumento de carga da unidade. Como a residência é alimentada por duas fases, o custo de disponibilidade, que é o valor mínimo a ser pago na conta de luz, independente do consumo de energia, é calculado pela multiplicação entre 50 (valor referente à rede bifásica) e pela tarifa de energia. Logo, após a instalação de um sistema de energia solar que supra todo o consumo energético, ainda será necessário pagar R\$62,50, já que a tarifa atual é de R\$1,25 por kWh, além da taxa de contribuição de iluminação pública.

4.2.1 PERFIL DE CONSUMO

Para realizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico é necessário fazer o levantamento do consumo energético da unidade. Para isso foram consideradas as cargas elétricas mostradas na Tabela 4.1 e uma aproximação do tempo de uso diário dentro de um ano.

Tabela 4-1 - Estimativa de Consumo Energético Diário e Mensal. Fonte: Autor

Carga	Quantidade	Potência [W]	Tempo de Uso Diário [H]	Consumo Energético Diário [kWh]	Consumo Energético Mensal [kWh]
Lâmpada Fluorescente	6	15,00	4	0,36	10,8
Chuveiro	1	5000,00	1	5	150
Geladeira	1	130,00	8	1,04	31,2
Ventilador	2	60,00	6	0,72	21,6
Televisão	2	110,00	3	0,66	19,8
Ar-condicionado	1	2636,10	2	5,2722	158,166
Tomadas de Uso Geral	4	30,00	2	0,24	7,2
Total		7981,1	26	13,2922	398,766

Tabela 4-2 – Perfil de consumo da residência . Fonte: Dados do PV*SOL

Mês	Consumo da tarifa 1 [kWh]
Jan	400
Fev	465
Mar	395
Abr	420
Mai	359
Jun	360
Jul	365
Ago	334
Set	386
Out	436
Nov	390
Dez	490

O consumo total, calculado pela soma dos valores da última coluna dessa Tabela, resultou em cerca de 400kWh/mês.

4.2.2 DIMENSIONAMENTO DE EQUIPAMENTOS

Para que o sistema fotovoltaico supra todo o consumo de energia elétrico da residência analisada, é necessário que sua geração alcance a média de 400kWh/mês por ano. A potência do gerador necessária para gerar é dada por:

$$PFV(W_p) = \frac{\left(\frac{E}{TD}\right)}{HSP} \quad (4)$$

Onde:

PFV(W_p) – Potência de pico do painel fotovoltaico

E(Wh/dia) – Consumo diário médio anual da unidade

HSP(h) – Média diária anual das HSP incidente no plano do painel fotovoltaico

TD (adimensional) – Taxa de desempenho

A Taxa de Desempenho (Performance Ratio - PR) é obtida através da relação entre o desempenho real do sistema sobre o desempenho máximo teórico possível. O PR leva em conta

as perdas envolvidas no sistema fotovoltaico, como as perdas por queda de tensão, nível de sujidade dos módulos, sombreamento, eficiência e carregamento do inversor e mismatch entre módulos, temperatura operacional (PINHO; GALDINO, 2014).

Como não é possível obter o PR através de cálculos teóricos, é necessário utilizar Softwares de dimensionamentos como o PV*SOL. Logo, o programa foi utilizado para descobrir a Taxa de Desempenho do sistema fotovoltaico de acordo com as características do telhado da unidade consumidora. O PR médio durante o intervalo de um ano dado pelo PV*Sol foi de 80%, como pode ser visto na curva da Figura 4.3.

De acordo com o PVGIS a irradiação solar diária média para a cidade de Cordeiro, Rio de Janeiro, é de 4,66 kWh/m.dia. Como o consumo médio da unidade é de 400kWh, o diário é de aproximadamente 13,33kWh. Assim, a potência do sistema fotovoltaico necessária para gerar a energia necessária de acordo com as condições reais é:

$$PFV(Wp) = \frac{\left(\frac{13,33}{0,8}\right)}{4,66} \quad (4.1)$$

$$PFV(Wp) = 3576 \quad (4.2)$$

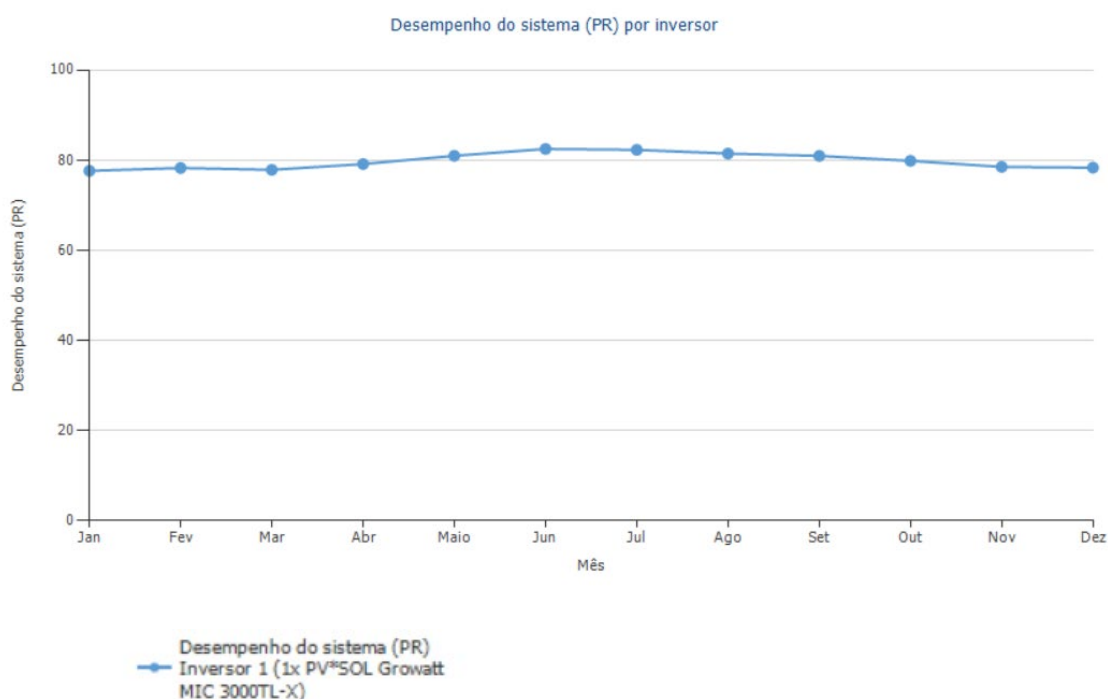


Figura 4-3 - PR do sistema fotovoltaico. Fonte: PVSOL – simulação

O módulo fotovoltaico escolhido para o sistema foi o Jinko Tiger Pro 60HC de 460W, cujo dados são vistos na Tabela 4.2. Para definir sua quantidade basta dividir PFV(Wp) obtida em (4.2) pela potência do painel:

$$N^{\circ}(\text{painéis}) = \frac{3576}{460} \quad (4.3)$$

$$N^{\circ}(\text{painéis}) = 7,77 \quad (4.4)$$

Para não gerar menos energia do que o necessário, arredonda-se para cima o valor obtido em (4.4), resultando em 8 painéis fotovoltaicos de 460W.

O inversor escolhido para o projeto foi o Growatt 3000TL-X que tem potência nominal de 3kW e potência máxima de entrada de 4,2kW. Como o sistema projetado é conectado à rede e não possui baterias, não é necessário que a potência do inversor seja superior à potência total das cargas da unidade. A potência total do sistema fotovoltaico é dada pelo produto entre o número de painéis e a potência deles:

$$PSFV = 8 \times 460W \quad (4.5)$$

$$PSFV = 3,680 \text{ kW} \quad (4.6)$$

Com o resultado obtido em (4.6) é possível confirmar que a potência total sistema fotovoltaico projetado é inferior à Máxima potência fotovoltaica recomendada (para módulo STC) da Tabela 4.2.



Figura 4-4 - Painel Fotovoltaico Jinko Tiger Pro 60 HC Fonte: Jinko

Como a ligação dos painéis é em série, a máxima corrente (I_{mp}) atingida pelo arranjo será de 10,68A de acordo com a Tabela 4.3, sendo inferior à corrente máxima de entrada por MPP do inversor (13A). Da mesma forma que a corrente de curto-circuito do painel (11,5A) é inferior à máxima corrente de curto-circuito por MPP do inversor (16A). Para obter a tensão de operação do sistema (V_{mp} [SFV]) e a tensão de circuito aberto do sistema (V_{oc} [SFV]), basta multiplicar a tensão (V_{mp}) e a tensão (V_{oc}) do módulo Jinko 460W pelo número de painéis:

$$V_{mp}[SFV] = 8 \times 43,08V \quad (4.7), \quad V_{mp}[SFV] = 344,64V \quad (4.8)$$

$$V_{oc}[SFV] = 8 \times 51,70V \quad (4.9), \quad V_{mp}[SFV] = 413,60V \quad (4.10)$$

Portanto, pode-se constatar que os parâmetros elétricos do arranjo, tensão de operação, tensão de circuito aberto, corrente de operação, corrente de curto-circuito e potência respeitam os limites do inversor.



Figura 4-5 - Inversor Growatt 3000TL-X. Fonte: Manual de Instalação e Operação do Growatt 3000TL-X (2018).

Tabela 4-3 - Datasheet Growatt MIC TL-X 1000-3000W. Fonte: Manual de Instalação e Operação do Growatt (2018).

Ficha de dados	MIC 1000TL-X	MIC 1500TL-X	MIC 2000TL-X	MIC 2500TL-X	MIC 3000TL-X
Dados de entrada					
Máxima potência fotovoltaica recomendada (para módulo STC)	1400W	2100W	2800W	3500W	4200W
Máxima tensão CC	500V	500V	500V	550V	550V
Tensão de partida	50V	50V	50V	80V	80V
Faixa de tensão MPPT/Tensão nominal	50V-500V /180V	50V-500V /250V	50V-500V /360V	65V-550V /360V	65V-550V /360V
Máxima corrente de entrada por trackers MPP	13A				
Máxima corrente curto-circuito por trackers MPP	16A				
Número de MPPT / strings por MPPT	1/1				
Saída (CA)					
Potência nominal de saída	1000W	1500W	2000W	2500W	3000W
Potência aparente máxima de CA	1000VA	1500VA	2000VA	2500VA	3000VA
Máxima corrente de saída	4.8A	7.1A	9.5A	11.9A	14.3A
Tensão nominal de saída(Faixa)	230V(180Vac-280Vac)				
Frequência da rede CA(Faixa)	50Hz/60Hz ± 5Hz				
Fator de potência ajustável	0. 8i-0. 8c				
THDI	<3%				
Conexão CA	Fase única				
Eficiência					
Máx. eficiência	97.4%	97.4%	97.4%	97.6%	97.6%

Tabela 4-4 - Datasheet Jinko Tiger 450-470W Fonte: Ficha de Dados Jinko Tiger Mono-facial 450-470 (2021).

SPECIFICATIONS										
Module Type	JKM450M-7RL3		JKM455M-7RL3		JKM460M-7RL3		JKM465M-7RL3		JKM470M-7RL3	
	JKM450M-7RL3-V		JKM455M-7RL3-V		JKM460M-7RL3-V		JKM465M-7RL3-V		JKM470M-7RL3-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	450Wp	335Wp	455Wp	339Wp	460Wp	342Wp	465Wp	346Wp	470Wp	350Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	42.86V	39.20V	42.97V	39.32V	43.08V	39.43V	43.18V	39.58V	43.28V	39.69V
Maximum Power Current (Imp)	10.50A	8.54A	10.59A	8.61A	10.68A	8.68A	10.77A	8.74A	10.86A	8.81A
Open-circuit Voltage (Voc)	51.50V	48.61V	51.60V	48.70V	51.70V	48.80V	51.92V	49.01V	52.14V	49.21V
Short-circuit Current (Isc)	11.32A	9.14A	11.41A	9.22A	11.50A	9.29A	11.59A	9.36A	11.68A	9.43A
Module Efficiency STC (%)	20.04%		20.26%		20.49%		20.71%		20.93%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	20A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

4.2.3 SIMULAÇÃO NO PVSOL

A partir das medidas, orientação e inclinação do telhado foi possível realizar uma simulação no Software PVSol 2022 e obter os dados de geração de energia do sistema dimensionado. Foram dispostos 8 painéis de 460W do fabricante Jinko no telhado com decaimento para o norte geográfico com inclinação de 20° aproximadamente. O Painel escolhido levou em consideração, a potência requerida para o projeto, a área disponível no telhado e o custo benefício. O inversor escolhido para fazer a conexão entre o sistema fotovoltaico e a rede foi o Growatt de 3kW, o que tem o melhor custo-benefício e condiz com as tensões de entrada e corrente do string de painéis.

A figura 4-6 ilustra o posicionamento dos módulos fotovoltaicos sobre o telhado. Para manter os painéis simétricos aos cortes do telhado, foram posicionados de maneira centralizada. Foi necessário a utilização de 15,74m² para comportar os módulos sobre o telhado.



Figura 4-6 - Simulação 3D do Projeto . Fonte: PV*Sol

O modelo do inversor escolhido para o projeto possui apenas uma entrada MPPT. Porém, como todos os painéis foram instalados na mesma orientação e inclinação, foi possível ligá-los em série para realizar a conexão ao MPPT do inversor.

Após realizar a simulação 3D, o software fez os cálculos levando em consideração a irradiação local da cidade de Cordeiro RJ, inclinação e orientação do telhado, nível de sombreamento e perdas elétricas durante a conversão e transmissão de energia. A curva estimada de geração mensal obtida pode ser vista na Figura 4-7, na qual as barras amarelas representam a geração do sistema fotovoltaico, as barras cinzas representam o consumo elétrico da casa e linha cinza representa o balanço energético. A média anual resultou no valor de 428kWh, sendo suficiente para cobrir toda energia que é consumida pela unidade.

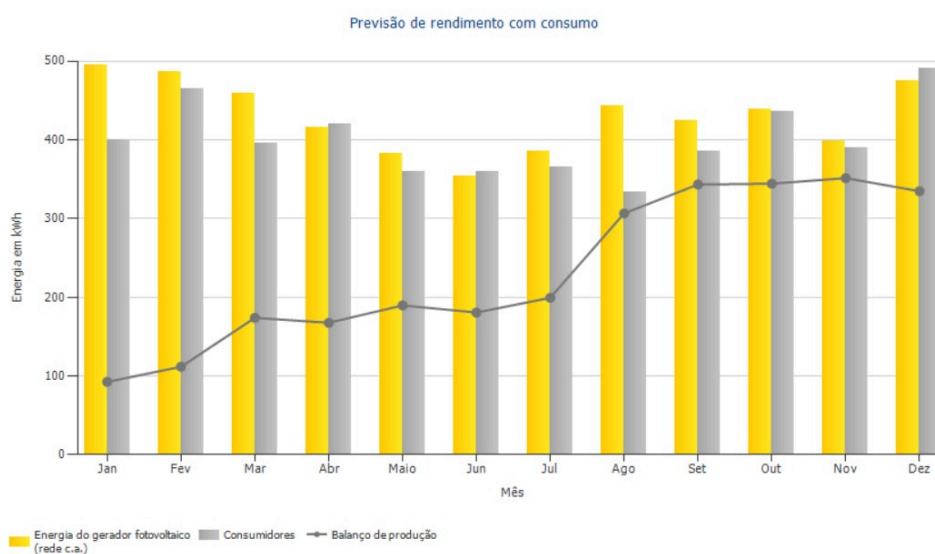


Figura 4-7 – Produção e Consumo de Energia

Estima-se que, anualmente, cerca de 1964kWh seja convertido pelo inversor e transferido diretamente às cargas da casa para o consumo instantâneo e que 3195kWh seja injetado na rede da concessionária de energia. Com a regulação em vigor no Brasil, os 3195kWh serão convertidos em créditos de energia que poderão ser trocados. Essa troca acontecerá no período da noite e em dias chuvosos, quando o sistema fotovoltaico não estiver produzindo energia. De acordo com o Software, cerca de 2860kWh será utilizado da rede anualmente.

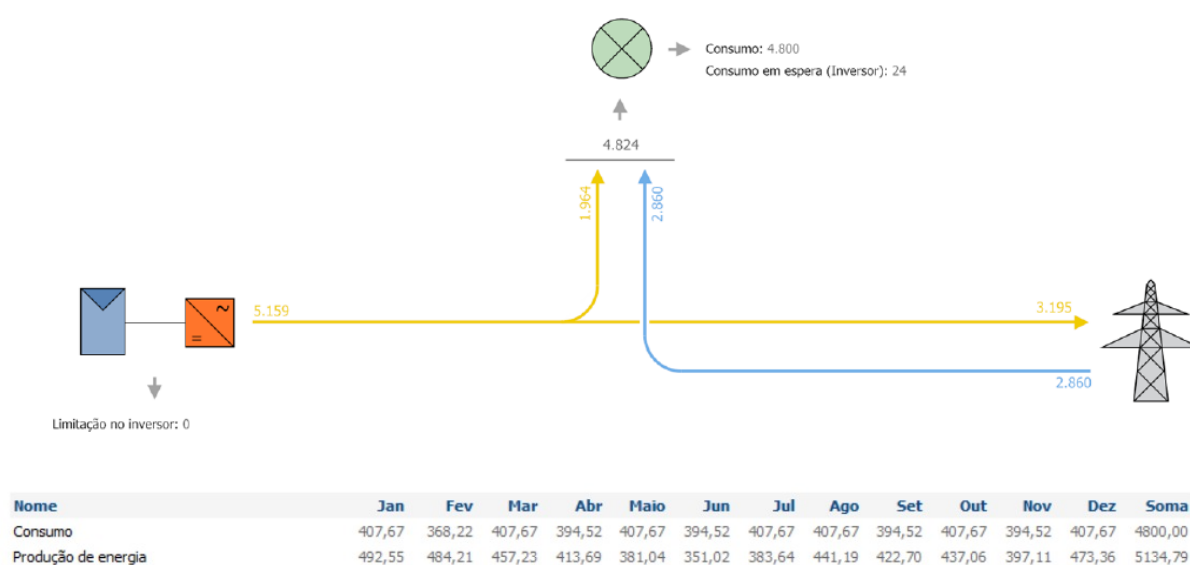


Figura 4-8 - Fluxo de Energia e consumo x Produção . Fonte: PV*SOL

A Figura 4-9 mostra todas as perdas obtidas no PV*Sol do sistema fotovoltaico durante sua operação. As perdas devido o comportamento sob baixa irradiação, desvio em relação à temperatura nominal do módulo e pela conversão c.c/c.a representaram o maior impacto sobre o SFCR. Porém, o PR de 80% é considerado um bom índice de desempenho para o sistema e as perdas obtidas podem ser consideradas naturais.

Energia fotovoltaica (c.c.) sem redução pelo inversor	5.584,01 kWh	
Potência CC mínima não atingida	-12,07 kWh	-0,22 %
Redução devido à faixa de tensão PMP	0,00 kWh	0,00 %
Redução devido à corrente c.c. máx.	0,00 kWh	0,00 %
Redução devido à potência c.c. máx.	0,00 kWh	0,00 %
Redução devido à potência c.a. máx./cos phi	-6,05 kWh	-0,11 %
Perda no seguidor PMP	-139,15 kWh	-2,50 %
Energia fotovoltaica (c.c.)	5.426,74 kWh	
Energia na entrada do inversor	5.426,74 kWh	
Divergência entre tensão de entrada e tensão nominal	-28,01 kWh	-0,52 %
Conversão c.c./c.a.	-239,80 kWh	-4,44 %
Consumo em espera (Inversor)	-24,14 kWh	-0,47 %
Perda cabeamento total	0,00 kWh	0,00 %

Unidade Consumidora-Área de montagem Norte

Potência do gerador fotovoltaico	3,68 kWp
Area do gerador fotovoltaico	18,0 m ²
Irradiação global no plano dos módulos	1752,4 kWh/m ²
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	5158,9 kWh/Ano
Rendimento anual específico	1401,9 kWh/kWp
Desempenho do sistema (PR)	80 %

Figura 4-9 – Perdas de Energia. Fonte: PV*Sol

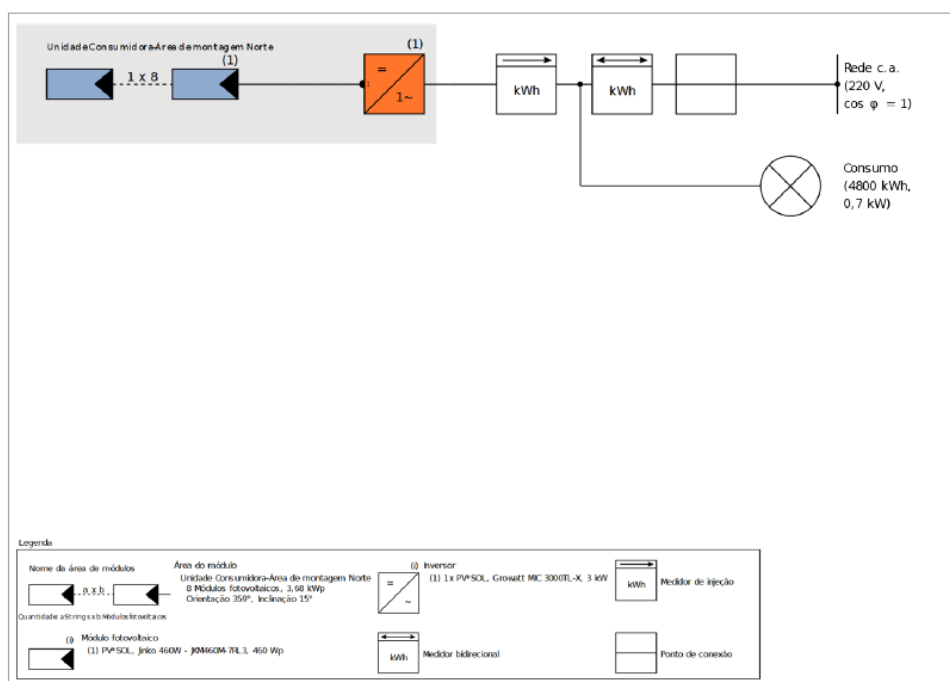


Figura 4-10 – Diagrama do Circuito Fonte: PV*SOL Simulação

4.2.4 DIAGRAMAS DE SANKEY (EFICIÊNCIA ENERGÉTICA)

A eficiência energética do sistema fotovoltaico dimensionado considera as perdas pelo nível de irradiância, perdas por mismatch, perdas ôhmicas, perdas por temperatura, perdas do inversor durante a operação e por oversizing. O software utilizado para a simulação revelou o valor dessas perdas em kWh que são ilustradas no Diagrama de Sankey da Figura 4-11. O diagrama mostra um resultado sobre a energia teórica e a real (PR) de 81%, considerado ótimo ratio para um dimensionamento.

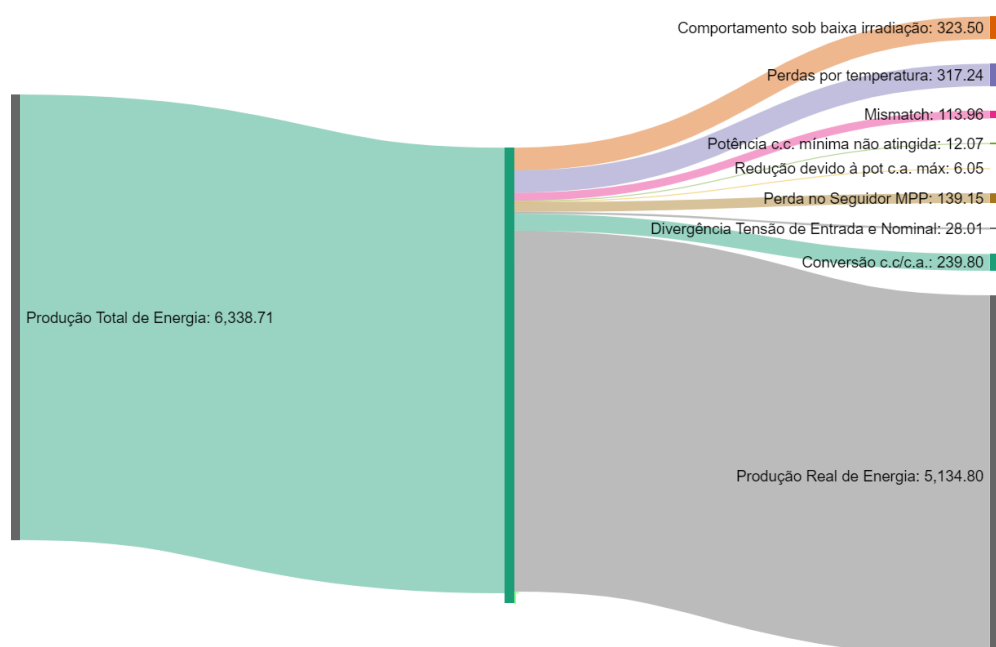


Figura 4-11 - Diagrama de Sankey de Eficiência Energética

Após o levantamento das cargas da residência, foi possível identificar a destinação da energia elétrica para a utilização dessas cargas. O chuveiro e o ar-condicionado representaram cerca de 77% do gasto mensal da unidade devido suas altas potências. O Diagrama de Sankey da Figura 4-12 mostra essa destinação em kWh.

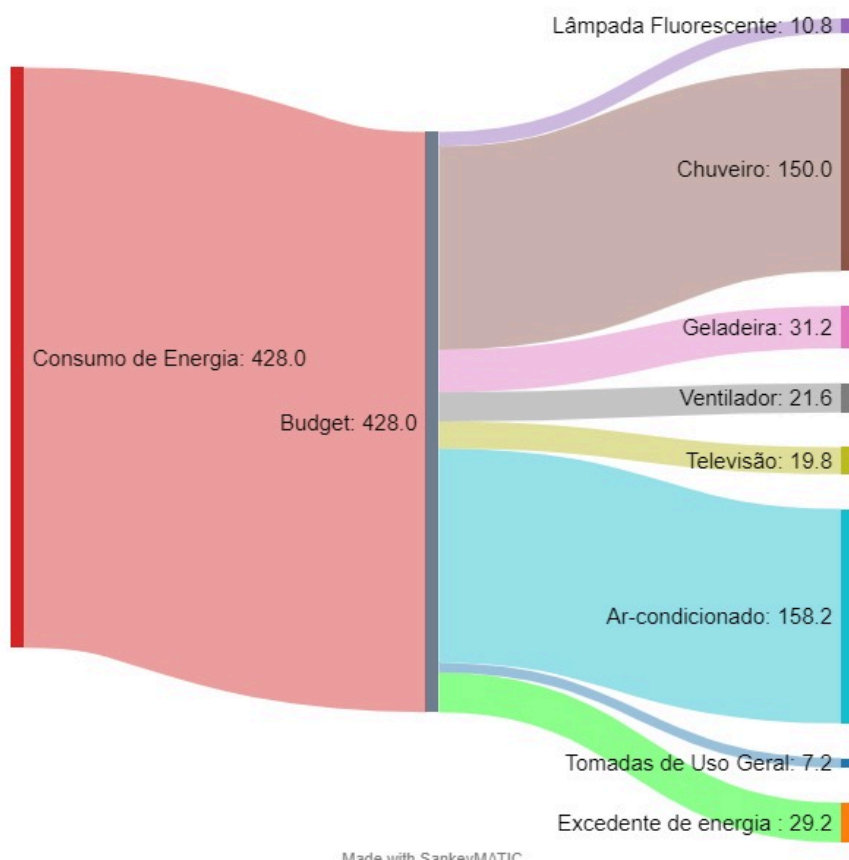


Figura 4-12 - Diagrama de Sankey do Consumo Energético.

4.2.5 MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (ALTERNATIVA)

Conforme mostrado no Diagrama de Sankey da Figura 4-12, 35% da energia produzida, seria consumida pelo chuveiro elétrico, uma alternativa que traria mais eficiência energética para essa residência seriam os Coletores Solares adicionalmente aos painéis exclusivamente para o consumo de água quente dos chuveiros. Adicionalmente aos painéis para gerar energia elétrica, a instalação dos coletores aumentaria a eficiência energética do projeto consideravelmente.

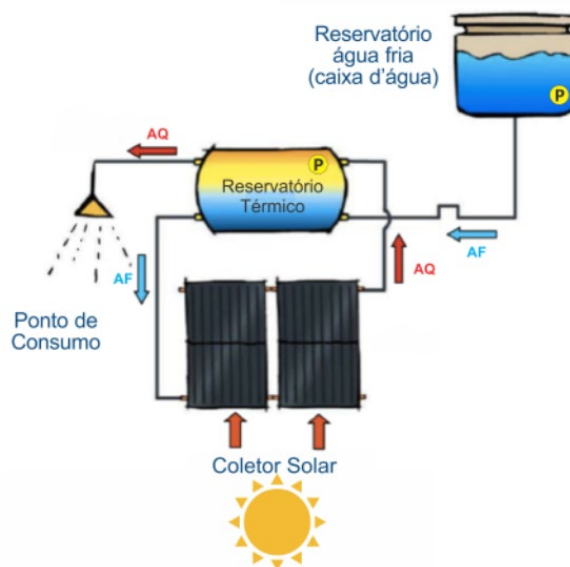


Figura 4-13 – Coletor solar (efeito termossifão) Fonte: WG Sol

As placas coletoras absorvem a radiação solar. Parte dessa radiação é convertida em energia térmica e utilizada para aquecer a água, que é armazenada em um reservatório. Em sistemas convencionais a água circula entre o reservatório e os coletores solares, como mostra a figura. Esse sistema é chamado de termossifão. A água quente é menos densa logo ficará na superfície, já a água mais densa ficará no fundo (a água fria), gerando a circulação. Esse sistema é também conhecido como circulação natural.

Se os coletores colares fossem instalados adicionalmente ao string de painéis fotovoltaicos mostrados nesse projeto sua eficiência energética iria ultrapassar 95%, considerando o Diagrama de Sankey da Figura 4-12.

5. ANÁLISE ECONÔMICA E FINANCEIRA

Os custos dos projetos compreendem o investimento e os gastos para manter o sistema em pleno funcionamento. Foi considerado que apenas no primeiro ano do sistema haverá investimento, que é destinado à contratação da mão de obra para instalação e à aquisição dos equipamentos. Os custos operacionais para manutenção básica, como a limpeza dos painéis por exemplo, foram estimados em 1% do valor total do projeto e com uma inflação de 6,5% anual.

A economia financeira obtida através do sistema fotovoltaico é calculada através da multiplicação entre a geração energética anual e a tarifa de energia elétrica. A cidade de

Cordeiro possui uma tarifa para unidades residenciais urbanas do Grupo B de R\$1,25, incluindo impostos, para cada kWh consumido e foi considerado uma inflação de 6,5% anual sobre essa tarifa. Além disso, é levado em conta a redução de eficiência dos painéis fotovoltaicos ao longo dos anos. A partir desses dados é possível obter uma estimativa do fluxo de caixa anual e acumulado do projeto que pode ser vista na Tabela 5-5.

O retorno do investimento, calculado através da razão entre o valor total do investimento e a economia financeira anual, contando com os índices de inflação mencionados, aconteceria em 2,6 anos.

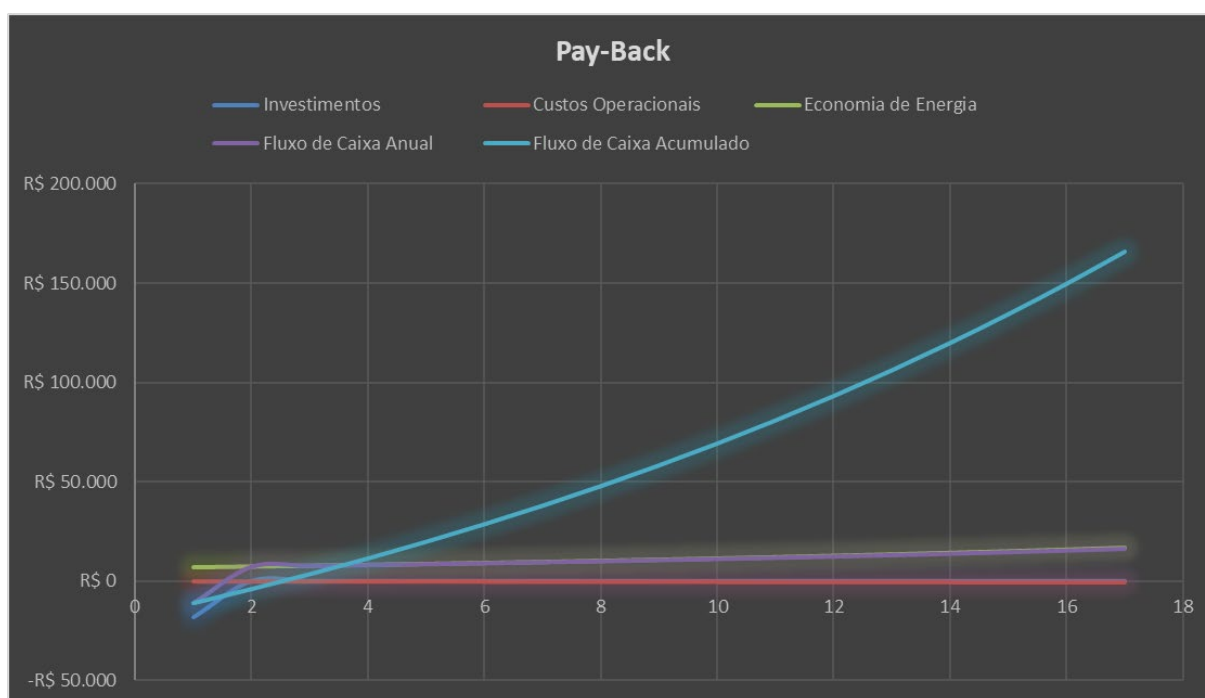


Figura 5-14 - Payback do Projeto de acordo com o total investido . Fonte: Simulação PV*Sol

5.1 ANÁLISE DE CUSTOS DO PROJETO

Para descobrir o custo total do projeto é necessário considerar o valor para aquisição dos equipamentos e o valor referente à mão de obra. A cotação do sistema de 3,22 kWp, contendo inversor, painéis, cabos para corrente contínua, quadros de proteção, estrutura de fixação para telhado e conectores, resultou no valor de R\$11.720,00 e foi encontrada no maior fornecedor de equipamentos fotovoltaicos do Brasil.

Para o cálculo da mão de obra, considerou-se que todos os custos para execução da instalação, homologação, emissão de ART e todos os demais itens para viabilizar a usina seriam equivalentes a 55% do valor dos equipamentos, cerca de R\$6446,00, que é uma média praticada pelos prestadores de serviço desse segmento. Logo, o valor total projeto seria de R\$18166,00.

5.2 PODER DE COMPRA X RENDA FAMILIAR BRASILEIRA

De acordo com o IBGE, a Rendimento nominal mensal domiciliar per capita da população residente no Estado do Rio de Janeiro em 2020 foi de R\$1.723,00 por pessoa. Logo, ao considerar que para a residência familiar escolhida para o projeto possui quatro integrantes, das quais apenas três trabalham, o rendimento mensal seria de R\$5.169,00.

Tabela 5-5 - Fluxo de Caixa do Projeto

Ano	Investimentos	Custos Operacionais	Economia de Energia	Fluxo de Caixa Anual	Fluxo de Caixa Acumulado
Ano 1	-R\$ 18.166	-R\$ 182	R\$ 6.915	-R\$ 11.432,82	-R\$ 11.432,82
Ano 2	0	-R\$ 193	R\$ 7.305	R\$ 7.112,83	-R\$ 4.319,99
Ano 3	0	-R\$ 204	R\$ 7.718	R\$ 7.514	R\$ 3.194
Ano 4	0	-R\$ 216	R\$ 8.154	R\$ 7.938	R\$ 11.131
Ano 5	0	-R\$ 229	R\$ 8.614	R\$ 8.385	R\$ 19.517
Ano 6	0	-R\$ 243	R\$ 9.101	R\$ 8.858	R\$ 28.374
Ano 7	0	-R\$ 258	R\$ 9.615	R\$ 9.357	R\$ 37.732
Ano 8	0	-R\$ 273	R\$ 10.158	R\$ 9.885	R\$ 47.617
Ano 9	0	-R\$ 290	R\$ 10.732	R\$ 10.442	R\$ 58.059
Ano 10	0	-R\$ 307	R\$ 11.338	R\$ 11.031	R\$ 69.090
Ano 11	0	-R\$ 325	R\$ 11.978	R\$ 11.653	R\$ 80.743
Ano 12	0	-R\$ 345	R\$ 12.655	R\$ 12.310	R\$ 93.053
Ano 13	0	-R\$ 366	R\$ 13.370	R\$ 13.004	R\$ 106.057
Ano 14	0	-R\$ 387	R\$ 14.125	R\$ 13.737	R\$ 119.794
Ano 15	0	-R\$ 411	R\$ 14.922	R\$ 14.512	R\$ 134.306
Ano 16	0	-R\$ 435	R\$ 15.765	R\$ 15.330	R\$ 149.636
Ano 17	0	-R\$ 461	R\$ 16.656	R\$ 16.194	R\$ 165.830
Ano 18	0	-R\$ 489	R\$ 17.596	R\$ 17.107	R\$ 182.937
Ano 19	0	-R\$ 519	R\$ 18.590	R\$ 18.072	R\$ 201.009
Ano 20	0	-R\$ 550	R\$ 19.640	R\$ 19.091	R\$ 220.100
Ano 21	0	-R\$ 583	R\$ 20.749	R\$ 20.167	R\$ 240.266
Ano 22	0	-R\$ 618	R\$ 21.921	R\$ 21.304	R\$ 261.570

De acordo com o Payback simples, o projeto se pagaria entre os anos 2 e 3, mas ainda deve ser lçevada em consideração a taxa de juros do financiamento para instalação que gira em torno de 2% em que varia de 3 a 10 anos.

Tabela 5-6 - Financiamento do investimento

FINANCIAMENTO		
Taxa de Juros (%)	Nº de Parcelas	Parcelas
2,00	120	-R\$ 400,53
2,00	72	-R\$ 478,25
2,00	60	-R\$ 522,60
2,00	48	-R\$ 592,24
2,00	36	-R\$ 712,70

No caso estudado, o financiamento em 36 meses teria uma parcela de R\$ 712,00, mas a renda familiar líquida descontado os impostos (ex: INSS, IRRF) seriam de aproximadamente R\$ 4293,55. A parcela representaria uma fatia de 16% da renda líquida familiar.

Dados		
Salário Bruto	Dependentes	Dedução Dependentes
R\$ 5.169,00	2	R\$ 379,18
Evento	Vencimentos	Descontos
Salário Bruto	R\$ 5.169,00	
INSS - 11 %		R\$ 559,84
Imposto - 6 %		R\$ 315,62
Pensão Alimentícia		R\$ 0,00
Plano Odontológico		R\$ 0,00
Plano de Saúde		R\$ 0,00
Ticket Alimentação		R\$ 0,00
Outros Descontos		R\$ 0,00
Totais	R\$ 5.169,00	R\$ 875,45
Salário Líquido		
R\$ 4.293,55		

Figura 5-15 – Renda líquida média familiar. Fonte: Autor

De acordo com o IBGE, a renda média do brasileiro recuou 9% entre 2021 e 2022, acelerados pela pandemia do COVID-19, alto desemprego, cenário político brasileiro e alta inflação (quase 10% em 2021). Isso faz com que o poder de compra do brasileiro caia ainda mais e priorize gastos essenciais como habitação, alimentação e transporte, que somados corresponde a 70% do salário do brasileiro médio, conforme figura abaixo:

Gráfico 1. Distribuição das despesas de consumo da população urbana – Brasil – Período: 2017-2018.

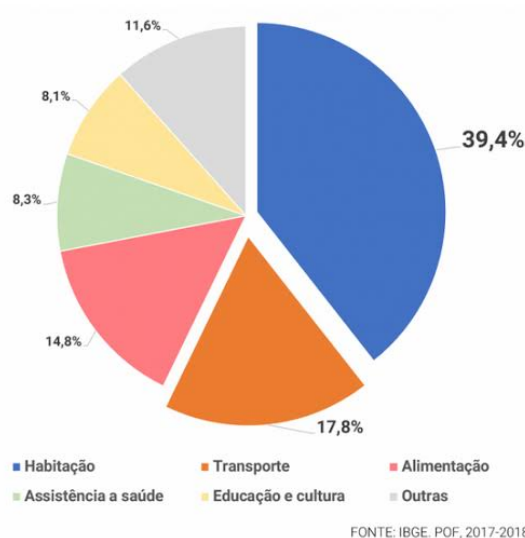


Figura 5-16 – Representação de gastos do brasileiro médio. Fonte : IBGE - 2018

Nesse caso, um investimento em um sistema fotovoltaico residencial se torna viável pela casa ser própria e quitada, o que libera financeiramente uma fatia considerável para esse investimento a curto prazo, mas não se aplica a maior parte dos brasileiros que pagam aluguel ou hipoteca, principalmente nos grandes centros urbanos, onde a maioria mora em apartamentos e conjuntos habitacionais, o que dificulta qualquer tipo de investimento nesse sentido pela burocracia para instalação.

6. CONCLUSÃO

O projeto fotovoltaico dimensionado para suprir a demanda energética de uma família regular brasileira, no qual a geração seria suficiente para reduzir até o valor mínimo da conta de luz, representaria um total de 3,076 de todo o rendimento mensal médio considerado. Conforme os resultados obtidos na simulação do sistema, seria possível obter a economia de R\$18166,00 no final do terceiro ano do investimento, valor superior ao que seria necessário para a aquisição do projeto.

Portanto, pode-se dizer que um projeto fotovoltaico com as condições geográficas de orientação e irradiação solar semelhantes ao que foi analisado é considerado um investimento seguro pelo seu curto tempo de pay-back e com rentabilidade acima da média na comparação com outros tipos de investimentos no Brasil. Apesar do valor do investimento não ser baixo, o alto valor da tarifa média de energia do Estado do Rio de Janeiro torna o sistema totalmente viável para a família regular brasileira. Mas não para uma família regular brasileira. Além disso, diversas financeiras e Bancos oferecem créditos específicos para esse tipo de investimento, evidenciando ainda mais todo o potencial de crescimento dessa tecnologia no país. Uma alternativa também seria instalar coletores solares, para dedicar o consumo dos chuveiros elétricos. Embora não muito difundido no Brasil ainda, ele seria um complemento ideal para aumentar a eficiência energética da residência.

No entanto, existem alguns entraves culturais quanto a utilização e o investimento em uma residência, tendo em vista que precisaria ser proprietário do imóvel para tamanho investimento. O uso em casa, que geralmente estão longe dos grandes centros urbanos são mais comuns. A aplicação em grandes centros como prédios residenciais é um entrave por se tornar mais complexa a implementação por questões regulatórias e de decisão comunitária dos moradores. A demora na regulamentação para instalações residenciais também atrasou o processo de matriz energética renovável solar para a grande massa uma vez que a falta de informação e leis adequadas causavam receios aos consumidores sobre o investimento.

Além disso precisa haver uma política pública mais ampla para todo sistema de GD do Brasil. Os destoantes números com potenciais paradoxais de potenciais para energia solar não são suficientes se a energia solar residencial não for uma opção, e não única alternativa.

Em suma, a viabilidade não pode se resumir a um recorte desse estudo uma vez que temos bastante variáveis que impactam como localidade, necessidades da família, perfil de gastos. Pelo tamanho continental do país, existe diferenças culturais e socioeconômicas de estado para estado, o que torna mais difícil tornar a viabilidade e decisão do investimento como regra para todos com a mesma condição. A viabilidade técnica existe, mas a econômica depende de muitos fatores para generalizar a todo Brasileiro.

7. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F. F. **O Método de Melhorias PDCA**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, 2003, 169 p.
- ANEEL. **Resolução Normativa ANEEL n. 482**, de 17 de abril de 2012. 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>
- ANEEL. **Resolução Normativa n. 481**, de 17 de Abril de 2012. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012481.pdf>
- ANEEL. **Resolução Normativa n. 414**, de 09 de setembro de 2010. 2010. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>
- ARVIZU, D., P. Balaya, V. Meleshko, W. Stein, Y. Tamaura, H. Xu, R. Zilles. **Energia solar direta. No Relatório Especial do IPCC sobre Fontes de Energia Renováveis e Mitigação das Mudanças Climáticas**. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova York, NY, EUA, 2011.
- BRADFORD, T. **Revolução Solar. A transformação econômica da indústria global de energia**. Cambridge, MA: The MIT Press, 2006.
- BRAGA, Renata Pereira. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações**. Rio de Janeiro: s.n., 2016.
- COSTA, Gilberto José Corrêa da. **Iluminação Econômica – Cálculo e Avaliação**. Editora Edipuc RS. 2008. Porto Alegre.
- COSTA, R. N. A. **Viabilidades Térmica, Econômica e de Materiais de um Sistema Solar de Aquecimento de Água a Baixo Custo para Fins Residenciais**. 78 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- COUTURE, T. & CORY, C. Projeto de Análise de Políticas de Energia Limpa do Estado (SCEPA): **Uma Análise das Tarifas de Alimentação Energética Renovável. Energia Renovável Nacional, Laboratory, Technical Report NREL / TP-6A2-45551**, Colorado.
- DESIRÉE, R.A. **Células fotovoltaicas orgânicas**. São Paulo: ed. FTD, 2011.
- EPE. **Plano Nacional de Energia PNE 2050**. Brasil, 2020.

- EPE. **Balço energético nacional até 2031** Rio de Janeiro - RJ, 2020.
- GREENPEACE, **Associação Europeia da Indústria de Energia Solar Térmica e SolarPACES. Energia solar térmica concentrada.** Genebra, 2011
- HADDAD, J. **Eficiência Energética – Teoria e Prática.** 1ª Edição, Eletrobrás/PROCEL Educação, UNIFEI, 2007.
- JORDAN, D. C. ; KURTZ, S. R. **Photovoltaic degradation rates - an analytical review,** NREL/JA-5200-51664. 2012 disponível em <http://www.osti.gov/bridge>
- KESHNER, M. S.; ARYA, R. **Study of potential cost reductions resulting from super large scale manufacturing of PV modules.** [S.l.], 2004. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy05osti/36846.pdf>
- HOFFMANN, W. **PV solar electricity industry: Market growth and perspective.** *Solar Energy Materials & Solar Cells*, v. 90, p. 3285{3311, 2006.
- NEMET, G. F. **Interim monitoring of cost dynamics for publicly supported energy technologies.** *Energy Policy*, v. 37, n. 3, p. 825{835, mar. 2009. ISSN 03014215. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421508005910>
- LIMA, Danilo Brito. **Guia de constituição de cooperativas de geração distribuída fotovoltaica.** 2018. Disponível em <http://www.somoscooperativismo.coop.br/publicacao/33/guia-de-constituicao-decooperativas-de-geracao-distribuida-fotovoltaica>>. Acesso em 26/05/2020..
- MME; EPE. **Anuário estatístico de energia elétrica 2020.** [S.l.], 2020. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>
- MME; EPE. **PNE 2021 - Plano de Expansão de Energia ODE 2031 - Cadernos temáticos 2008 - v.2. Projeções.** Brasília, 2021
- MME; EPE. **Decanário estatístico de energia elétrica 2020.**
- MME - Ministério de Minas e Energia. **Balço Energético Nacional 2016: Ano base 2015 /** Empresa de Pesquisa Energética.
Rio de Janeiro: EPE, 2016

MARINHO, M. H. N.; AQUINO, R. R. B. Oferta de energia através da complementariedade sazonal hidro-eólica. PCH Notícias & SHP NEWS, n. 40, p. 36{42, 2009. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/artigos/oferta-energia-atraves-complementariedade-sazonal-hidro-eolica.html> http://www.cerpch.unifei.edu.br/exibirn_rev.php?id=40

MENDONÇA, M.; JACOBS, K. **Tarifas de alimentação global: Política na prática.** *Renewable Energy World Magazine*, vol. 12, n. 4, pp, 2009.

NASCIMENTO, Alan. **Análise do uso da tecnologia LED na iluminação pública: estudo das perspectivas de aplicação na cidade de São Paulo.** 2012. 206 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal do ABC, Santo André, 2012.

PINHO, J. & GALDINO, M. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** CEPTEL – CRESESB, Rio de Janeiro, 2014.

PROCEL. Iluminação Pública. 2017. Disponível em < <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BCC4A0FEF-A8D7-41C0-BC18-66507F3192F8%7D&Team=%C2%B6ms=itemID=%257%E2%80%8BBD72C274C-52A8-4CEDB954-02556F4BC6AF%7D> >. Acesso em 27/10/2020.

PROCEL. **Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes.** 2010. Disponível em < <http://www.procelinfo.com.br/data/Pages/LUMIS623FE2A5ITEMID6C524BD8642240ECADE7DEF8CD7A8C0D9PTBRIE.htm> >. Acesso em 25/09/2020.

SHELL. **Cenário de energia da Shell até 2050.** Londres, 2008.

TESKE, S. **Revolução Energética: Uma Perspectiva Mundial da Energia Sustentável.** Greenpeace Internacional e Conselho Europeu de Energia Renovável, 2010.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica - Conceitos e Aplicações.** 2. ed. São Paulo: Editora Érica. 2015.

WOMACK, J. P. **A mentalidade enxuta nas empresas Lean Thinking – Elimine o desperdício e crie riqueza.** Rio de Janeiro, 2008.

IBGE. Censo Demográfico 2018. Rio de Janeiro, 2018.

PEREIRA, E.B.P. Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2 Edição. São José dos Campos: INPE, 2017

POPONI, D. **Analysis of diffusion paths for photovoltaic technology based on experiences curves.** Solar Energy, v. 74, p. 331{340, 2003.}

YU, C.; SARK, W. van; ALSEMA, E. Unraveling the photovoltaic technology learning curve by incorporation of input price changes and scale effects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, 104 Referências n. 1, p. 324{337, jan. 2011. ISSN 13640321. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032110002881>

WWF-BRASIL. **Além de grandes hidrelétricas - Sumário para tomadores de decisão.** [S.l.], 2012. 44 p. Disponível em: <http://www.wwf.org.br/?32143>

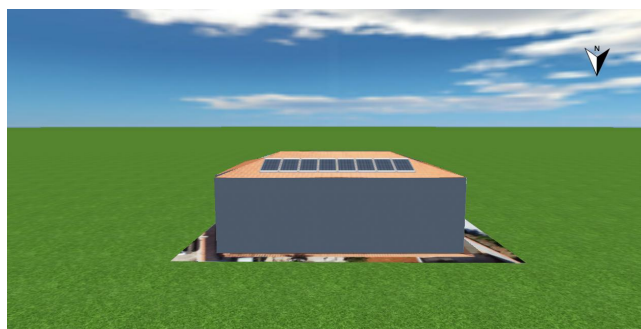
8 ANEXOS

02/05/2022

Seu sistema fotovoltaico

Endereço da instalação

Cordeiro RJ



Descrição do projeto:

Estudo de Caso - Residência com consumo mensal médio de 400kWh

Vista geral do projeto

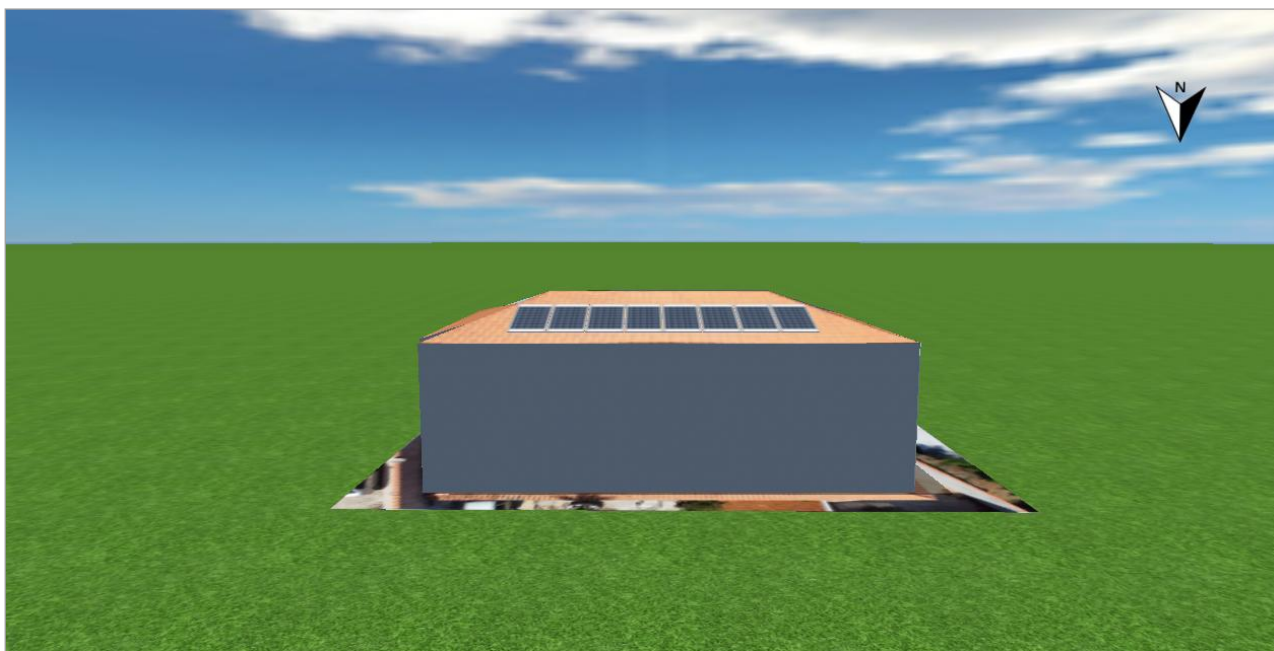


Figura: Imagem panorâmica, Modelagem 3D

Sistema fotovoltaico

3D, Sistema fv conectado à rede com consumo

Dados climáticos	Cantagalo, BRA (1981 - 1990)
Potência do gerador fotovoltaico	3,68 kWp
Area do gerador fotovoltaico	18,0 m ²
Quantidade de módulos	8
Quantidade de inversores	1

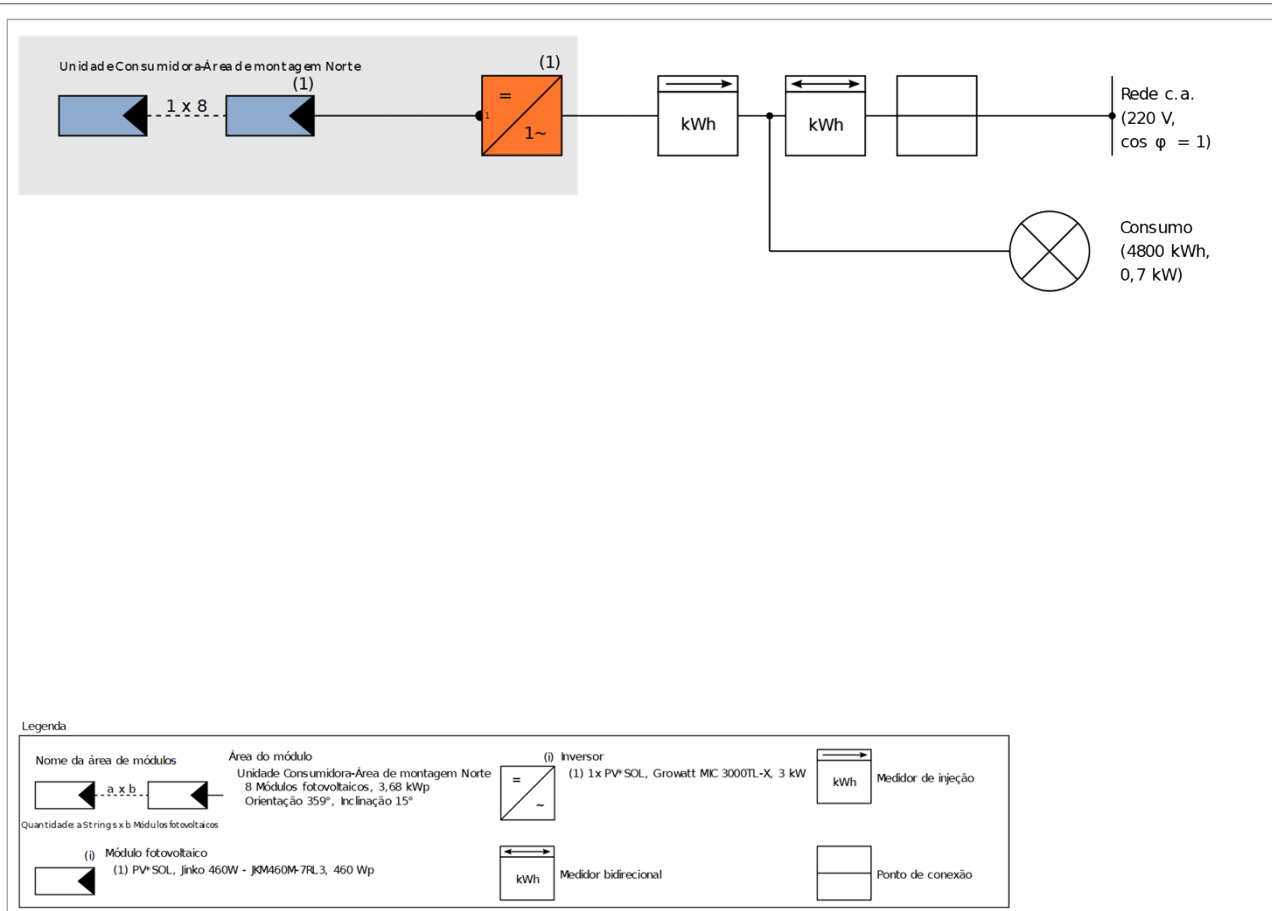


Figura: Esquema elétrico

O rendimento

O rendimento

Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	5.159 kWh
Autoconsumo direto	1.971 kWh
Injeção na rede	3.188 kWh
Limitação no ponto de injeção	0 kWh
Autoconsumo	38,2 %
Fração solar	40,9 %
Rendimento anual específico	1.401,88 kWh/kWp
Desempenho do sistema (PR)	80,0 %
Diminuição do rendimento por sombreamento	0,0 %/Ano
Emissões de CO ₂ evitadas	3.095 kg/ano

Análise financeira

Seus lucros

Investimento total	18.166,00 R\$
Taxa interna de retorno	38,38 %
Prazo de amortização	3,0 Anos
Custos de geração da energia	0,19 R\$/kWh
Balanço / Conceito de injeção	Net-Metering

Os resultados foram determinados com base em um modelo de cálculo matemático da Valentin Software GmbH (algoritmos PV*SOL). Os rendimentos efetivos do sistema de energia solar podem variar em função de oscilações meteorológicas, da eficiência dos módulos e dos inversores, e outros fatores.

Configuração do sistema

Vista geral

Dados do sistema

Tipo de sistema	3D, Sistema fv conectado à rede com consumo
Início da operação	10/03/2022

Dados climáticos

Local	Cantagalo, BRA (1981 - 1990)
Resolução dos dados	1 h
Modelos de simulação utilizados:	
- Irradiação difusa no plano horizontal	Hofmann
- Irradiação sobre o plano inclinada	Hay & Davies

Consumo

Consumo total	4800 kWh
Novo	4800 kWh
Carga máxima	0,7 kW

Áreas do módulo

1. Área do módulo - Unidade Consumidora-Área de montagem Norte

Gerador fotovoltaico, 1. Área do módulo - Unidade Consumidora-Área de montagem Norte

Nome	Unidade Consumidora-Área de montagem Norte
Módulos fotovoltaicos	8 x Jinko 460W - JKM460M-7RL3
Fabricante	PV*SOL
Inclinação	15 °
Orientação	Norte 359 °
Situação de montagem	Paralelo ao telhado - boa ventilação traseira
Area do gerador fotovoltaico	18,0 m ²



Figura: 1. Área do módulo - Unidade Consumidora-Área de montagem Norte

Linha do horizonte, Modelagem 3D

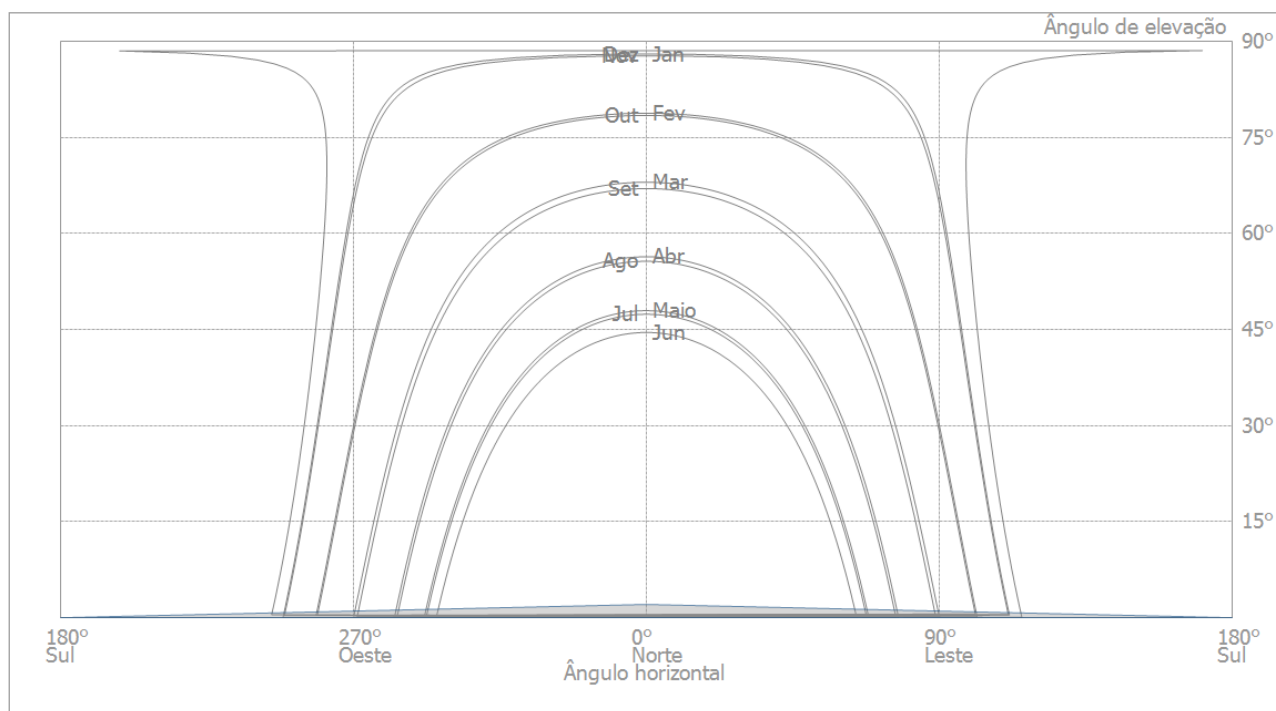


Figura: Horizonte (Modelagem 3D)

Configuração do inversor

Configuração 1

Área do módulo	Unidade Consumidora-Área de montagem Norte
Inversor 1	
Fabricante	PV*SOL
Modelo	Growatt MIC 3000TL-X
Quantidade	1
Fator dimensionamento	122,7 %
Configuração	PMP 1: 1 x 8

Rede c.a.

Rede c.a.

Quantidade de fases	2
Tensão da rede (monofásica)	220 V
Fator de potência (cos phi)	+/- 1

Resultados da simulação

Resultados Sistema completo

Sistema fotovoltaico

Potência do gerador fotovoltaico	3,7 kWp
Rendimento anual específico	1.401,88 kWh/kWp
Desempenho do sistema (PR)	80,0 %
Diminuição do rendimento por sombreamento	0,0 %/Ano
Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	5.159 kWh/Ano
Limitação no ponto de injeção	0 kWh/Ano
Emissões de CO ₂ evitadas	3.095 kg/ano

Consumidores

Consumidores	4.800 kWh/Ano
Consumo em espera (Inversor)	24 kWh/Ano
Consumo total	4.824 kWh/Ano
Excedente de energia	334,8 kWh
Fração solar	106,9 %

Gráfico do fluxo de energia

Projeto: Simulação para TESE

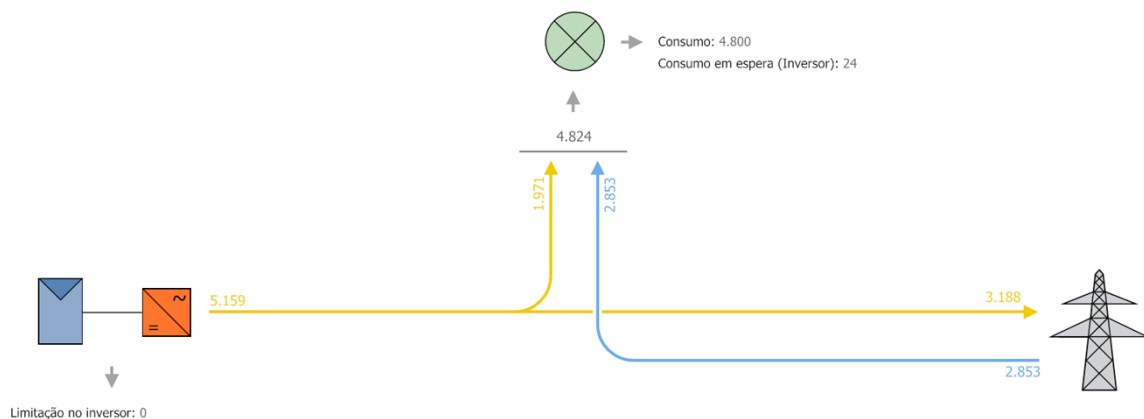


Figura: Gráfico do fluxo de energia

Análise financeira

Vista geral

Dados do sistema

Energia do gerador fotovoltaico (rede c.a.)	5.159 kWh/Ano
Potência do gerador fotovoltaico	3,7 kWp
Início da operação do sistema	10/03/2022
Prazo do projeto	25 Anos
Juro do capital	1 %

Parâmetros econômicos

Taxa interna de retorno	38,38 %
Fluxo de caixa acumulado	301.493,01 R\$
Prazo de amortização	3,0 Anos
Custos de geração da energia	0,19 R\$/kWh

Vista geral de pagamentos

Investimento específico	4.936,41 R\$/kWp
Custos de investimento	18.166,00 R\$
Pagamentos únicos	0,00 R\$
Subsídios	0,00 R\$
Custos anuais	181,66 R\$/Ano
Outros lucros ou economias	0,00 R\$/Ano

Remuneração e Economia

Remuneração total no primeiro ano	0,00 R\$/Ano
Economia no primeiro ano	6.000,00 R\$/Ano

Enel B1 (ENEL RJ)

Tarifa da energia	1,25 R\$/kWh
Remuneração por excedente	0,00 R\$/kWh
Inflação da tarifa de energia	6.5 %/Ano

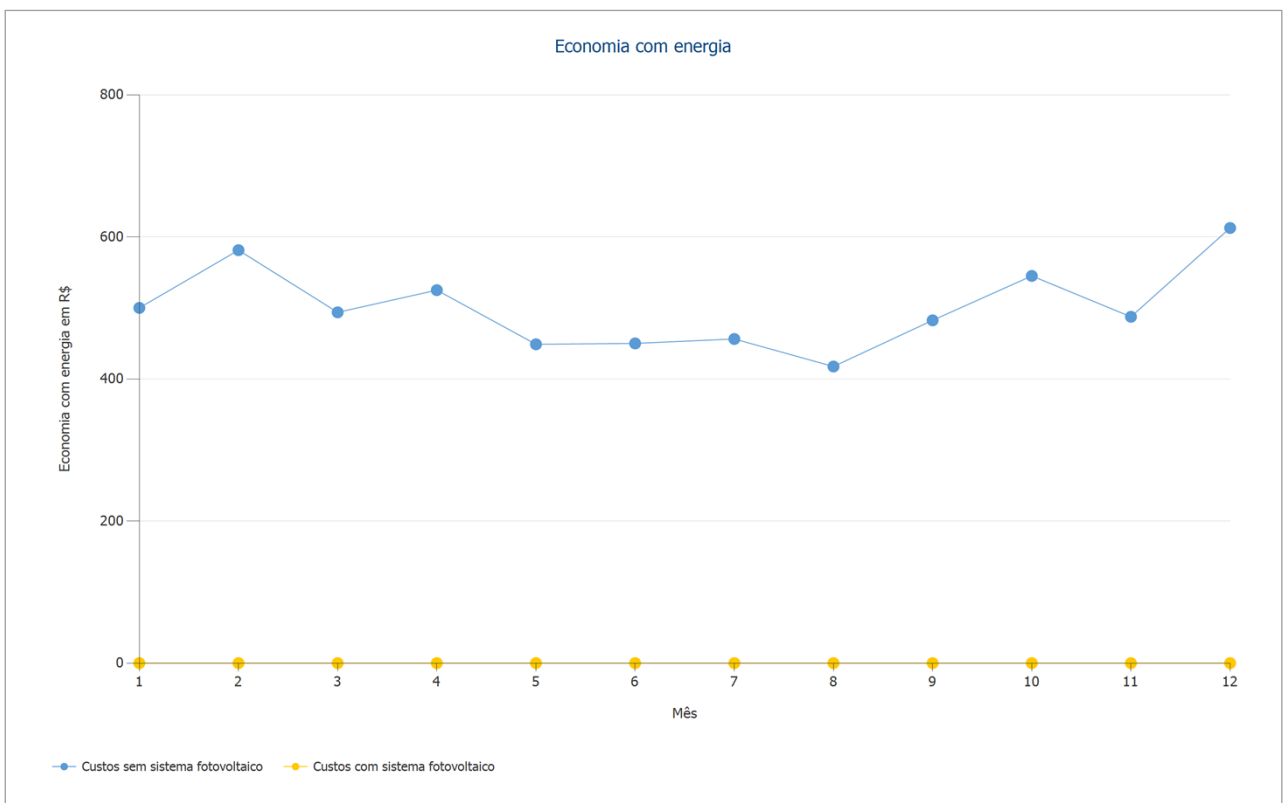


Figura: Economia com energia

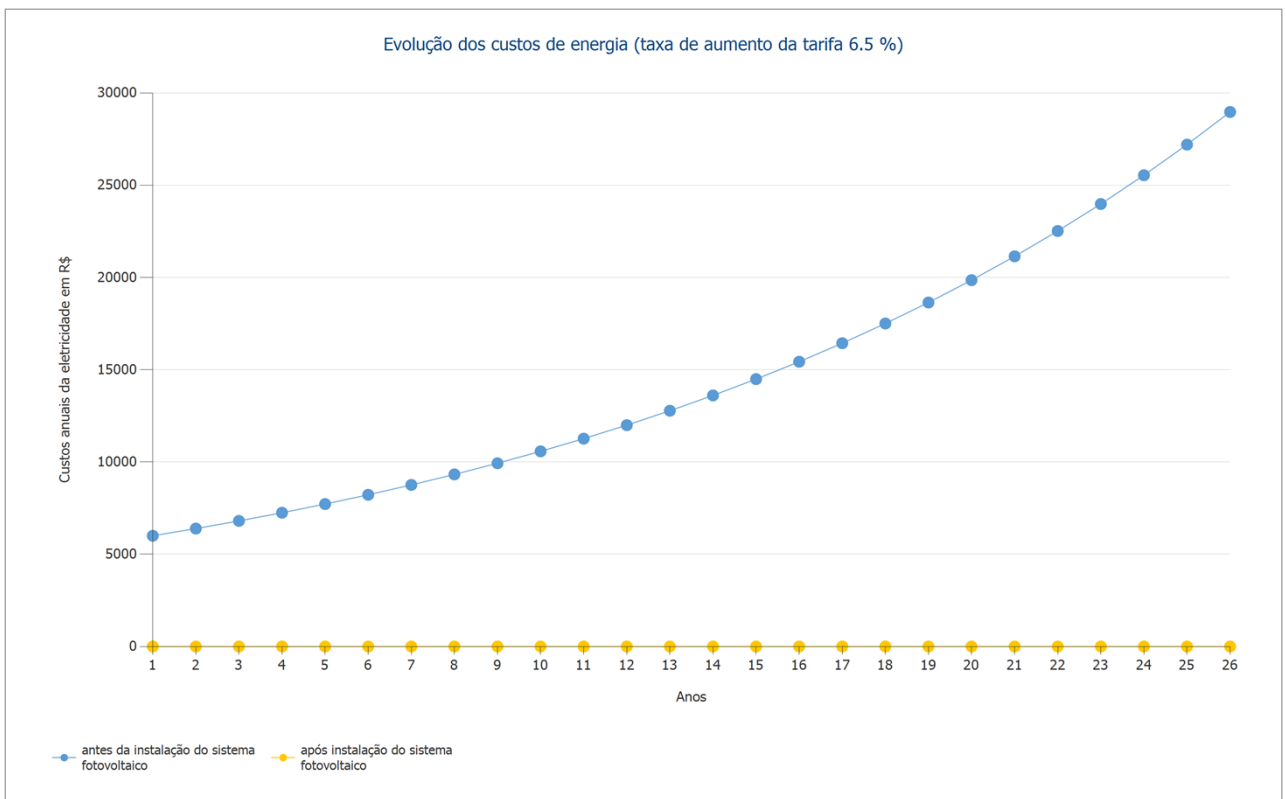


Figura: Evolução dos custos de energia (taxa de aumento da tarifa 6.5 %)

Fluxo de caixa

Tabela Fluxo de Caixa

	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Investimentos	-R\$ 18.166,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Custos operacionais	-R\$ 179,86	-R\$ 178,08	-R\$ 176,32	-R\$ 174,57	-R\$ 172,84
Economia de energia	R\$ 5.796,87	R\$ 6.264,09	R\$ 6.605,21	R\$ 6.964,90	R\$ 7.344,17
Fluxo de caixa anual	-R\$ 12.548,99	R\$ 6.086,01	R\$ 6.428,89	R\$ 6.790,33	R\$ 7.171,33
Fluxo de caixa acumulado	-R\$ 12.548,99	-R\$ 6.462,98	-R\$ 34,09	R\$ 6.756,23	R\$ 13.927,56

	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Investimentos	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Custos operacionais	-R\$ 171,13	-R\$ 169,44	-R\$ 167,76	-R\$ 166,10	-R\$ 164,45
Economia de energia	R\$ 7.744,10	R\$ 8.165,81	R\$ 8.610,48	R\$ 9.079,37	R\$ 9.573,79
Fluxo de caixa anual	R\$ 7.572,97	R\$ 7.996,37	R\$ 8.442,73	R\$ 8.913,27	R\$ 9.409,33
Fluxo de caixa acumulado	R\$ 21.500,53	R\$ 29.496,90	R\$ 37.939,62	R\$ 46.852,90	R\$ 56.262,23

	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15
Investimentos	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Custos operacionais	-R\$ 162,83	-R\$ 161,21	-R\$ 159,62	-R\$ 158,04	-R\$ 156,47
Economia de energia	R\$ 10.095,13	R\$ 10.644,87	R\$ 11.224,54	R\$ 11.835,78	R\$ 12.480,30
Fluxo de caixa anual	R\$ 9.932,31	R\$ 10.483,66	R\$ 11.064,92	R\$ 11.677,74	R\$ 12.323,83
Fluxo de caixa acumulado	R\$ 66.194,54	R\$ 76.678,20	R\$ 87.743,12	R\$ 99.420,86	R\$ 111.744,69

	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20
Investimentos	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Custos operacionais	-R\$ 154,92	-R\$ 153,39	-R\$ 151,87	-R\$ 150,37	-R\$ 148,88
Economia de energia	R\$ 13.159,92	R\$ 13.876,55	R\$ 14.632,20	R\$ 15.429,01	R\$ 16.269,20
Fluxo de caixa anual	R\$ 13.005,00	R\$ 13.723,16	R\$ 14.480,33	R\$ 15.278,64	R\$ 16.120,33
Fluxo de caixa acumulado	R\$ 124.749,69	R\$ 138.472,85	R\$ 152.953,19	R\$ 168.231,83	R\$ 184.352,15

	Ano 21	Ano 22	Ano 23	Ano 24	Ano 25
Investimentos	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Custos operacionais	-R\$ 147,40	-R\$ 145,94	-R\$ 144,50	-R\$ 143,07	-R\$ 141,65
Economia de energia	R\$ 17.155,15	R\$ 18.089,34	R\$ 19.074,40	R\$ 20.113,11	R\$ 21.208,38
Fluxo de caixa anual	R\$ 17.007,75	R\$ 17.943,40	R\$ 18.929,90	R\$ 19.970,04	R\$ 21.066,73
Fluxo de caixa acumulado	R\$ 201.359,90	R\$ 219.303,30	R\$ 238.233,20	R\$ 258.203,24	R\$ 279.269,97

	Ano 26
Investimentos	R\$ 0,00
Custos operacionais	-R\$ 140,25
Economia de energia	R\$ 22.363,29
Fluxo de caixa anual	R\$ 22.223,04
Fluxo de caixa acumulado	R\$ 301.493,01

As taxas de depreciação e aumento de preço são aplicadas mensalmente sobre todo o prazo do projeto, começando logo no primeiro ano.

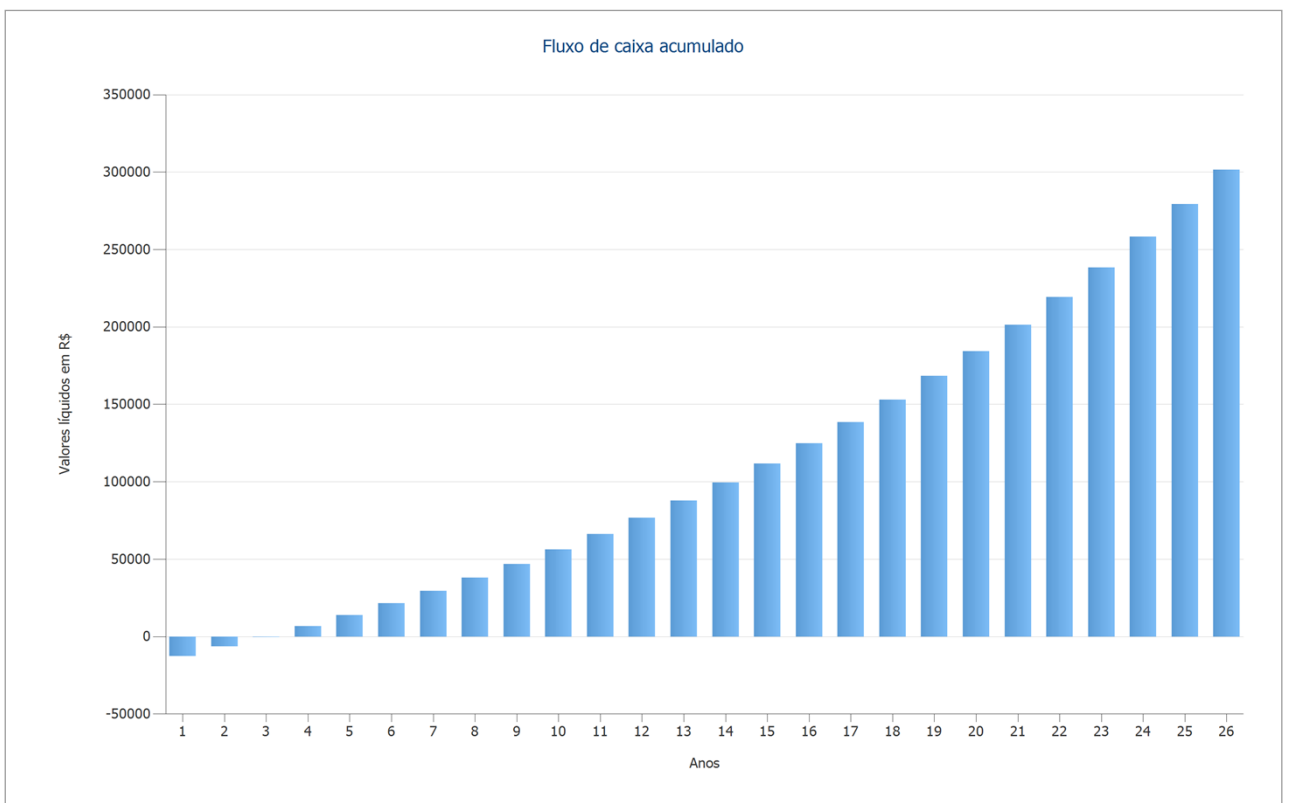


Figura: Fluxo de caixa acumulado

Conta de energia

Conta de energia

Nome	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Consumo	400,00	465,00	395,00	420,00	359,00	360,00
Produção de energia	492,55	484,21	457,23	413,69	381,04	351,02
Produção de energia (incl. Degradação do módulo)	492,55	484,21	457,23	413,69	381,04	351,02
Saldo	-92,55	-19,21	-62,23	6,31	-22,04	8,98

Economia	400,00	465,00	395,00	420,00	359,00	360,00
Valores em kWh						

Custos sem sistema fotovoltaico	500,00	581,25	493,75	525,00	448,75	450,00
Custos com sistema fotovoltaico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Economia	500,00	581,25	493,75	525,00	448,75	450,00
Valores em R\$						

Nome	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Consumo	365,00	334,00	386,00	436,00	390,00	490,00
Produção de energia	383,64	441,19	422,70	437,06	397,11	473,36
Produção de energia (incl. Degradação do módulo)	383,64	441,19	422,70	437,06	397,11	473,36
Saldo	-18,64	-107,19	-36,70	-1,06	-7,11	16,64

Economia	365,00	334,00	386,00	436,00	390,00	490,00
Valores em kWh						

Custos sem sistema fotovoltaico	456,25	417,50	482,50	545,00	487,50	612,50
Custos com sistema fotovoltaico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Economia	456,25	417,50	482,50	545,00	487,50	612,50
Valores em R\$						

Nome	Soma
Consumo	4800,00
Produção de energia	5134,79
Produção de energia (incl. Degradação do módulo)	5134,79
Saldo	-334,79

Economia	4800,00
Valores em kWh	

Custos sem sistema fotovoltaico	6000,00
Custos com sistema fotovoltaico	0,00
Economia	6000,00
Valores em R\$	

As taxas de degradação e aumento de preço são aplicadas mensalmente sobre todo o prazo do projeto, começando logo no primeiro ano.

Planos

Diagrama do circuito

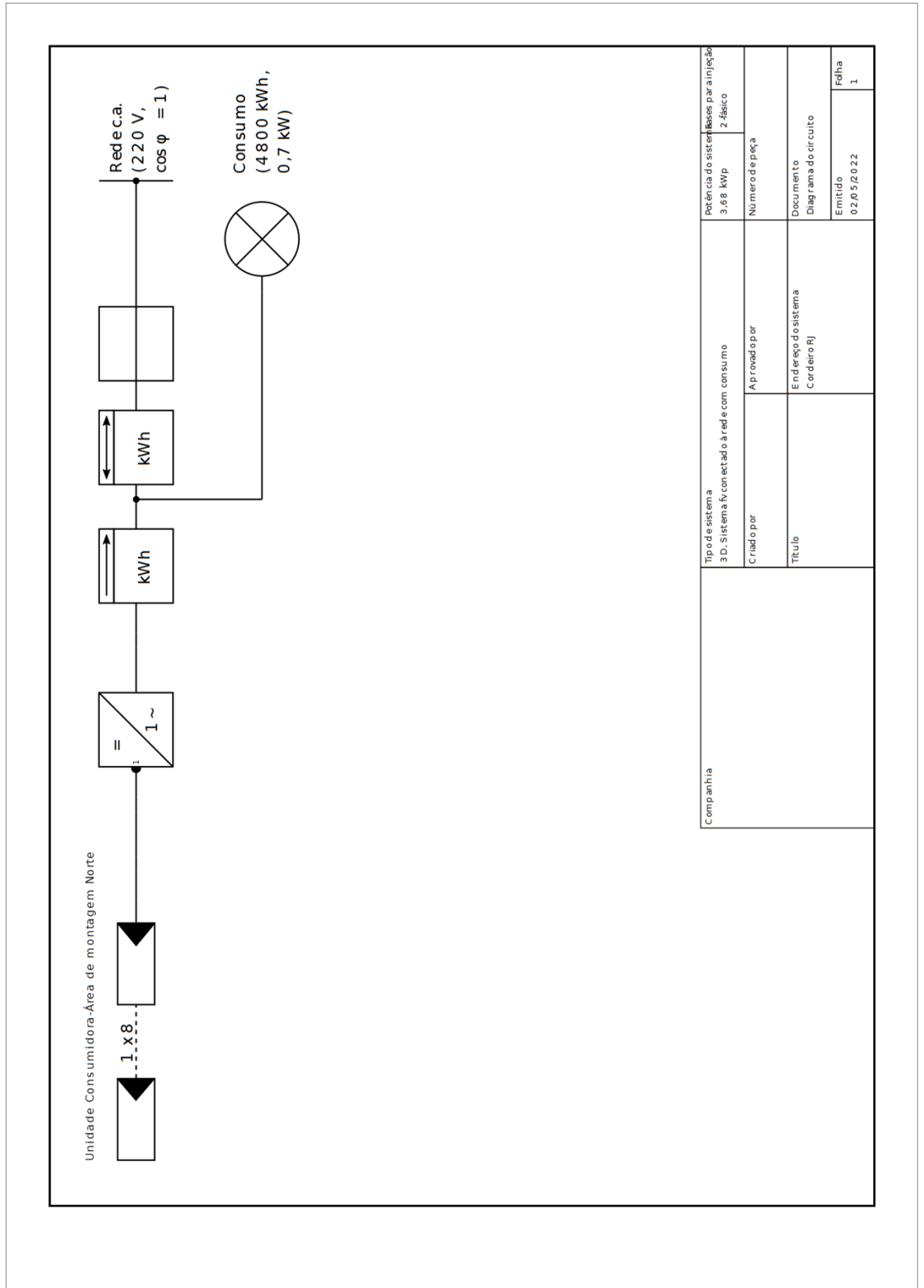


Figura: Diagrama do circuito

Planta das dimensões

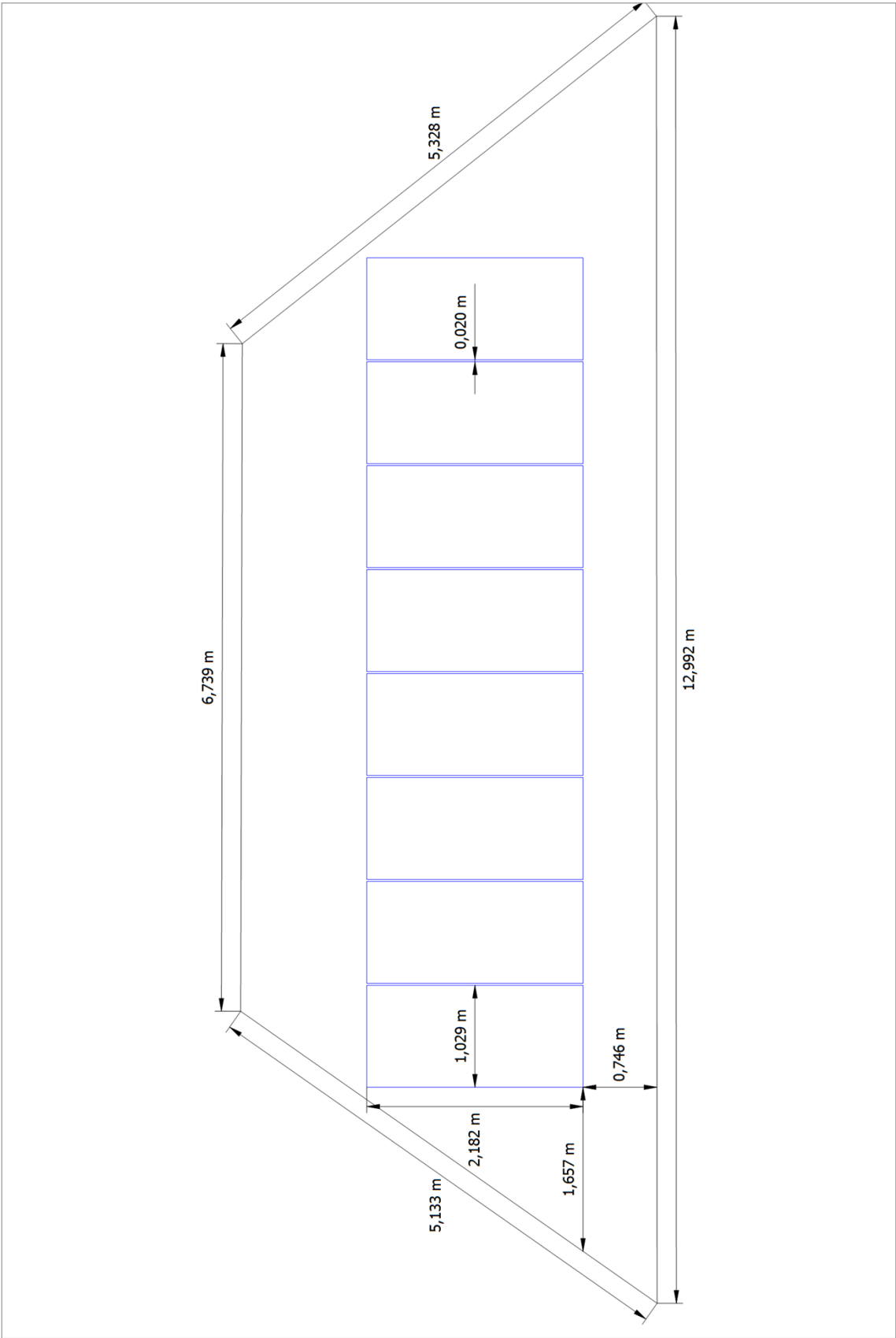


Figura: Unidade Consumidora-Área de montagem Norte

Ano	Investimentos	Custos Operacionais	Economia de Energia	Fluxo de Caixa Anual	Fluxo de Caixa Acumulado
Ano 1	-R\$ 18.166	-R\$ 182	R\$ 6.915	-R\$ 11.432,82	-R\$ 11.432,82
Ano 2	0	-R\$ 193	R\$ 7.305	R\$ 7.112,83	-R\$ 4.319,99
Ano 3	0	-R\$ 204	R\$ 7.718	R\$ 7.514	R\$ 3.194
Ano 4	0	-R\$ 216	R\$ 8.154	R\$ 7.938	R\$ 11.131
Ano 5	0	-R\$ 229	R\$ 8.614	R\$ 8.385	R\$ 19.517
Ano 6	0	-R\$ 243	R\$ 9.101	R\$ 8.858	R\$ 28.374
Ano 7	0	-R\$ 258	R\$ 9.615	R\$ 9.357	R\$ 37.732
Ano 8	0	-R\$ 273	R\$ 10.158	R\$ 9.885	R\$ 47.617
Ano 9	0	-R\$ 290	R\$ 10.732	R\$ 10.442	R\$ 58.059
Ano 10	0	-R\$ 307	R\$ 11.338	R\$ 11.031	R\$ 69.090
Ano 11	0	-R\$ 325	R\$ 11.978	R\$ 11.653	R\$ 80.743
Ano 12	0	-R\$ 345	R\$ 12.655	R\$ 12.310	R\$ 93.053
Ano 13	0	-R\$ 366	R\$ 13.370	R\$ 13.004	R\$ 106.057
Ano 14	0	-R\$ 387	R\$ 14.125	R\$ 13.737	R\$ 119.794
Ano 15	0	-R\$ 411	R\$ 14.922	R\$ 14.512	R\$ 134.306
Ano 16	0	-R\$ 435	R\$ 15.765	R\$ 15.330	R\$ 149.636
Ano 17	0	-R\$ 461	R\$ 16.656	R\$ 16.194	R\$ 165.830
Ano 18	0	-R\$ 489	R\$ 17.596	R\$ 17.107	R\$ 182.937
Ano 19	0	-R\$ 519	R\$ 18.590	R\$ 18.072	R\$ 201.009
Ano 20	0	-R\$ 550	R\$ 19.640	R\$ 19.091	R\$ 220.100
Ano 21	0	-R\$ 583	R\$ 20.749	R\$ 20.167	R\$ 240.266
Ano 22	0	-R\$ 618	R\$ 21.921	R\$ 21.304	R\$ 261.570
Ano 23	0	-R\$ 655	R\$ 23.160	R\$ 22.505	R\$ 284.075
Ano 24	0	-R\$ 694	R\$ 24.468	R\$ 23.774	R\$ 307.849
Ano 25	0	-R\$ 736	R\$ 25.850	R\$ 25.114	R\$ 332.963

EQUIPAMENTOS	R\$ 11.720,00
MÃO DE OBRA	55,00%
Tarifa de Energia	R\$ 1,25
Inflação Energética Anual	6,50%
Custos Operacionais	1%
Inflação dos Custos Operacionais	6,00%

Total da Proposta
R\$ 18.166,00

PAYBACK
2,57

