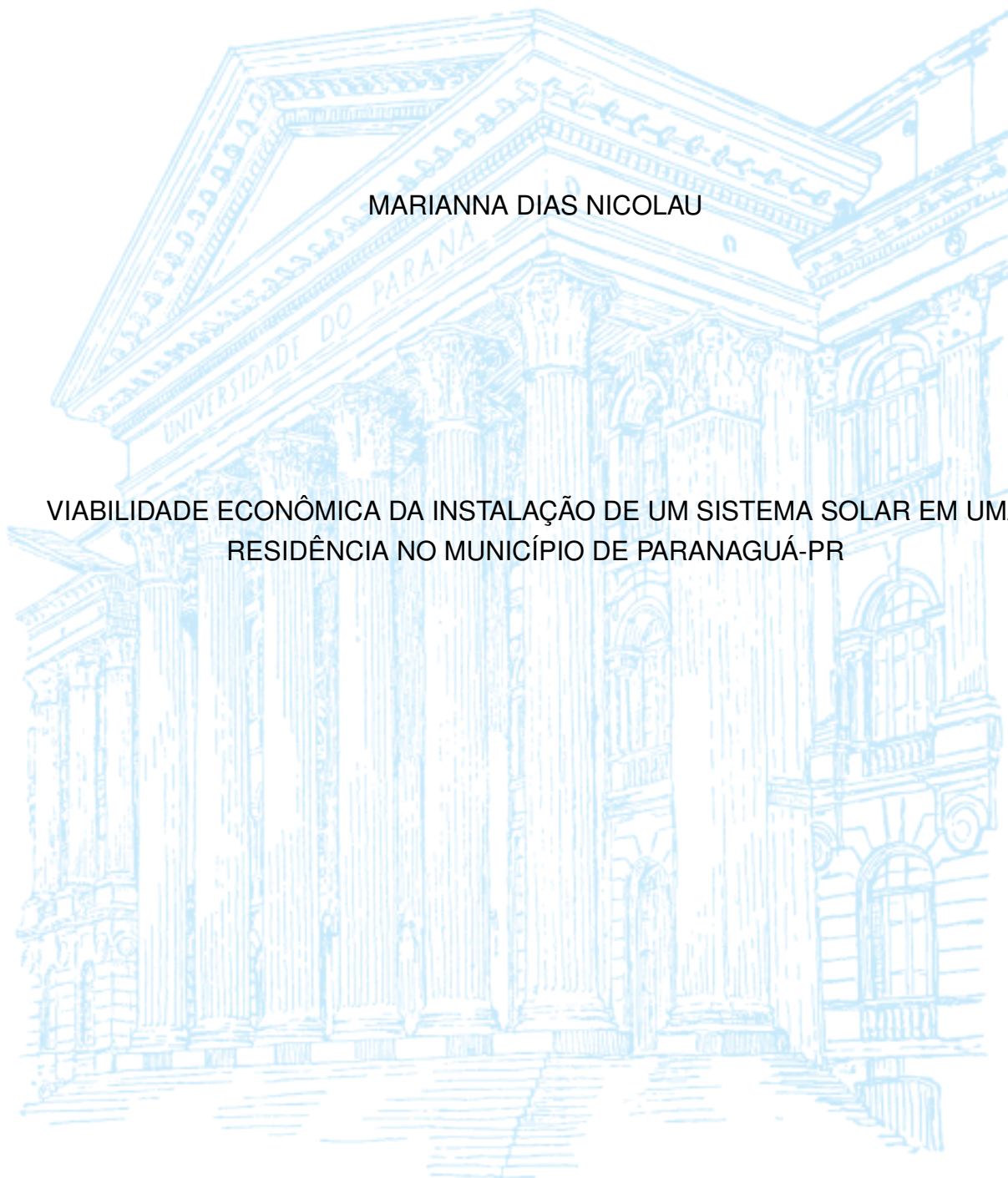


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARIANNA DIAS NICOLAU

VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR EM UMA
RESIDÊNCIA NO MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ-PR



PONTAL DO PARANÁ

2022

MARIANNA DIAS NICOLAU

VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR EM UMA
RESIDÊNCIA NO MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ-PR

Trabalho de Conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade
Federal do Paraná – Centro de Estudos do Mar.

Orientadora: Prof^a Juliana Almansa Malagoli,
Dra.

PONTAL DO PARANÁ

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DO CENTRO DE ESTUDOS DO MAR

Nicolau, Marianna Dias
N639v Viabilidade econômica da instalação de um sistema solar em uma residência no município de Paranaguá - Pr [recurso eletrônico] Marianna Dias Nicolau. – Pontal do Paraná, 2022.
1 arquivo [47 f.] : PDF.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Almansa Malagoli

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná, Campus Pontal do Paraná, Centro de Estudos do Mar, Curso de Engenharia Civil.

1. Energia solar. 2. Energia elétrica . 3. Sistemas de energia fotovoltaica . I. Malagoli, Juliana Almansa. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD – 620



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ATA DE REUNIÃO

TERMO DE APROVAÇÃO

Marianna Dias Nicolau

**“VIABILIDADE ECONÔMICA DA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR EM UMA RESIDÊNCIA NO
MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ-PR”**

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos membros:

Profa. Dra. Juliana Almansa Malagoli

Orientadora - CPP-CEM/UFPR

Prof. Dr. Virnei Silva Moreira

CPP-CEM - UFPR

Profa. Me. Eliane Pereira de Lima

CPP-CEM - UFPR

Pontal do Paraná, 12 de maio de 2022.



Documento assinado eletronicamente por **JULIANA ALMANSA MALAGOLI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/05/2022, às 13:06, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **VIRNEI SILVA MOREIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/05/2022, às 13:43, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

Documento assinado eletronicamente por **Eliane Pereira de Lima, Usuário Externo**, em 18/05/2022, às 11:44, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **4477006** e o código CRC **7E35C2FA**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a mim, por não ter desistido.

Ao meu pai que não está mais entre nós mas que foi, é e sempre será combustível para eu ir mais longe e que tenho certeza que nunca saiu e nem sairá do meu lado.

À minha mãe que é um exemplo de mãe, mulher, profissional e de ser humano, que sempre me apoiou e sempre acreditou no meu potencial.

Agradecer ao meu irmão, que sempre me apoiou e que sempre foi um exemplo de inteligência e sabedoria.

Aos meus tios, que sempre estiveram do meu lado como segundos pais.

Aos meus amigos que estiveram comigo e tornaram os dias melhores tanto dentro da faculdade quanto fora dela.

Aos meus professores que fizeram parte dessa caminhada.

À minha orientadora que confiou em mim, me ajudou e incentivou.

*"Faça um plano. Estabeleça um objetivo. Trabalhe em direção a ele. Mas de vez em quando, olhe ao redor. Beba, porque é isso. Tudo pode acabar amanhã."
- Meredith Grey*

RESUMO

A geração de energia por fontes renováveis é um assunto que vem sendo discutido há algum tempo, levando em consideração o grande crescimento populacional, o avanço da tecnologia e escassez de recursos hídricos. Estas mudanças globais contribuem no aumento do uso da energia elétrica, e acarreta um aumento significativo no consumo. Assim, o uso de energias de fontes renováveis se tornou vantajoso nos últimos anos onde as tarifas de energia elétrica sofreram aumento devido à crise hídrica, desta maneira, é possível aliar a economia com a sustentabilidade. Neste contexto, o principal objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade da instalação de módulos fotovoltaicos em uma residência localizada no município de Paranaguá, no Paraná. Além disso, realizou-se o dimensionamento, a escolha dos equipamentos, a configuração da instalação, bem como o investimento necessário e o tempo de retorno. Os resultados mostram que o tempo de retorno torna o custo benefício desta opção atrativo e viável.

Palavras-chaves: Energias renováveis. Módulos fotovoltaicos. Dimensionamento. Energia elétrica. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The generation of energy from renewable sources is a subject that has been discussed for some time, taking into account the great population growth, the advancement of technology and scarcity of water resources. These global changes contribute to increased use of electricity, and result in a significant increase in consumption. Thus, the use of energy from renewable sources has become advantageous in recent years where electricity tariffs have increased due to the water crisis, thus, it is possible to ally the economy with sustainability. In this context, the main objective of this work is to analyze the feasibility of installing photovoltaic modules in a residence located in the city of Paranaguá, Paraná. In addition, the sizing, the choice of equipment, the configuration of the installation, as well as the necessary investment and the return time were carried out. The results show that the return time makes the cost benefit of this option attractive and feasible.

Key-words: Renewable energy. Photovoltaic modules. Dimensioning. Electrical energy. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – GERAÇÃO ELÉTRICA - VARIAÇÃO ENTRE 2019/2020 EM GWh.	16
FIGURA 2 – MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA DO BANCO DE INFORMAÇÕES DA GERAÇÃO DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.	17
FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO DAS ESTAÇÕES DO ANO E DO MOVIMENTO DA TERRA EM TORNO DO SOL.	19
FIGURA 4 – CONFIGURAÇÃO BÁSICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO. .	20
FIGURA 5 – DIAGRAMA DE SISTEMAS ISOLADOS EM FUNÇÃO DA CARGA USADA.	21
FIGURA 6 – FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA <i>ON-GRID</i>	22
FIGURA 7 – FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA HÍBRIDO.	23
FIGURA 8 – SILÍCIO MONOCRISTALINO	24
FIGURA 9 – SILÍCIO POLICRISTALINO	24
FIGURA 10 – SILÍCIO AMORFO	24
FIGURA 11 – PAINÉIS SOLARES	25
FIGURA 12 – DISPOSIÇÃO DOS PAINÉIS SOLARES	26
FIGURA 13 – LOCALIZAÇÃO DA RESIDÊNCIA	29
FIGURA 14 – Planta Baixa da Residência	35
FIGURA 15 – IRRADIAÇÃO SOLAR AO LONGO DO ANO EM PARANAGUÁ-PR	36
FIGURA 16 – MODELO DO MÓDULO ESCOLHIDO	39
FIGURA 17 – MODELO DO INVERSOR ESCOLHIDO	40
FIGURA 18 – VISTA SUPERIOR RESIDÊNCIA - DISPOSIÇÃO DE POSICIONAMENTO DOS MÓDULOS.	43

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CORES, VALORES E CONDIÇÕES DE GERAÇÃO DAS BANDEIRAS TARIFÁRIAS.	27
TABELA 2 – PERDAS NO RENDIMENTO.	33
TABELA 3 – IRRADIAÇÃO SOLAR NO PLANO INCLINADO AO LONGO DO ANO EM PARANAGUÁ-PR.	36
TABELA 4 – CONSUMO DA RESIDÊNCIA EM Kwh.	37
TABELA 5 – MÓDULO ESCOLHIDO DO PAINEL SOLAR.	38
TABELA 6 – INVERSOR OPTADO.	40
TABELA 7 – RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO.	41
TABELA 8 – RESULTADOS DOS CÁLCULOS DE CUSTO.	42
TABELA 9 – DIMENSIONAMENTO NO PLANO INCLINADO E PLANO HORIZONTAL.	43
TABELA 10 – CUSTOS E <i>PAYBACK</i> NO PLANO INCLINADO E PLANO HORIZONTAL.	44

LISTA DE ABREVIATURAS E DE SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN Balanço Energético Nacional

CA Corrente Alternada

CC Corrente Contínua

COPEL Companhia Paranaense de Energia

EPE Empresa de Pesquisa Energética

GEE Gases de Efeito Estufa

NBR Norma Brasileira

NR Norma Regulamentadora

NTC Norma Técnica da Copel

SIN Sistema Interligado Nacional

LISTA DE SÍMBOLOS

kWp	Quilowatt Pico
$m-Si$	Silício Monocristalino
$p-Si$	Silício Policristalino
$a-Si$	Silício Amorfo
HSP	Horas de Sol Pleno
C_1	menor valor de irradiação no caso 1
C_2	menor valor de irradiação no caso 2
C_3	menor valor de irradiação no caso 3
E_{GM}	Energia de Geração no mês
C_M	Consumo Médio
L	Tipo de Ligação
E_{GD}	Energia de Geração em dia
P_{PICO}	Potência de Pico
N_M	Número de Módulos
P_{PM}	Potência do Módulo Escolhido
P_{TP}	Potência Total dos Painéis
N_R	Rendimento
V_D	Valor da energia excedente
T	Valor da Tarifa
P_B	Valor do <i>Payback</i>
Inv	Investimento feito
E_{TG}	Energia gerada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	JUSTIFICATIVA	17
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Geral	18
1.2.2	Específicos	18
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	RADIAÇÃO SOLAR OU ENERGIA SOLAR	19
2.2	SISTEMA FOTOVOLTAICO	19
2.2.1	Componentes de um Sistema Fotovoltaico	20
2.2.2	Sistemas Isolados	21
2.2.3	Sistemas Interligados à Rede	21
2.2.4	Sistemas Híbridos	22
2.3	CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	23
2.4	PAINÉIS SOLARES	24
2.5	POSIÇÃO E QUANTIDADE DE PLACAS	25
2.6	TARIFAS DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	26
3	METODOLOGIA	28
3.1	NORMAS	28
3.2	ÁREA DE ESTUDO	29
3.3	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	30
3.3.1	Incidência de Irradiação	30
3.3.2	Cálculo da Hora de Sol Pleno (HSP)	30
3.3.3	Consumo Médio	30
3.3.4	Cálculo da Energia de Geração	31
3.3.5	Cálculo da Potência Pico	31
3.3.6	Número de Painéis	31
3.3.7	Cálculo da Potência	32
3.3.8	Cálculo de Rendimento	32
3.3.9	Inversor	33
3.4	CUSTOS	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1	DIMENSIONAMENTO	35

		14
4.1.1	Incidência de Irradiação	35
4.2	CONSUMO MÉDIO MENSAL	37
4.2.1	Horas de Sol Pleno (HSP)	37
4.3	CUSTOS	39
4.4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	41
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
5.1	TRABALHOS FUTUROS	45
	 REFERÊNCIAS	 46

1 INTRODUÇÃO

Os padrões atuais de produção e consumo de energia são baseados nas fontes fósseis, o que gera emissões de poluentes locais, gases de efeito estufa e põem em risco o suprimento de longo prazo no planeta. Além disso, é preciso mudar os padrões estimulando as energias renováveis. Neste contexto, o Brasil apresenta uma condição bastante favorável em relação ao resto do mundo. (GOLDEMBERG; LUCON, 2007)

Segundo Martins a hidroeletricidade, assim como todas as fontes renováveis de energia, está sujeita à influência de fatores climáticos, de modo que, a energia armazenada (representada pelo nível de água acumulada no reservatório) em períodos de seca pode atingir valores críticos do ponto de vista de segurança energética. Com esse recurso natural escasso, a oferta de energia diminui, induzindo o crescimento do risco ao sistema energético e acarretando elevação dos preços da energia no país. Desta maneira, ainda que nos períodos de menor incidência de chuvas, o uso de água para geração de energia impacta criticamente no uso desse recurso para outros fins, tais como agricultura ou até mesmo o abastecimento.(MARTINS et al., 2017)

A crise hídrica que os brasileiros vivenciam hoje, é causada pela falta de água nos reservatórios e pela matriz energética ser pouco diversificada, que oferece fontes alternativas precárias, causando impactos negativos tanto para o meio ambiente quanto para o bem-estar da população, como disse (MAIA; LIMA; CARVALHO GOMES, 2019). A necessidade de energia para o desenvolvimento de um país é inquestionável porém, a aplicação de tecnologias que buscam o incremento da eficiência energética e a sustentabilidade da produção asseguram e possibilitam um desenvolvimento com impactos ambientais reduzidos.(MARTINS et al., 2017)

Pereira afirma que o Brasil possui uma grande variedade climática, característica que coloca o país em uma posição vantajosa quanto a disponibilidade de recursos, mas, ao mesmo tempo, há uma preocupação para que os mesmos sejam utilizados de maneira sustentável.(PEREIRA JR et al., 2011) Deste modo, uma prova disso é que segundo Martins, no local menos ensolarado do Brasil, é possível gerar mais eletricidade vinda do sol do que no local mais ensolarado da Alemanha, o que mostra o tamanho do potencial brasileiro quando se fala em energia solar. (MARTINS et al., 2017)

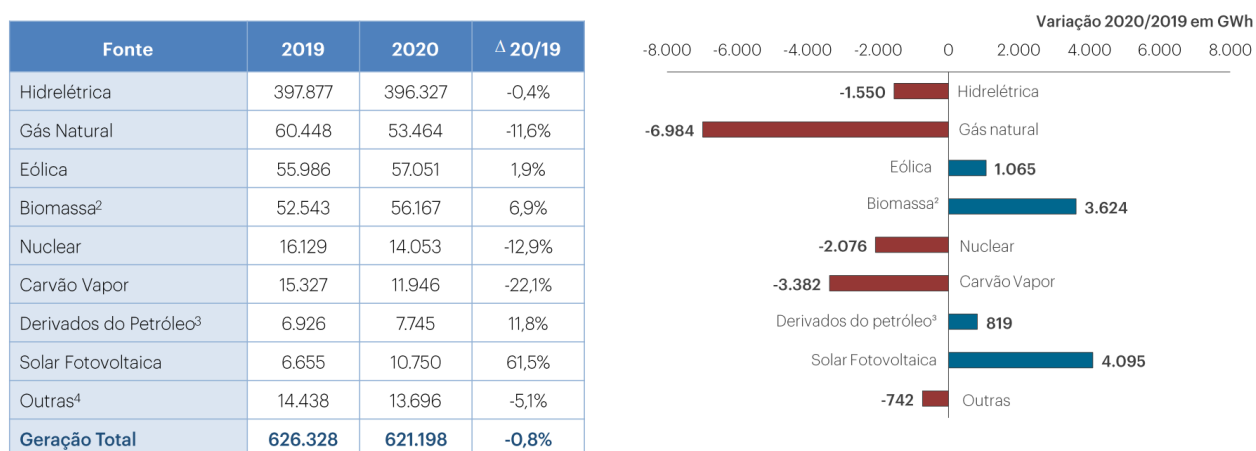
A disseminação da tecnologia solar fotovoltaica no país começou com sistemas isolados, que abasteciam locais afastados das redes de distribuição. Esse sistema continua sendo utilizado para levar energia às comunidades distantes do acesso à rede de distribuição convencional (ZILLES, 2012).

O sistema fotovoltaico é um dos novos meios para gerar energia segundo Carvalho, logo, existe um crescente interesse no uso direto da energia solar para diversos fins. Buscando novas tecnologias para o uso de energias renováveis, o sistema fotovoltaico se encontra em crescente utilização, por isso, tem-se explorado novos materiais para o avanço dessa tecnologia. (CARVALHO; LAGE, 2019a)

De acordo com Tolmasquim, uma projeção e comparação dos números de geração de energia em 2005 e 2030, informou que a participação da energia hidráulica na geração de energia elétrica era próximo a 90% em 2005, porém, a projeção apontava que esse valor cairia para pouco mais de 70% em 2030. Já em relação à geração por fontes não renováveis o valor passaria de 7% para 15% e as fontes renováveis corresponderiam a mais de 4%. (TOLMASQUIM; GUERREIRO; GORINI, 2007)

A EPE (Empresa de Pesquisa Energética), através do BEN (Balanço Energético Nacional) mostra que a geração solar teve em 2020 um avanço de 61,5% em relação ao ano anterior, com isso, a participação de renováveis na matriz elétrica atingiu 84,8%. A FIGURA 1 mostra uma comparação das diferentes formas de geração elétrica no Brasil.

FIGURA 1 – GERAÇÃO ELÉTRICA - VARIAÇÃO ENTRE 2019/2020 EM GWh.

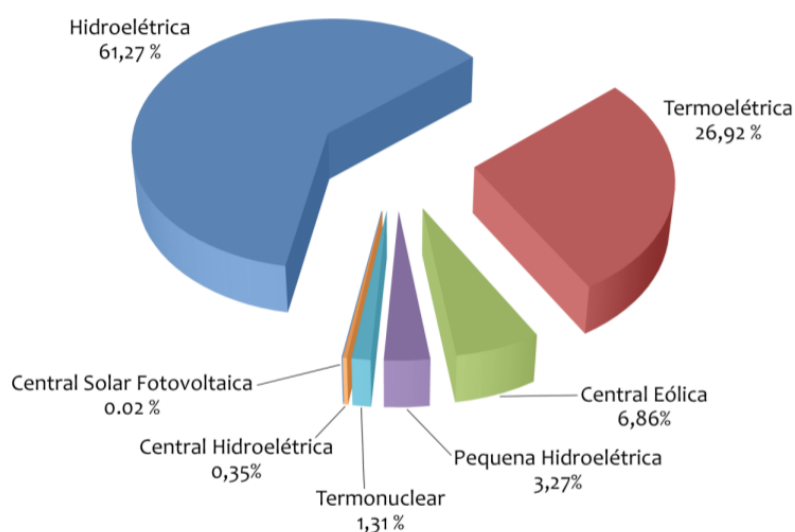


Fonte: (EPE, 2021)

Nota-se que por mais que o sistema elétrico brasileiro seja na sua maior parte hidrotérmico, conforme mostra a Figura 2, o país conta cada vez mais com outras fontes de energia. No Brasil, vale ressaltar que, embora o consumo de energia por fontes não renováveis seja maior que as renováveis, o país utiliza mais fontes renováveis do que o resto do mundo. Dados de 2019 fornecidos pela EPE através do BEN, mostra que o consumo de energia por fontes renováveis no Brasil era de 46% enquanto no mundo chegava a 14%. Essa informação é importante pois, significa que o país emite menos GEE (Gases de Efeito Estufa) do que a maioria dos outros países.

Segundo a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), em 30 anos, de 1980 a

FIGURA 2 – MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA DO BANCO DE INFORMAÇÕES DA GERAÇÃO DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.



Fonte: (MARTINS et al., 2017).

2010, a geração de energia solar no mundo cresceu 0,2%, sendo que de 2010 a 2015, houve um crescimento de 0,9%, chegando a 1,1%, e no ano seguinte 2016 fechou com 1,4%, o que mostra o aumento nas pesquisas e na utilização da energia solar fotovoltaica.

Para que a energia solar fotovoltaica assuma um papel importante no desenvolvimento tecnológico e industrial, é indispensável o desenvolvimento de iniciativas que permitam uma análise sistemática da introdução dessa fonte na matriz elétrica brasileira. (BÜHLER et al., 2015)

Quando se trata das vantagens na implantação do sistema fotovoltaico, Naruto salienta que do ponto de vista econômico esse tipo de geração traz vantagens evidentes, uma vez que se torna mais independente da energia entregue pela fornecedora e pode pagar apenas o valor mínimo obrigatório da fatura. Outra vantagem importante, é na esfera ambiental, uma vez que esse tipo de geração de energia causa poucos impactos ambientais, além de não interferir acusticamente o meio, uma vez que os equipamentos são silenciosos. (NARUTO, 2017)

1.1 JUSTIFICATIVA

A energia solar é uma das alternativas energéticas mais promissoras para os desafios deste milênio, a rigor, a energia proveniente do Sol não é renovável, mas uma fonte inesgotável considerando a escala de tempo da vida do planeta terra (MARTINS et al., 2017).

Segundo Carvalho e Lage, existe agora um crescente interesse na utilização direta da energia solar para diversos fins, afirmam ainda que buscando novas tecnologias para o uso de energias renováveis, o sistema fotovoltaico se encontra em crescente utilização, com isso, tem-se explorado novos materiais para o avanço da tecnologia fotovoltaica. (CARVALHO; LAGE, 2019a)

O Brasil tem passado por momentos de escassez de chuvas e aumento das tarifas elétricas, esse é um dos motivos para a utilização da energia elétrica a partir da energia solar, que vem sendo cada vez mais estudada e implementada, fazendo inclusive com que o preço para a sua implementação fique cada vez mais acessível.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

O presente trabalho tem com objetivo geral mostrar a viabilidade da utilização da energia solar como uma fonte de energia renovável e limpa, sendo uma alternativa na geração de energia.

1.2.2 Específicos

- Obter dados de irradiação solar no local de estudo;
- Analisar o consumo médio mensal da residência estudada durante 12 meses;
- Quantificar o número de placas necessárias para suprir o consumo da residência;
- Estimar o tempo de retorno do investimento financeiro.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 1 mostra uma breve introdução do tema, justificativa e objetivos do trabalho;

No Capítulo 2 será apresentado o referencial teórico relacionado a energia fotovoltaica e suas vertentes.

No Capítulo 3 será mostrado a metodologia para o desenvolvimento do trabalho, com considerações e equações.

No Capítulo 4 será possível observar o estudo de caso, contendo as informações para os cálculos e resultados.

No Capítulo 5 serão apresentadas as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

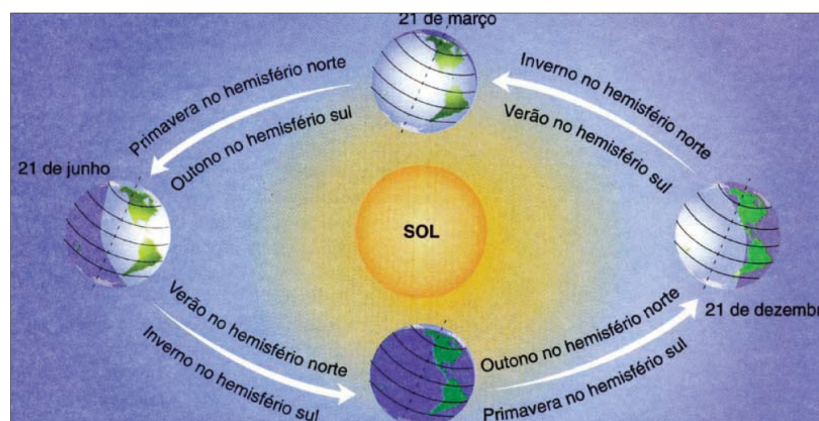
2.1 RADIAÇÃO SOLAR OU ENERGIA SOLAR

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. De acordo com (CARVALHO; LAGE, 2019a), essa conversão da energia solar em elétrica acontece através de efeitos da radiação sobre alguns materiais, principalmente os semicondutores (ENERGIA ELÉTRICA, 2002).

O Sol fornece anualmente, $1,5 * 10^{18}$ kWh de energia para a atmosfera terrestre. Corresponde a dez mil vezes o consumo mundial de energia no mesmo período, ou seja, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, é também uma fonte de energia inesgotável, onde a radiação solar se trata da radiação eletromagnética que se propaga a 300.000 Km/s, conforme (SOLAR, Energia, 2006).

Além disso, as condições atmosféricas como: nebulosidade, umidade relativa do ar e etc., a energia total incidente na superfície da Terra depende da latitude e da posição no tempo, ou seja, hora do dia e dia do ano. Isso se dá por causa da inclinação do eixo imaginário onde a Terra gira, denominada movimento de rotação, e a sua trajetória elíptica que faz ao redor do sol, denominada translação. A FIGURA 3 exemplifica as estações e movimento da terra em torno do sol.

FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO DAS ESTAÇÕES DO ANO E DO MOVIMENTO DA TERRA EM TORNO DO SOL.



Fonte: (ENERGIA ELÉTRICA, 2002).

2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO

A norma ABNT NBR 10899/2020, afirma que sistema fotovoltaico é o conjunto de equipamentos que fornecem energia elétrica pela conversão da energia solar (ABNT,

2020). Segundo Freitas, esses sistemas convertem energia proveniente da radiação solar em energia elétrica. Na maior parte das vezes a energia elétrica gerada é entregue a rede receptora (baixa ou média tensão) ou utilizada para alimentar cargas em rede isolada (FREITAS, 2008).

Segundo (MARINOSKI; SALAMONI; RUTHER, 2004), esse sistema tem grande potencial para o *design* de edifícios, sendo um elemento indispensável, não apenas para os elementos construtivos, mas também para o meio ambiente. Salienta-se que cada vez mais, países desenvolvidos tem usado esse sistema, não apenas para residências, mas também para edificações comerciais e industriais, uma vez que elas apresentam grandes áreas planas, que são as mais adequadas para a instalação do sistema.

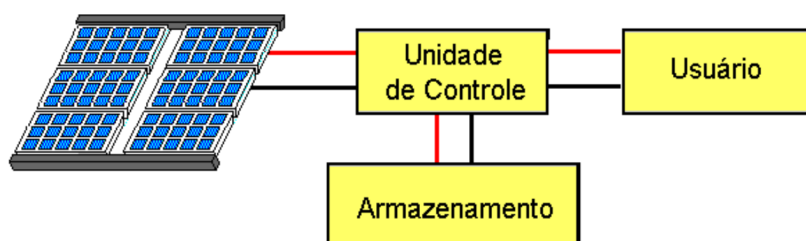
Pode-se observar que por mais que tenha ocorrido um crescimento de geração elétrica por sistema solar, essa geração ainda é muito pequena perto da capacidade de usinas hidrelétricas ou até mesmo termelétricas.

2.2.1 Componentes de um Sistema Fotovoltaico

A geração de energia a partir do aproveitamento da energia solar em sistemas fotovoltaicos é dividida em três principais grupos: geração centralizada, geração isolada e geração distribuída. A geração centralizada define-se pela produção de energia em larga escala e é disponibilizada no sistema elétrico através de linhas de transmissão. Já a geração isolada ou sistema isolado define-se pela geração local de energia e serve para abastecimento em locais remotos. Por último, na geração distribuída o sistema está conectado à rede pública de distribuição, junto à unidade consumidora, disponibilizando a energia gerada em excedente à rede, sendo integrantes os sistemas de micro e minigeradores distribuídos. (ROSA; GASPARI, 2016)

Em uma perspectiva geral, todos os sistemas devem obedecer uma configuração onde deverá ter uma unidade de controle de potência e uma unidade de armazenamento, conforme a FIGURA 4.

FIGURA 4 – CONFIGURAÇÃO BÁSICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO.



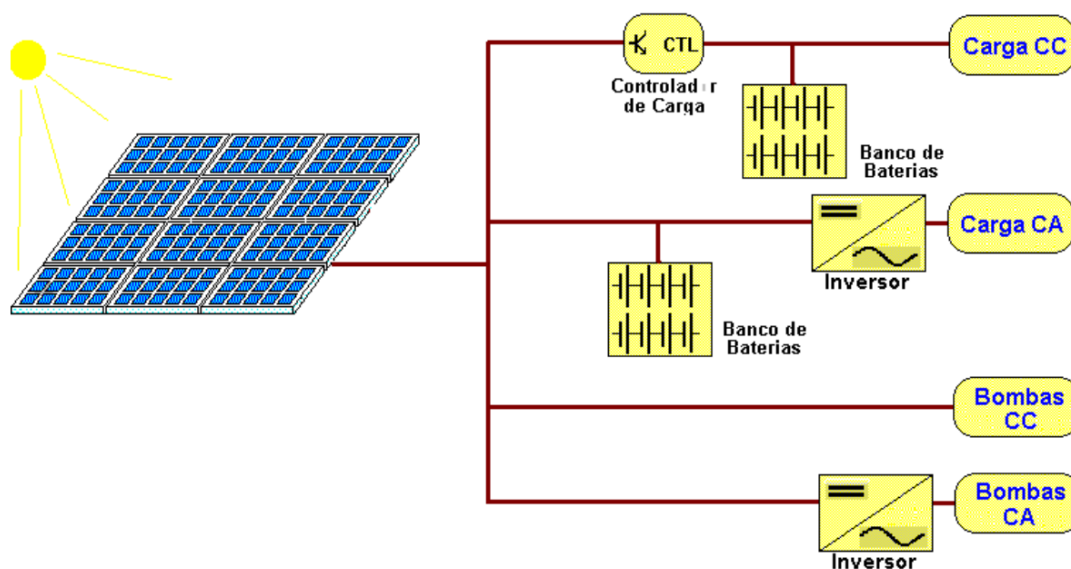
Fonte: (SOLAR, Energia, 2006).

Observa-se na FIGURA 5, a presença dos painéis solares, a unidade de controle, o armazenamento e o consumidor final, ou seja, sistema fotovoltaico básico.

2.2.2 Sistemas Isolados

Também chamados de *Off-Grid* ou autônomos, são sistemas que não são ligados à rede elétrica convencional, e podem ou não utilizar algum tipo de armazenamento de energia.

FIGURA 5 – DIAGRAMA DE SISTEMAS ISOLADOS EM FUNÇÃO DA CARGA USADA.



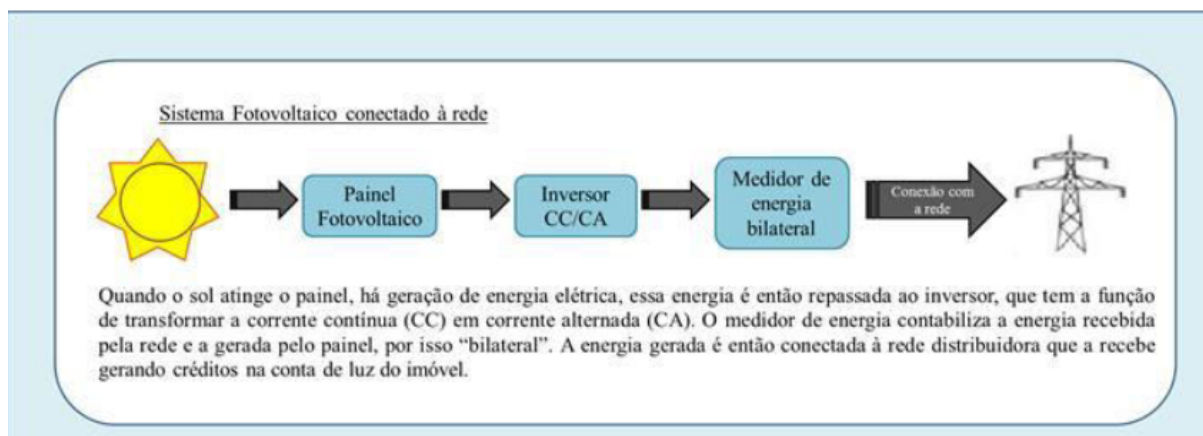
Fonte: (SOLAR, Energia, 2006)

A FIGURA 5 mostra um diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada. O controlador de carga tem a função de não permitir que haja danos na bateria, seja por sobrecarga ou descarga, já o controlador é usado em sistemas menores para aparelhos de baixa tensão e CC (Corrente Contínua), o inversor é usado para equipamento de CA (Corrente Alternada), contém ponto de máxima potência, usado para otimizar a potência final produzida (SOLAR, Energia, 2006).

2.2.3 Sistemas Interligados à Rede

Também chamado de sistema *On-Grid*, consiste em um sistema que utiliza vários painéis fotovoltaicos, porém, não armazenam energia, uma vez que, toda energia gerada é mandada diretamente para a rede. Esse sistema, segundo (BOSO; GABRIEL; GABRIEL FILHO, 2015), funciona em função de sua conexão à rede de transmissão. Além disso, permite que a energia produzida em excesso, que não for consumida pela residência, seja repassada para a rede de transmissão e sendo nesta, convertida em créditos de energia para a mesma residência. Esses créditos são reservados por três anos e caso o proprietário não os use no período determinado, os mesmos ficam para a concessionária de energia elétrica. A FIGURA 6 mostra como funciona um sistema fotovoltaico *On-Grid*.

FIGURA 6 – FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA ON-GRID.



Fonte: (MACHADO; MIRANDA, 2015)

De acordo com (SOLAR, Energia, 2006), todo o arranjo é conectado a inversores e logo em seguida guiados para a rede, além disso, eles devem satisfazer as exigências tanto de qualidade quanto de segurança, para que a rede não seja prejudicada. Neste contexto, a potência fotovoltaica instalada nesse sistema varia muito, podendo atingir centenas de kWp (Quilowatt Pico) em centrais fotovoltaicas e dezenas para cargas residenciais (BRAGA, 2008).

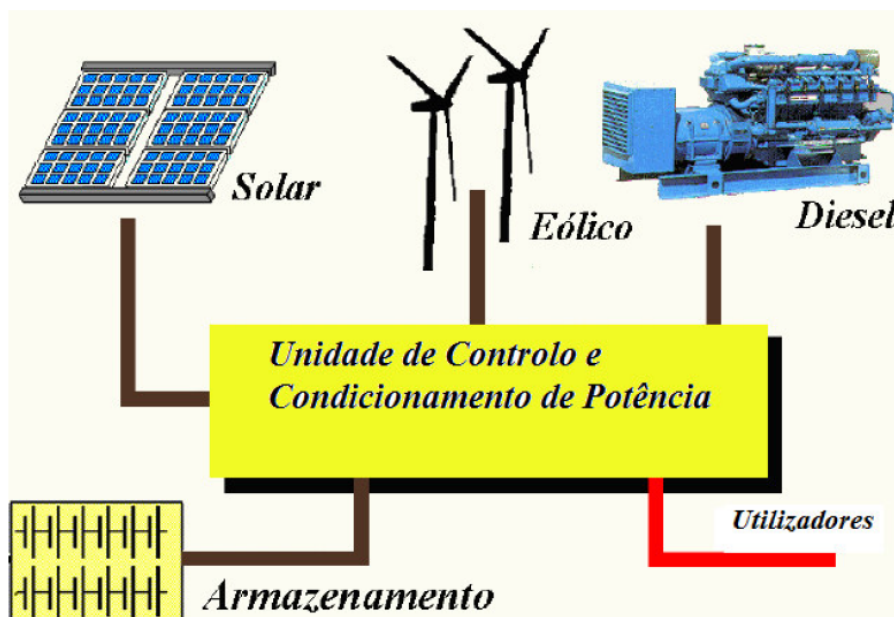
Segundo (NARUTO, 2017), quando a energia proveniente do sistema de geração não é consumida imediatamente e não existe uma forma de armazenamento, essa energia é transferida para a rede elétrica e o medidor bidirecional, que funciona em ambos os sentidos, opera na direção contrária, fazendo com que seja medida apenas a diferença entre a energia consumida e a energia passada para a rede. Ou seja, o valor cobrado na fatura de energia será apenas a diferença mensurada pelo medidor entre as energias gerada e consumida.

2.2.4 Sistemas Híbridos

Consistem na combinação de sistemas fotovoltaicos com outras fontes de energia que garantam a carga das baterias na ausência de sol. São geralmente, empregados em sistemas de médio a grande porte, atendendo um número maior de pessoas (BRAGA, 2008).

A FIGURA 7 mostra o esquema de funcionamento de um sistema híbrido, a unidade de controle e condicionamento de potência tem a função de integrar todos os geradores de forma a otimizar a operação do sistema (BRAGA, 2008). Por se tratar de um sistema complexo, é necessário que seja estudado particularmente cada caso para que haja uma assertividade e otimização do sistema.

FIGURA 7 – FUNCIONAMENTO DE UM SISTEMA HÍBRIDO.



Fonte: (FREITAS, 2008)

2.3 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

A norma ABNT NBR 10899, define a célula fotovoltaica como dispositivo elementar desenvolvido para realizar a conversão direta de energia solar em energia elétrica (ABNT, 2020). Desta maneira, essa célula atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico, seguindo o princípio de sustentabilidade e agilidade (CARVALHO; LAGE, 2019a).

As células fotovoltaicas usadas na conversão direta da radiação solar em energia elétrica são fabricadas com materiais semicondutores, caracterizados por serem isolantes a baixas temperaturas e condutores quando sujeitos a temperaturas mais elevadas. Deste modo, podem ser classificadas de acordo com sua estrutura molecular, a Célula de Silício Monocristalino (m-Si), conforme a FIGURA 8 é feita a partir de um único cristal de silício ultra puro e necessita de técnicas de produção mais complexas e caras, por esse motivo apresenta maior eficiência e custos mais elevados.

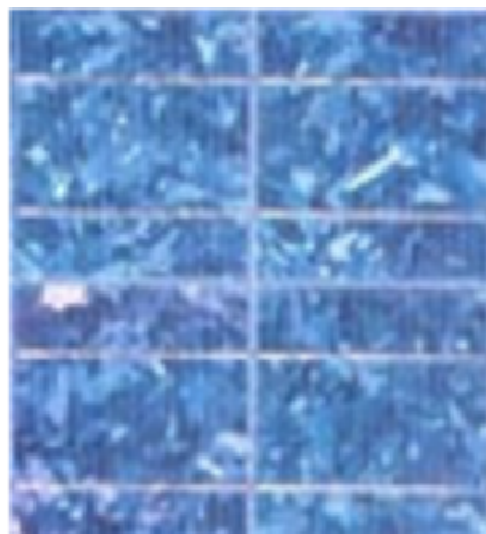
Já a célula de Silício Policristalino (p-Si) mostrada na FIGURA 9, é a mais barata pois, exige um processo de separação de células menos rígidas, sendo assim de menor custo e conseqüentemente menor rendimento. Por fim, a Célula de Silício Amorfo (a-Si), FIGURA 10 se apresenta sob a forma de películas finas, diferente das outras tecnologias, apresenta baixo rendimento, porém, necessita de baixo custo energético para a produção.

Portanto, para haver corrente elétrica é necessário que exista uma diferença de potencial entre duas zonas das células. Através do processo conhecido como dopagem

FIGURA 8 – SILÍCIO MONOCRISTALINO FIGURA 9 – SILÍCIO POLICRISTALINO

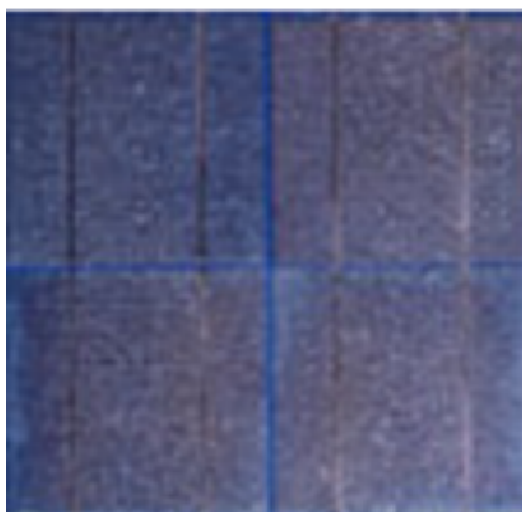


Fonte: (DO NASCIMENTO, 2004)



Fonte: (DO NASCIMENTO, 2004)

FIGURA 10 – SILÍCIO AMORFO



Fonte: (DO NASCIMENTO, 2004)

do silício, que consiste na introdução de elementos estranhos com o objetivo de alterar as duas propriedades elétricas, é possível criar duas camadas na célula, a camada (p), que tem excesso de cargas positivas e a camada (n) que tem excesso de cargas negativas (FREITAS, 2008).

2.4 PAINÉIS SOLARES

O painel solar, representado na FIGURA 11 é o principal componente do sistema fotovoltaico de produção de energia. Desta maneira, são formados por células fotovoltaicas associadas eletricamente. A junção dos painéis é chamada de gerador

fotovoltaico e constituem a parte responsável no processo de adaptação da irradiação solar e sua transformação em energia elétrica (CARVALHO; LAGE, 2019a).

FIGURA 11 – PAINÉIS SOLARES



Fonte: (SOLAR, Energia, 2007)

Ruther afirma que os painéis solares fotovoltaicos são projetados e fabricados para serem instalados em ambiente externo, sob sol, chuva e outros agentes climáticos, devendo operar satisfatoriamente nessas condições por períodos de 30 anos ou mais. Além disso, o sistema pode apresentar duas configurações distintas: instaladas de forma integrada à edificação (telhado ou fachada) ou ainda de forma centralizada como em uma usina geradora convencional. (RUTHER, 2004)

2.5 POSIÇÃO E QUANTIDADE DE PLACAS

O posicionamento das placas é importante para que ocorra um melhor aproveitamento das incidências solares. No entanto, conhecer o ângulo de incidência dos raios solares é igualmente importante para quantificar a energia proveniente do sol. Para tal, é necessário conhecer os fatores geográficos do local, como latitude, o ângulo horário, declinação solar, ângulo da superfície em relação ao plano horizontal e a direção, para a qual, se vão colocar os elementos conversores de energia (FREITAS, 2008).

Após obter o número de placas necessárias para suprir o consumo do local estudado, é de suma importância conferir se é possível acomodar a quantidade de placas. A FIGURA 12 mostra um exemplo de posicionamento de painéis.

Uma célula individual, unidade base de um sistema fotovoltaico, produz apenas uma reduzida potência elétrica, que varia entre 1 e 3 W, com uma tensão menor que 1 V. Para disponibilizar potências mais elevadas, as células são integradas, formando um

FIGURA 12 – DISPOSIÇÃO DOS PAINÉIS SOLARES



Fonte: (SOLAR, Energia, 2007)

módulo. A maioria dos módulos comercializados é composto por 36 células de silício cristalino e ligados em série, para aplicações de 12V (CARVALHO; LAGE, 2019a).

2.6 TARIFAS DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Geralmente, é necessário entender como o setor elétrico brasileiro funciona. Segundo a ANEEL, as geradoras produzem a energia, as transmissoras a transportam até os centros de consumo, e então as distribuidoras levam a energia até as residências da população. Importante salientar que tem empresas autorizadas que compram e vendem energia para os consumidores livres que necessitam de uma quantidade de energia maior.

Deste modo, o sistema permite o trânsito da energia produzida em todas as regiões, esse intercâmbio é possível graças ao SIN (Sistema Interligado Nacional). Os sistemas isolados ficam principalmente na região norte e são os únicos que não estão dentro do SIN. Porém, os lugares são sendo interligados e atualmente, apenas 2% do mercado nacional ainda continua isolado.

As bandeiras tarifárias compõem o sistema que fornece aos consumidores os custos reais da geração de energia elétrica, as cores das bandeiras indicam se o preço da geração de energia irá aumentar ou diminuir, isso em função das condições de geração de eletricidade (ANEEL, A., 2022). Essas condições estão diretamente ligadas às chuvas, uma vez que, conforme já citado, a geração de energia elétrica é predominantemente gerada por usinas hidrelétricas.

Segundo a COPEL (Companhia Paranaense de Energia) , quando há pouca

água armazenada o custo de geração tende a aumentar, por outro lado, quando há muita água armazenada as usinas não precisam ser ligadas fazendo com que o valor fique menor (COPEL, 2022). A TABELA 1 apresenta as cores das bandeiras, os custos em kWh e as condições de geração para cada cor.

TABELA 1 – CORES, VALORES E CONDIÇÕES DE GERAÇÃO DAS BANDEIRAS TARIFÁRIAS.

Cor	Custo (kWh)	Condições de Geração
Bandeira Verde	0,00	Condições favoráveis
Bandeira Amarela	0,01874	Condições menos favoráveis
Bandeira Vermelha - Patamar 1	0,03971	Condições mais custosas
Bandeira Vermelha - Patamar 2	0,09492	Condições ainda mais custosas

Segundo a NTC (Norma Técnica da Copel) 205200, pelas regras do sistema de compensação de energia, não há cobrança de tarifa pela injeção de potência no sistema de distribuição, e também não haverá remuneração por parte da Copel em função da energia injetada na sua rede elétrica. A norma ainda ressalta que a energia injetada na rede não será comprada pela Copel.

As energias renováveis, aparentemente, apresentam-se com preço final da energia mais elevado do que o sistema convencional centralizado de fornecimento de eletricidade. Porém, a simplicidade com que esta energia é gerada promove uma consequente redução de custos quando todos os processos necessários são contabilizados (SHAYANI; OLIVEIRA; CAMARGO, 2006).

3 METODOLOGIA

Durante o desenvolvimento deste trabalho, usaram-se diversos trabalhos na literatura como base para os cálculos, normas, *softwares* para a análise da irradiação solar e utilizaram-se planilhas elaboradas através do *Microsoft Office Excel* para obtenção do dimensionamento. Além disso, usaram-se ferramentas básicas de informática como plataformas de pesquisa para escolher os módulos, o inversor e as fichas técnicas dos materiais adotados. Para a realização dos cálculos destaca-se a análise e coleta de dados da conta de luz de uma determinada residência.

3.1 NORMAS

A norma ABNT NBR 16274 03/2014, Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho, tem como objetivo estabelecer as informações e documentações necessárias após a instalação do sistema, bem como descreve os ensaios de comissionamento, critérios de inspeção para avaliar a segurança da instalação e a correta operação do sistema. Ademais, pode ser utilizada para verificações e avaliações de desempenho de sistemas fotovoltaicos *On-Grid* (ABNT, 2014).

Outra importante norma usada é a NR 10, Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade, que estabelece os requisitos e condições mínimas com o objetivo de implementar medidas de controle e prevenção de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que interajam, direta ou indiretamente, em instalações elétricas e serviços com eletricidade (NR, 2004).

Importante também considerar a norma ABNT NBR 5410 (ABNT, 2008), Instalações Elétricas em Baixa Tensão, esta norma estabelece as condições que as instalações elétricas de baixa tensão devem ser feitas, com o intuito de garantir a segurança das pessoas e animais, e o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens. Já a ABNT NBR 10899, Energia solar fotovoltaica - Terminologia, teve sua última edição em 2020 e tem como objetivo especificar os termos técnicos relativos aos sistemas de conversão de energia solar em elétrica (ABNT, 2020).

A ANEEL, decretou a Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012, onde estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica e dá outras providências (ANEEL, 2012). Já quando se trata de energia elétrica devemos considerar também a NR 35 (NR, 2012) sobre trabalho em altura, que se torna importante uma vez que as ligações devem ser feitas nos postes.

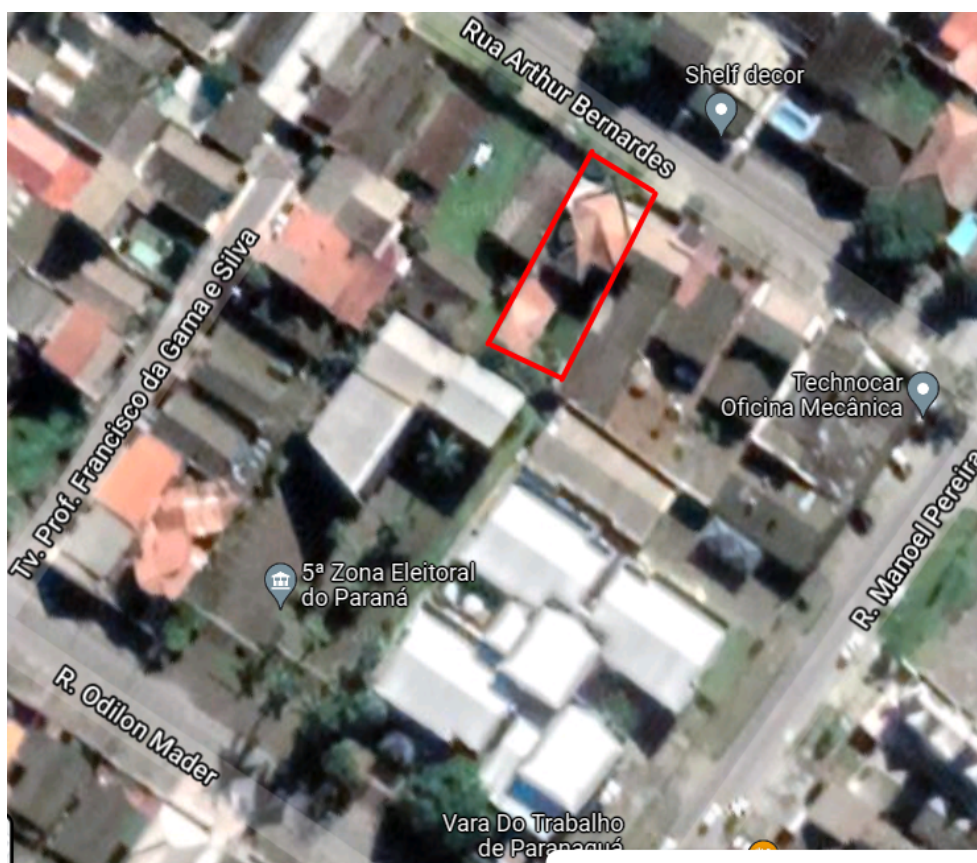
A empresa que realiza a comercialização de energia do município de Paranaguá e nos demais municípios do estado do Paraná é a COPEL, que conta com uma importante norma para o fornecimento de informações sobre a instalação de painéis solares a NTC 905200, que fornece regras para o acesso de geradores de energia elétrica conectados através de unidades consumidoras pelo Sistema de Compensação de Energia Elétrica, tem como base a NR 482 da ANEEL. Essa norma tem enorme relevância uma vez que a partir dela o usuário fica informado desde sobre o que é necessário para a instalação até o que deve ser feito depois de instalado.

Acima foram citadas algumas normas brasileiras vigentes que devem ser utilizadas na instalação e manutenção do sistema fotovoltaico.

3.2 ÁREA DE ESTUDO

Para este trabalho será considerada uma residência, localizada no município de Paranaguá no Paraná, na rua Arthur Bernardes, bairro Jardim Alvorada, conforme FIGURA 13. As dimensões do terreno são 17 metros de largura, por 40 metros de comprimento. Pelo *Google Maps* foi possível obter os dados de altitude e longitude, dados esses que serão utilizados para calcular a irradiação no local.

FIGURA 13 – LOCALIZAÇÃO DA RESIDÊNCIA



Fonte: Google Maps

3.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

3.3.1 Incidência de Irradiação

Para o cálculo da irradiação são usados os dados de latitude e longitude, obtidos através do Google Maps. Os dados foram inseridos no "SunData V 3.0" do CRESESB CEPEL.

O programa fornece os dados de irradiação para 3 localidades disponíveis próximas do ponto de interesse. Além disso, fornece os valores de irradiação convertidos do plano horizontal para três diferentes ângulos de planos inclinados. Sendo eles, o ângulo igual à latitude, o ângulo de maior média de irradiação solar anual e o ângulo de maior mínimo anual de irradiação solar.

A escolha do ângulo deve ser considerada para cada tipo de instalação e a finalidade. Para o referido trabalho, considerou-se o ângulo com a maior média diária anual de irradiação, que normalmente é utilizado quando deseja a maior geração anual de energia, como o caso de sistemas ligados a rede de distribuição.

3.3.2 Cálculo da Hora de Sol Pleno (HSP)

Para obter o valor de Horas de Sol Pleno (*HSP*), considera-se o pior caso, ou seja, o mês com menor incidência solar, para garantir assim que o sistema irá funcionar em todos os períodos necessários (FIGUEIRA, 2014). Desta forma, como não foi possível obter o valor de irradiação solar do local exato de estudo, optou-se por utilizar os piores valores de irradiação dos três locais mais próximos e fazer a média entre eles, para obter o *HSP*, conforme a Equação 3.1.

$$HSP = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{3} \quad (3.1)$$

Onde:

C_1 : menor valor de irradiação no caso 1, local a 3,6 km de distância do local estudado;

C_2 : menor valor de irradiação no caso 2; local a 8,0 km de distância do local estudado

C_3 : menor valor de irradiação no caso 3, local a 9,0 km de distância do local estudado.

3.3.3 Consumo Médio

O consumo médio deve ser calculado para obter a energia gerada por mês e por dia, a partir desse cálculo é possível saber quanto de energia os painéis devem gerar para suprir o consumo. Os dados para o cálculo foram retirados da fatura mensal de uma residência localizada na cidade. Pela fatura foi possível obter o tipo de ligação,

monofásica, bifásica ou trifásica, e também o histórico de consumo dos 12 meses anteriores.

3.3.4 Cálculo da Energia de Geração

A energia de geração é calculada para que seja possível obter o menor custo de investimento para que a conta de energia seja reduzida o máximo possível, o cálculo é feito subtraindo o valor do tipo de ligação do consumo médio, conforme se observa na equação 3.2:

$$E_{GM} = C_M - L \quad (3.2)$$

Onde:

E_{GM} : Energia de Geração em mês, em (kWh/mes);

C_M : Consumo Médio;

L : Tipo de Ligação.

Deste modo, considera-se que o mês tem 30 dias, o valor de energia de geração por mês (E_{GM}) foi dividido por 30 para obter o valor de energia de geração por dia (E_{GD}), expresso na Equação 3.3.

$$E_{GD} = \frac{E_{GM}}{30} \quad (3.3)$$

Onde:

E_{GD} : Energia de Geração no dia, em (kWh/dia).

3.3.5 Cálculo da Potência Pico

Para o cálculo da potência pico é necessário utilizar os dados de irradiação da Tabela 3 e o valor de HSP, presente na seção 3.3, Equação 3.1. Então,

$$P_{PICO} = \frac{E_{GD}}{HSP} \quad (3.4)$$

Onde:

P_{PICO} : Potência Pico, em (kWp).

3.3.6 Número de Painéis

O número de módulos é calculado do quociente entre a potência do painel multiplicado por mil e a potência pico do módulo escolhido. A Equação 3.5 permite

encontrar o número de painéis necessários para suprir o consumo diário.

$$N_M = \frac{P_{PICO} * 1000}{P_{PM}} \quad (3.5)$$

Onde:

N_M : Número de Módulos;

P_{PM} : Potência do Módulo Escolhido, expresso em (kWp).

Deste modo, sempre que o valor de número de módulos não der número inteiro, é importante arredondar para o próximo valor inteiro, para garantir que o sistema irá suprir a necessidade. Um grande obstáculo encontrado, é que na maioria das vezes o número de módulos necessários não cabe no espaço disponível, fazendo com que o número instalado seja menor que o necessário, não atingindo assim a eficiência total calculada. Uma forma de resolver esse problema é aumentando a potência do módulo escolhido, que diminuirá o número de módulos porém, o valor do investimento consequentemente aumentará.

3.3.7 Cálculo da Potência

Para calcular a Potência total dos painéis, precisa considerar a energia de geração por dia, as horas de sol pleno e o rendimento das placas, conforme mostra a Equação 3.6:

$$P_{TP} = \frac{E_{GD}}{HSP * N_R} \quad (3.6)$$

Onde:

P_{TP} : Potência Total dos Painéis, em (kWp);

N_R : Rendimento.

3.3.8 Cálculo de Rendimento

O cálculo do rendimento torna-se necessário por causa das perdas que podem acontecer no sistema fotovoltaico. A TABELA 2 mostra os valores típicos adotados para cada tipo de perda. Vale salientar que para um resultado mais assertivo é importante fazer uma visita no local em que as placas serão instaladas e considerar os melhores valores.

Após a obtenção do valor do somatório das perdas, deve-se subtrair o somatório de 100% e multiplicar os resultados pelo valor obtido.

TABELA 2 – PERDAS NO RENDIMENTO.

Perda	Descrição	Valores
Sombreamento	Causada por objetos ao redor ou sobre os módulos	1% a 10%
Sujeira	Acúmulo de poeira, fuligem, fezes de pássaros sobre os módulos, entre os períodos de limpeza	2% a 10%
Tolerância de Potência	Considerada quando a tolerância de Potência Pico dos módulos tem algum valor negativo	1,5% a 3%
Mismatching	Provocada pelas diferenças de características elétricas entre os módulos.	1% a 2%
Fator de Temperatura	A potência pico dos módulos fotovoltaicos diminui com a elevação da temperatura de operação	5% a 20%
Cabemamento CC SPMP	Perda por efeito Joule no círculo CC	0,5% a 1%
	Perdas durante ou entre os períodos de rastreamento do ponto de máxima potência do painel	1% a 2%
Conversão CC/CA	Perdas durante a conversão da energia CC em CA	0,5% a 1%
Cabeamento CA	Perdas por efeito Joule no Circuito CA	0,5% a 1%
Somatório de perdas		18% a 24%

Fonte: (CARVALHO; LAGE, 2019b)

3.3.9 Inversor

Os inversores têm como principal função transformar a energia que chega dos painéis em CC para CA pois, na utilização dos aparelhos elétricos é necessário que a corrente esteja alternada. Além disso, a potência nominal do inversor é determinada pela potência de pico do módulo, que é fornecida pelo fabricante. Aconselha-se escolher o inversor considerando o valor de da Potência Total dos Painéis (P_{TP}), calculada pela Equação 3.6, o valor da potência do inversor deve ser igual ou maior que o calculado.

3.4 CUSTOS

O maior custo é o valor inicial, que engloba o projeto, os equipamentos, os materiais e a mão de obra. Para calcular o valor do investimento, considerou-se o valor de mercado do módulo escolhido, em seguida do inversor escolhido. Segundo Figueira o valor da mão de obra é igual a 12% do valor total, considerando os painéis e o inversor (FIGUEIRA, 2014). Neste contexto, outro dado muito importante para o cálculo de custos e tempo de retorno é o valor da tarifa, que é encontrada tanto nas contas de luz quanto na plataforma da COPEL.

No cálculo de HSP é considerado o pior cenário, ou seja, o mês com menor incidência de sol, quando se calcula o número de módulos deve-se arredondar para o próximo valor inteiro, essa diferença é considerada sobra de energia, que será injetada na rede da distribuidora e terá desconto na próxima fatura. Portanto, para calcular o valor de retorno por dia, usou-se a Equação 3.7:

$$V_D = [(E_{GD} - E_{GTP}) * T * 24] \quad (3.7)$$

Onde:

V_D = Valor da energia excedente;

T = Valor da Tarifa, em (R\$/kWh).

Deste modo, multiplicando o valor V_D por 30, obtém-se o valor excedente de energia no mês.

$$V_M = V_D * 30 \quad (3.8)$$

Sabe-se que um ano tem 12 meses, assim, multiplicando o valor encontrado na Equação 3.8 por 12, obtém-se o valor excedente no ano.

$$V_A = V_M * 12 \quad (3.9)$$

Por fim, para calcular o prazo de retorno do investimento, chamado *Payback*, deve ser feito o levantamento do custo total do investimento e dividí-lo pela economia mensal. Vale ressaltar que esse retorno depende de fatores como a tarifa de energia de cada município e o tamanho do sistema. Cada situação deve ser estudada individualmente para que tenha uma assertividade na instalação do sistema e tendo assim um retorno efetivo. Pela Equação 3.10 é possível obter o tempo de retorno em meses.

$$P_B = \frac{Inv}{E_{TG} * 30 * T} \quad (3.10)$$

Onde:

P_B : Valor do *Payback*, em meses;

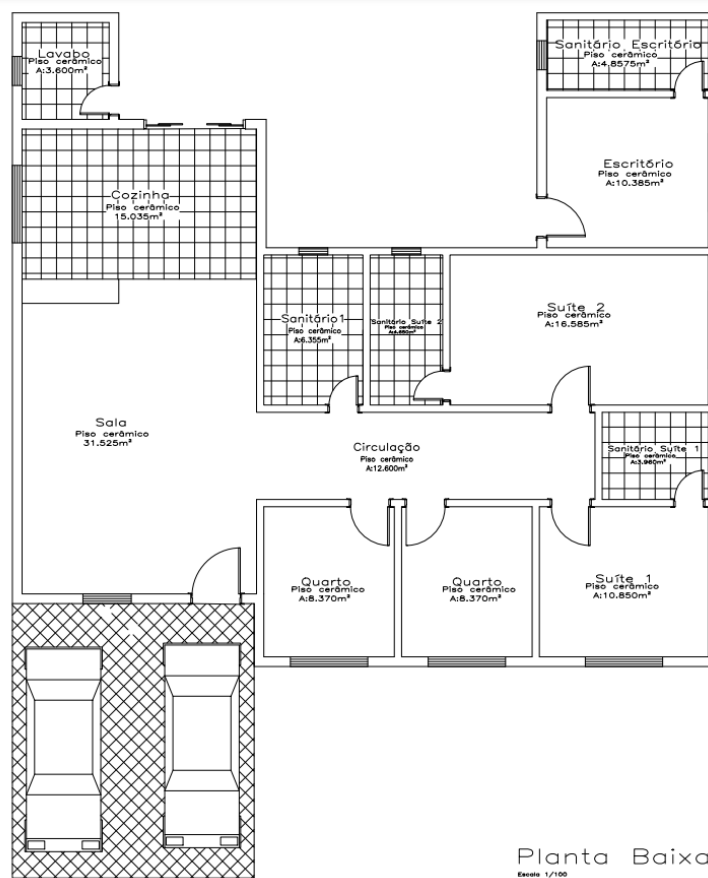
Inv : Investimento feito;

E_{TG} : Energia gerada, em (kWh/mes).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o presente estudo, considera-se uma residência localizada no município de Paranaguá, no Paraná. A FIGURA 14 apresenta a planta baixa da residência, com os ambientes separados e suas respectivas áreas, que podem ser utilizadas para o cálculo de potência dos ar-condicionados e também a quantidade de lâmpadas e tomadas, e a potência delas.

FIGURA 14 – Planta Baixa da Residência



4.1 DIMENSIONAMENTO

4.1.1 Incidência de Irradiação

Através da plataforma do *Google Maps* foi possível obter os dados de latitude e longitude que são respectivamente, $25^{\circ}31'25.0'' S$ e $48^{\circ}31'26.2'' W$. Com esses valores foi possível confeccionar a TABELA 3 que mostra a irradiação solar média no plano inclinado de $20^{\circ}N$, expressa em $kWh/m.dia$, apresenta também as coordenadas dos

três lugares possíveis, suas distâncias em relação ao local de estudo e a média de irradiação de cada um dos casos.

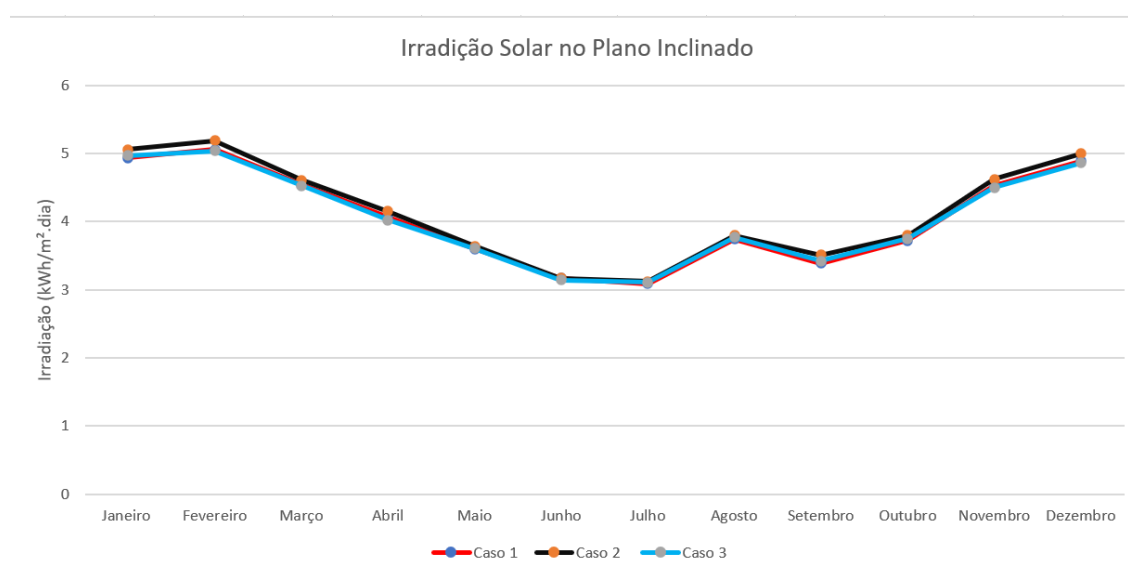
TABELA 3 – IRRADIAÇÃO SOLAR NO PLANO INCLINADO AO LONGO DO ANO EM PARANAGUÁ-PR.

Dados	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Latitude (°)	25,5	25,5	25,601
Longitude (°)	48,549	48,449	48,459
Distância (Km)	3,6	8,0	9,0
Janeiro	4,94	5,06	4,97
Fevereiro	5,06	5,19	5,04
Março	4,54	4,61	4,53
Abril	4,07	4,15	4,02
Maio	3,60	3,64	3,61
Junho	3,17	3,17	3,14
Julho	3,09	3,12	3,11
Agosto	3,74	3,80	3,77
Setembro	3,39	3,51	3,42
Outubro	3,72	3,80	3,75
Novembro	4,53	4,62	4,5
Dezembro	4,89	5,00	4,86
Média	4,06	4,14	4,06

FONTE: A autora (2022).

A partir da tabela acima foi possível gerar o gráfico representado pela FIGURA 15. Observa-se que, como esperado, os maiores valores de incidência solar acontecem no verão, sendo os picos nos meses de janeiro e dezembro, e a menor incidência acontece no inverno, sendo os menores valores entre junho e julho.

FIGURA 15 – IRRADIAÇÃO SOLAR AO LONGO DO ANO EM PARANAGUÁ-PR



Fonte: Sundata/CRESESB 2022

Para o cálculo de (HSP) serão considerados os valores de incidência do mês de julho, já que este apresentou os menores valores de irradiação, representando o pior caso do ano.

4.2 CONSUMO MÉDIO MENSAL

A empresa que realiza a comercialização de energia do município de Paranaguá e nos demais municípios do estado do Paraná é a COPEL. Para o cálculo de consumo foram considerados valores da residência, conforme na TABELA 4, o tipo de ligação será bifásica, que equivale a 50 kWh.

TABELA 4 – CONSUMO DA RESIDÊNCIA EM Kwh.

Mês/Ano	Consumo (kWh)
Fevereiro/2021	284
Março/2021	525
Abril/2021	414
Mai/2021	421
Junho/2021	348
Julho/2021	347
Agosto/2021	424
Setembro/2021	454
Outubro/2021	288
Novembro/2021	412
Dezembro/2021	443
Janeiro/2022	561
Consumo Médio (C_M)	410,08

FONTE: A autora (2022).

4.2.1 Horas de Sol Pleno (HSP)

Para o cálculo de Horas de Sol Pleno, usou-se a Equação 3.1 e os dados da TABELA 3.

$$HSP = \frac{3,09 + 3,12 + 3,11}{3} = 3,107h \quad (4.1)$$

Após calculada as HSP, deve-se obter a energia de geração, utilizando a Equação 3.2, considerando o consumo médio, obtido na TABELA 4 e o tipo de ligação bifásica.

$$E_{GM} = 410,08 - 50 = 360,08kWh/mes \quad (4.2)$$

Dividindo o valor de E_{GM} por trinta, é possível encontrar a energia de geração em kWh/dia, conforme a Equação 4.3.

$$E_{GD} = \frac{360,08}{30} = 12,00kWh/dia \quad (4.3)$$

Em seguida, calcula-se a potência pico, pela Equação 3.4:

$$P_{PICO} = \frac{12}{3,107} = 3,864kWp \quad (4.4)$$

Além disso, é necessário considerar os coeficientes de perda, para isso, realizou-se um estudo do local onde as placas solares serão instaladas. Na TABELA 2, é possível observar os coeficientes de perda com seus valores entre 18% e 24%, para o cálculo adotou-se o valor de 18%. Esse valor foi considerado após uma visita ao local que as placas serão instaladas, considerando árvores e outros possíveis causadores de sombras, bem como sujeira no local. Subtraindo o valor adotado de 100%, tem-se 82%. Logo, a potência total dos painéis é:

$$P_{TP} = \frac{12}{3,107 * 0,82} = 4,71kW/dia \quad (4.5)$$

Sabendo a potência total dos painéis, escolheu-se o painel fotovoltaico. A TABELA 5 apresenta os dados do painel escolhido. A FIGURA ?? mostra o modelo de módulos considerado.

TABELA 5 – MÓDULO ESCOLHIDO DO PAINEL SOLAR.

Modelo	Upsolar - UP-M285P
Potência (Wp)	285
Largura (m)	0,992
Comprimento(m)	1,64
Espessura (m)	0,035
Valor Unitário (R\$)	800,00

A partir dos dados do módulo, pode-se encontrar o número total de painéis que serão necessários para suprir a demanda de energia consumida.

$$N_M = \frac{4,71 * 1000}{285} = 16,53 \quad (4.6)$$

Desta forma, vale ressaltar que após calcular o número de módulos é necessário verificar se caberão no local a ser instalado e sua disposição. Então, serão

FIGURA 16 – MODELO DO MÓDULO ESCOLHIDO



FONTE: <https://www.neosolar.com.br/>

considerados 17 módulos, por este motivo, é importante calcular o valor de potência total considerando todos os módulos.

$$P_{TOTAL} = \frac{17 * 285}{1000} = 4,85kWp \quad (4.7)$$

O cálculo da energia será feito da seguinte forma,

$$E_{GTP} = 3,107 * 4,85 * 0,82 = 12,34kWh/dia \quad (4.8)$$

Comparando o primeiro valor de (E_{GD}) e o valor calculado de (E_{GTP}) é possível notar, como já esperado, que o sistema irá produzir por dia mais energia do que o consumo, considerando o pior dos cenários. Essa diferença será usada no cálculo de retorno do investimento.

4.3 CUSTOS

Para o cálculo dos custos, considera-se o valor aproximado unitário do módulo, conforme consta na TABELA 5. A escolha do inversor deve considerar a sua potência

sendo maior que a potência pico. A TABELA 6 apresenta os dados do inversor adotado.

TABELA 6 – INVERSOR OPTADO.

Modelo	Min5000TL-X
Potência (W)	5000
Largura (m)	0,445
Altura (m)	0,45
Comprimento (m)	0,28
Custo	3.600,00

FONTE: A autora (2022).

A FIGURA 17 exhibe o modelo de inversor escolhido para o presente trabalho.

FIGURA 17 – MODELO DO INVERSOR ESCOLHIDO



FONTE: <https://www.aldo.com.br>

O valor do investimento (I_{NV}) será calculado somando o valor total dos módulos, com o valor do inversor e considerando a mão de obra. Então, tem-se:

$$I_{NV} = (V_M * N_M) + V_I + [0,12 * (V_M + V_I)] \quad (4.9)$$

Onde:

V_M : Valor do módulo, em R\$;

V_I : Valor do inversor, em R\$;

Assim, com os valores e o número de módulos, pode-se calcular o investimento:

$$I_{NV} = (800 * 17) + 3600 + [0,12 * (800 + 3600)] = 19.264,00R\$ \quad (4.10)$$

Para o cálculo do retorno por dia, tem-se:

$$V_D = [(12,34 - 12,00) * 0,83601 * 24] = 6,82R\$ \quad (4.11)$$

Desta maneira, calcula-se o retorno por mês, então:

$$V_M = 6,82 * 30 = 204,47R\$ \quad (4.12)$$

Já para calcular o retorno no ano, tem-se:

$$V_A = 204,47 * 12 = 2453,68R\$ \quad (4.13)$$

Por fim, para encontrar o tempo de retorno, mais conhecido como *Payback*, usa-se:

$$PB_M = \frac{19.264}{12,34 * 30 * 0,83601} = 62,23meses \quad (4.14)$$

Conseqüentemente, o tempo de retorno do investimento pode ser calculado, conforme:

$$PB_A = \frac{62,23}{12} = 5,19anos \quad (4.15)$$

4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a análise dos dados e cálculos foi possível dimensionar o sistema e encontrar o tempo de retorno do investimento. Deste modo, serão apresentados os resultados tanto de dimensionamento quanto de custos e será realizada uma comparação em relação ao ângulo de incidência considerado para os cálculos. A TABELA 7 apresenta os resultados para o cálculo de dimensionamento.

TABELA 7 – RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO.

Parâmetros	Símbolos	Resultados	Unidades
Horas de Sol Pleno	HSP	3,107	h
Energia Gerada no Mês	E_{GM}	360,083	kWh/mês
Energia Gerada no Dia	E_{GD}	12,00	kWh/dia
Potência Pico	P_{PICO}	3,864	kWp
Número de Módulos	N_M	17	Un
Potência Total Necessária por Painel	P_{TP}	4,71	kW/dia
Potência Total	P_{TOTAL}	4,85	kWp
Energia Gerada Total por Painel	E_{GTP}	12,34	kWh/dia

FONTE: A autora (2022).

Observa-se que o número de módulos necessários para suprir o consumo da residência estudada no total são 17 módulos, de 285 Wp de potência cada. Foi necessária a conferência para verificar se é possível instalar o número de módulos no telhado da residência. Já a TABELA 8 apresenta resultados de custos baseados no

TABELA 8 – RESULTADOS DOS CÁLCULOS DE CUSTO.

Parâmetros	Símbolos	Resultados	Unidades
Valor da Tarifa	T	0,83601	R\$/kWh
Valor do Investimento	I_{NV}	19.264,00	R\$
Valor do Retorno por dia	V_D	6,82	R\$
Valor do Retorno no mês	V_M	204,47	R\$
Valor de Retorno no Ano	V_A	2453,68	R\$
Payback em meses	PB_M	62,23	Meses
Payback em anos	PB_A	5,19	Anos

FONTE: A autora (2022).

dimensionamento realizado, no valor do investimento e na tarifa de energia elétrica, nota-se que o tempo de retorno do investimento é de 5,19 anos.

A FIGURA 18 ilustra a disposição e posicionamento das placas. Para um melhor rendimento dos módulos solares, optou-se por concentrar as placas na parte frontal e lateral direita do telhado. Essa escolha foi feita baseada em dois fatores, o primeiro é que em visita ao local foi possível observar que atrás do terreno estudado tem um sobrado que acabaria fazendo sombra diminuindo assim o rendimento dos módulos; o outro ponto, é a questão estrutural, mesmo que, o número de placas seja pequeno e os módulos sejam considerados leves, optou-se pela instalação onde não há vãos livres.

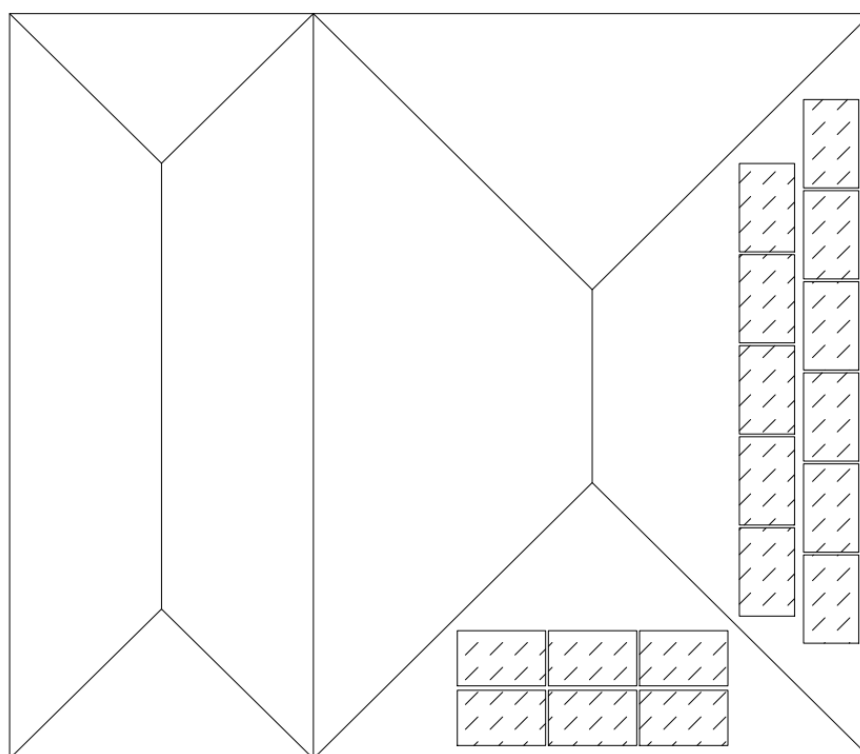
É possível observar que o tempo de retorno é de 5,19 anos considerando a tarifa atual. Importante lembrar que o valor considerado da tarifa foi retirado do *site* da COPEL em um período de crise hídrica, ou seja, o valor da tarifa estava mais alto. Além disso, os cálculos foram feitos todos para o pior caso, ou seja, de menor incidência de sol, é possível que o tempo de retorno seja ainda menor, considerando também que o valor da tarifa cairá, após o fim da crise hídrica.

Durante os cálculos do dimensionamento, foi possível notar que o ângulo de incidência de irradiação utilizado, afeta diretamente o tempo de retorno. A TABELA 9 mostra uma comparação feita entre os valores de incidência solar para o plano inclinado considerando a maior média anual e considerando o plano horizontal.

Observa-se que utilizando o plano horizontal, serão necessários 4 módulos a mais para suprir a necessidade da residência estudada aumentando conseqüentemente o tempo de *Payback*, como observado na TABELA 10. Nota-se ainda que a inclinação dos módulos para o plano horizontal faz com que o investimento aumente, uma vez que aumenta o número de painéis necessários e como conseqüência o tempo de *Payback* fica maior, que na outra inclinação era de 5,19 anos passou a ser de 6,11 anos, aumentando em quase 1 ano.

Para os cálculos não considerou-se o valor de troca dos módulos, uma vez que o fabricante, na ficha de especificação técnica, oferece uma garantia de desempenho

FIGURA 18 – VISTA SUPERIOR RESIDÊNCIA - DISPOSIÇÃO DE POSICIONAMENTO DOS MÓDULOS.



Fonte: A autora (2022).

TABELA 9 – DIMENSIONAMENTO NO PLANO INCLINADO E PLANO HORIZONTAL.

Parâmetros	Símbolos	Plano Inclinado	Plano Horizontal	Unidades
Horas de Sol Pleno	HSP	3,107	2,533	h
Energia Gerada no Mês	E_{GM}	360,083	360,083	kWh/mês
Energia Gera do no Dia	E_{GD}	12,00	12,0	kWh/dia
Potência Pico	P_{PICO}	3,864	4,738	kWp
Número de Módulos	N_M	17	21	Un
Potência Total Necessária por Painel	P_{TP}	4,71	5,78	kW/dia
Potência Total	P_{TOTAL}	4,85	5,99	kWp
Energia Gerada Total por Painel	E_{GTP}	12,34	12,43	kWh/dia

FONTE: A autora (2022).

de 25 anos, conhecida como Garantia do Módulo Linear. Já o fabricante do inversor não disponibiliza o tempo de vida útil do aparelho, porém, oferece uma garantia de 10 anos.

TABELA 10 – CUSTOS E *PAYBACK* NO PLANO INCLINADO E PLANO HORIZONTAL.

Parâmetros	Símbolos	Plano Inclinado	Plano Horizontal	Unidades
Tarifa	T	0,83601	0,83601	R\$/kWh
Investimento	I_{NV}	19.264,00	22.848,00	R\$
Retorno por dia	V_D	6,82	8,63	R\$
Retorno no mês	V_M	204,47	258,87	R\$
Retorno no Ano	V_A	2.453,68	3.106,39	R\$
<i>Payback</i> em meses	PB_M	62,23	73,27	Meses
<i>Payback</i> em anos	PB_A	5,19	6,11	Anos

FONTE: A autora (2022).

Comparou-se o presente estudo com um outro estudo de viabilidade de um sistema de energia fotovoltaica residencial ligado a rede, no município de Chapecó em Santa Catarina, no ano de 2013, (FAEDO, 2014). Observou-se que o tempo de retorno do investimento foi de 11 anos e 3 meses, sendo de quase 6 anos a mais que o tempo de retorno do presente estudo. Um possível motivo para esse valor alto no tempo de *Payback* é que a 10 anos atrás o investimento no estudo dessa tecnologia era pequeno, tendo tido um grande crescimento nos últimos 5 anos, fazendo assim com que o valor dos módulos se tornasse menor; outro possível motivo é que a potência do módulo escolhido para o trabalho comparado é igual a metade da potência do módulo do presente trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na metodologia desenvolvida alcançaram-se os objetivos propostos. Além disso, os resultados do estudo de viabilidade da implantação de energia solar mostrou-se que para a residência modelo são necessários 17 módulos de 285 W de potência. Deste modo, devem ser instalados onde ocorre menos perdas no seu rendimento. Por fim, destaca-se como a casa tem uma área grande, foi possível colocar todos os módulos necessários sem muitos problemas.

No ponto de vista econômico, o tempo de retorno foi de 5,11 anos. Desta maneira, observou-se o retorno na conta de luz, uma vez que a família precisará pagar apenas a taxa mínima do valor da conta de luz e não o consumo mensal inteiro, já que a energia gerada pelas placas será inserida na rede elétrica. Vale lembrar que a concessionária não paga nenhum valor pela energia inserida na rede elétrica. Os resultados mostraram que é um investimento considerado bom, já que o tempo de retorno equivale a pouco mais de 20% do tempo de vida útil dos módulos, que é de 25 anos.

5.1 TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se para trabalhos futuros a coleta de informações não só do consumo mensal, mas também do consumo diário de uma residência, bem como a coleta dos equipamentos que utilizam energia elétrica, para que seja possível realizar uma análise mais detalhada do consumo de energia e talvez uma assertividade ainda maior no tempo de *Payback*.

Sugere-se também a comparação dos resultados de um sistema ligado a rede, que é o caso deste trabalho, com um sistema isolado. É possível que o tempo de retorno aumente ou diminua dependendo do tipo do sistema adotado.

Por fim, pode-se comparar os valores obtidos pelas equações contidas na metodologia, com os valores obtidos a partir de *softwares* de dimensionamento de sistema fotovoltaico, um exemplo de *software* que pode ser utilizado é o *Homer Pro*.

REFERÊNCIAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Sobre Bandeiras Tarifárias**. 2022. Disponível em:

<<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/bandeiras-tarifarias>>.

Acesso em: 21 de mar. de 2022. Citado 1 vez na página 26.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10899: 2020**: Energia Solar Fotovoltaica - Terminologia. Rio de Janeiro, ago. 2020. P. 11. Citado 3 vezes nas páginas 19, 23, 28.

_____. **ABNT NBR 16274:2014**: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Rio de Janeiro, mar. 2014. P. 52. Citado 1 vez na página 28.

_____. **ABNT NBR 5410: 2008**: Instalações Elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, mar. 2008. P. 209. Citado 1 vez na página 28.

BOSO, Ana Cláudia Marassá Roza; GABRIEL, Camila Pires Cremasco; GABRIEL FILHO, Luís Roberto Almeida. Análise de custos dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid no Brasil. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 8, n. 12, 2015. Citado 1 vez na página 21.

BRAGA, Renata Pereira. Energia Solar Fotovoltaica: fundamentos e aplicações. **Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro**, 2008. Citado 3 vezes na página 22.

BRASIL. ANEEL. **Resolução ANEEL nº 482 de 17 de abril de 2012**: Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica e outras providências. [S.l.], 2012. Citado 1 vez na página 28.

BÜHLER, AJ et al. Energia solar fotovoltaica e o setor elétrico brasileiro: situação atual e perspectivas. **Avances en Energias Renovables y Medio Ambiente-AVERMA**, v. 19, p. 11–21, 2015. Citado 1 vez na página 17.

CARVALHO, Fernanda Santos de; LAGE, Eduardo Gouveia Santiago. Método de análise e dimensionamento do sistema fotovoltaico ongrid. **Technology Sciences**, v. 1, n. 2, p. 24–36, 2019. Citado 6 vezes nas páginas 16, 18, 19, 23, 25, 26.

_____. **Technology Sciences**, v. 1, n. 2, p. 24–36, 2019. Citado 0 vez na página 33.

COPEL, [Companhia Paranaense de Energia Elétrica]. **Bandeiras Tarifárias**. 2022. Disponível em:

<<https://www.copel.com/site/copel-distribuicao/bandeiras-tarifarias>>.

Acesso em: 21 de mar. de 2022. Citado 1 vez na página 27.

DO NASCIMENTO, Cássio Araújo. Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica. **Diss. Universidade Federal de Lavras**, 2004. Citado 0 vez na página 24.

ENERGIA ELÉTRICA, Agência Nacional de. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. [S.l.]: Aneel, 2002. Citado 1 vez na página 19.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Relatório Síntese 2020**. 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/>>. Acesso em: 12 de abr. de 2022. Citado 0 vez na página 16.

FAEDO, Alessandro. Viabilidade de um sistema de energia fotovoltaica residencial ligado a rede, 2014. Citado 1 vez na página 44.

FIGUEIRA, Fabio Fernandes. Dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede para alimentar a sala de computação da Escola Municipal Tenente Antônio João. **Rio de Janeiro: UFRJ**, 2014. Citado 2 vezes nas páginas 30, 33.

FREITAS, Susana Sofia Alves. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. 2008. Tese (Doutorado) – Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão. Citado 3 vezes nas páginas 20, 23–25.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos avançados**, SciELO Brasil, v. 21, n. 59, p. 7–20, 2007. Citado 1 vez na página 15.

MACHADO, Carolina T; MIRANDA, Fabio S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 126–143, 2015. Citado 0 vez na página 22.

MAIA, Doralice Sátyro; LIMA, Yure Silva; CARVALHO GOMES, Luciana de. ENERGIA SOLAR EM HABITAÇÕES POPULARES: UMA EXPERIÊNCIA NA POLÍTICA HABITACIONAL BRASILEIRA. **La electricidad y la transformación de la vida urbana y social**, p. 861–879, 2019. Citado 1 vez na página 15.

MARINOSKI, Deivis Luis; SALAMONI, Isabel Tourinho; RUTHER, Ricardo. Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do CREA-SC. **I Conferência Latino-Americana De Construção Sustentável X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo. ANTAC**, 2004. Citado 1 vez na página 20.

MARTINS, Fernando Ramos et al. Atlas brasileiro de energia solar 2. Inpe, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 15, 17.

MTE. **Norma regulamentadora NR10**: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade. Brasília, 2004. P. 18. Citado 1 vez na página 28.

_____. **Norma regulamentadora NR35**: Trabalho em Altura. Brasília, 2012. P. 16. Citado 1 vez na página 28.

NARUTO, Denise Tieko. Vantagens e desvantagens da geração distribuída e estudo de caso de um sistema solar fotovoltaico conectado à rede elétrica. **Monografia de Graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.**

Citado 2 vezes nas páginas 17, 22.

PEREIRA JR, Amaro Olimpio et al. Strategies to promote renewable energy in Brazil. **Renewable and sustainable energy reviews**, Elsevier, v. 15, n. 1, p. 681–688, 2011.

Citado 1 vez na página 15.

ROSA, Antonio Robson Oliveira da; GASPARIN, Fabiano Perin. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 7, n. 2, p. 140–147, 2016. Citado 1 vez na página 20.

RUTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. [S.l.]: Editora UFSC, 2004. Citado 1 vez na página 25.

SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, MAG de; CAMARGO, IM de T. Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais. In: CONGRESSO Brasileiro de Planejamento Energético (V CBPE). Brasília. [S.l.: s.n.], 2006. P. 60. Citado 1 vez na página 27.

SOLAR, Energia. Princípios e aplicações. **Centro de Referencia para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito–CRESESB, Rio de Janeiro. Disponível em:< http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf**, v. 4, 2006. Citado 3 vezes nas páginas 19–22.

SOLAR, Energia. Energia solar fotovoltaica. **Página consultada en la web el**, v. 26, 2007. Citado 0 vezes nas páginas 25, 26.

TOLMASQUIM, Mauricio T; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estudos CEBRAP**, SciELO Brasil, n. 79, p. 47–69, 2007. Citado 1 vez na página 16.

ZILLES, Roberto. Energia solar fotovoltaica. **USP, São Paulo**, 2012. Citado 1 vez na página 15.