



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS - DCEN

CURSO DE BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

KAELLY DE FREITAS SILVA

**EFICIÊNCIA DA ENERGIA SOLAR: UMA ANÁLISE DE PARÂMETROS NA
IMPLANTAÇÃO COMERCIAL E RESIDENCIAL**

PAU DOS FERROS – RN
2020

KAELLY DE FREITAS SILVA

**EFICIÊNCIA DA ENERGIA SOLAR: UMA ANÁLISE DE PARÂMETROS NA
IMPLANTAÇÃO COMERCIAL E RESIDENCIAL**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Centro Multidisciplinar – Pau dos Ferros para a obtenção do título de Bacharela em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Me. Fabíola Luana Maia Rocha – UFERSA

PAU DOS FERROS – RN
2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

SS586 Silva, Kaelly de Freitas.
e Eficiência da energia solar: uma análise de
parâmetros na implantação comercial e residencial /
Kaelly de Freitas Silva. - 2020.
44 f. : il.

Orientadora: Fabíola Luana Rocha.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2020.

1. Energia solar fotovoltaica. 2. custo-
benefício. 3. sistemas solares. 4. Energia
renovável. I. Rocha, Fabíola Luana , orient. II.
Título.

KAELLY DE FREITAS SILVA

**EFICIÊNCIA DA ENERGIA SOLAR: UMA ANÁLISE DE PARÂMETROS NA
IMPLANTAÇÃO COMERCIAL E RESIDENCIAL**

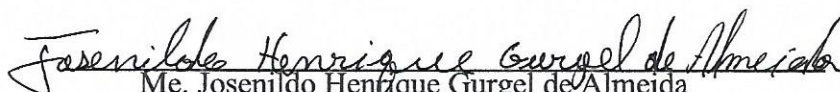
Monografia apresentada ao Centro Multidisciplinar
– Pau dos Ferros para a obtenção do título de
Bacharela em Ciência e Tecnologia.

APROVADA EM: 12/ 12/ 2020

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Ma. Fabíola Luana Maia Rocha – UFERSA.
Presidente

Prof.^o Esp. José Henrique Maciel de Queiroz – UFERSA.
Primeiro Membro


Me. Josenildo Henrique Gurgel de Almeida
Segundo Membro

Ser forte não significa exercitar os músculos. Significa encontrar seu próprio brilho sem fugir, vivendo ativamente com a natureza selvagem de uma maneira própria. Significa ser capaz de aprender, ser capaz de defender o que sabemos. Significa se manter e viver.

Clarissa Pinkola Estés

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus pelo dom da vida, por me dar a oportunidade de continuar e seguir fazendo o que gosto, com a determinação e fôlego que preciso para aceitar novos desafios, superando-me em cada concretização.

Aos meus pais, Hilda Maria Rezendes de Freitas Silva e José Vicente da Silva, agradeço pelo incentivo e por serem alento em momentos necessários nos quais, todo impulso dado pelo amor e carinho culminam na vontade de ser sempre a minha melhor versão, a que vocês construíram da forma mais atenciosa e humilde.

Agradeço a minha irmã, Camila de Freitas Silva, por todos ensinamentos, encorajamento e amparo que constituem a mulher incrível que você se tornou, você não poderia exercer o papel de irmã mais velha de forma mais sublime.

Agradeço a minha orientadora, a Prof^a. Ma. Fabíola Luana Maia Rocha, que me auxiliou durante a construção desse estudo. Pude contar com um ser humano e profissional incrível que, sem dúvidas, não restringe seu cuidado a este trabalho, mas também a outras parcerias acadêmicas e, acima de tudo, a uma parceria para a vida.

Agradeço aos meus amigos que fizeram parte dessa e outras vivências importantes em minha existência, todos os momentos de companheirismo, alegrias, conselhos, enfim, todas experiências, sendo elas positivas ou negativas, estiveram comigo e sempre estarão guardadas com toda sinceridade e carinho, pois foram fundamentais para cada passo dado.

Por fim, agradeço também aos meus professores, desde a educação básica ao ensino superior, por todo incentivo e conhecimentos compartilhados parara chegar aqui e sonhar com mais.

RESUMO

A necessidade de busca por fontes renováveis para produção de energia elétrica advém de tempos modernos, cuja meta principal é o desenvolvimento econômico com responsabilidade sobre o uso adequado do meio ambiente. Nesse sentido, a energia solar fotovoltaica surge como opção limpa, segura, eficiente e rentável, já que sua aplicação trará recursos positivos ao investimento aplicado com o passar dos anos de funcionamento. Partindo desse princípio, o presente trabalho buscou analisar o processo necessário para instalação de sistemas solares fotovoltaicos, desde a fase de dimensionamento até as projeções de investimento, geração e retorno de investimento em dois projetos: residencial e comercial. Nesse contexto, foram coletados dados de ambos de uma empresa que presta serviços de engenharia elétrica no Sertão Nordestino, a JPL Engenharia para uma análise qualitativa. Em decorrência dos estudos feitos com esses dados foi possível entender os procedimentos adotados com clareza, constatando a eficiência e custo-benefício da implantação de energia solar fotovoltaica. Para as duas edificações houve um retorno financeiro positivo no período de 3 anos e 9 meses, tempo considerado curto quando comparado ao período de vida útil dos módulos solares que é de cerca de 25 anos, logo, o consumidor terá um vasto período lucrativo. Nesse sentido, infere-se que a empresa tem apropriado desenvolvimento de seus projetos na área com ótima projeção das vantagens de realizar o investimento em questão, o que se caracteriza como essencial para a implantação dos sistemas solares.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica; custo-benefício; sistemas solares; Energia renovável.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Matriz elétrica brasileira.....	16
Quadro 2 – Caracterização da empresa	27
Quadro 3 – Irradiação local	31
Quadro 4 – Composição do gerador fotovoltaico residencial e custo total.....	33
Quadro 5 – Composição do gerador fotovoltaico comercial e custo total	34
Quadro 6 – Produção da usina solar residencial com degradação das placas e aumento do valor tarifário	35
Quadro 7 – Produção da usina solar comercial com a degradação das placas e aumento do valor tarifário	36
Quadro 8 – Despesas e fluxo de caixa da usina residencial	37
Quadro 9 – Despesas e fluxo de caixa da usina comercial.....	38

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Retorno do investimento em reais para a usina em Encanto – RN	38
Gráfico 2 – Retorno do investimento em reais para a usina em Cedro – CE	39
Gráfico 3 – Estimativa de geração e consumo para a usina em Encanto – RN.....	39
Gráfico 4 – Estimativa de geração e consumo para a usina em Cedro – CE.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de Sistema Híbrido	19
Figura 2 – Sistema de bombeamento fotovoltaico	20
Figura 3 – Exemplo de Sistema Fotovoltaico conectado a rede	20
Figura 4 – Radiação Solar no Brasil.....	21
Figura 5 – Brasil em Evolução de Energia Solar	22
Figura 6 – Fórmula do cálculo de custo unitário por energia gerada	25
Figura 7 – Fotografia da fachada da JPL Engenharia.....	27
Figura 8 – Localização da cidade de Cedro, Ceará	28
Figura 9 – Localização da cidade de Encanto, Rio Grande do Norte.....	29

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CA – Corrente alternada

CC – Corrente contínua

CE – Ceará

CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Souza Brito

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

kV – quilovolt

kW – quilowatt

kWh/m² – quilowatt-hora por metro quadrado

kWh/m².dia – quilowatt-hora por metro quadrado vezes dia

kWh/mês – quilowatt-hora por mês

MW – megawatt

RN – Rio Grande do Norte

TWh – Terawatt-hora

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL	15
2.2	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	17
2.2.1	Sistemas Fotovoltaicos	18
2.3	PANORAMA DA ENERGIA SOLAR NO BRASIL	21
2.4	INCENTIVOS PARA APLICAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS.....	22
2.5	CUSTOS DE INSTALAÇÃO	24
3	LOCAL DA PESQUISA	26
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA.....	26
3.2	CARACTERIZAÇÃO DAS CIDADES DE ESTUDO.....	28
3.2.1	Cedro – CE	28
3.2.2	Encanto – RN	29
4	PERCURSO METODOLÓGICO	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
5.1	ANÁLISE DE PROCEDIMENTOS PARA OS PROJETOS DAS USINAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	31
5.1.1	Irradiação média local	31
5.1.2	Diagnóstico do consumo energético de cada cliente	32
5.2	DIMENSIONAMENTO DA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	33
5.3	CONSUMO E GERAÇÃO DAS USINAS SOLARES	34
5.3.1	Geração anual com reajuste de tarifa e degradação das placas	35
5.3.2	Despesas com manutenção e fluxo de caixa referente ao reembolso de manutenção e retorno do investimento	36
5.3.3	Estimativa de geração de energia elétrica	39
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
7	REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

As fontes renováveis de energia podem ser definidas como os meios encontrados na natureza que servem para a produção de energia, estando intimamente relacionadas com o desenvolvimento sustentável, visto que há, atualmente, aumento das demandas de energia elétrica em consequência do crescimento populacional. Nesse sentido, ao considerar uma fonte geradora de energia elétrica é necessário também analisar formas de priorizar a promoção de fontes limpas e com o mínimo de impactos ambientais, como é o exemplo da energia solar.

Segundo Pinho e Galdino (2014) a energia proveniente de fonte solar pode ser subdivida em térmica e fotovoltaica: a primeira diz respeito ao aquecimento de fluidos que poderão produzir eletricidade e a segunda é a transformação da energia radiante do sol em energia elétrica. A energia solar fotovoltaica utiliza mecanismos de captação da luz solar através dos módulos ou células fotovoltaicas que convertem essa energia em eletricidade, dependendo da irradiação do local, dos investimentos e das tecnologias de captação disponíveis.

A nível mundial, poucos são os investimentos que circundam essa fonte de energia, apesar da sua grande oferta, observando-se considerável desenvolvimento em países desenvolvidos que buscam ampliar as aplicações de fontes de energia limpas. No Brasil, além de baixo incentivo à instalação de sistemas fotovoltaicos por parte de medidas governamentais, há grandes custos envolvidos na compra dos módulos e células. Entretanto, mesmo diante desse cenário, denota-se uma considerável intensificação das instalações de sistemas fotovoltaicos em território nacional.

Corroborando essa concepção, EPE (2018) afirma que a participação da energia solar e eólica somadas na matriz elétrica brasileira é de 6,9%, um número bastante expressivo e significativo. Isso se relaciona com a boa localização de maior parte do território brasileiro na zona tropical, próximo a Linha do Equador o que está intimamente relacionado com seus altos índices de irradiação solar, principalmente na região Nordeste.

Diante dessa perspectiva, é relevante analisar a eficiência e importância da implantação desses sistemas solares, em especial para a região Nordeste, em edificações residencial e comercial, caracterizadas como as principais utilizadas na referida região. Com isso, essas unidades consumidoras podem obter redução dos gastos com eletricidade, bem como rendimento financeiro a partir de certo tempo da aplicação das usinas, caracterizando sua lucratividade a longo prazo.

Mediante a tais inferências, no intuito de especificar sistemas solares na região, o presente trabalho buscou realizar análises de dados fornecidos pela empresa JPL Engenharia para avaliação dos procedimentos da instalação de sistemas fotovoltaicos para clientes residencial e comercial, no Sertão Nordestino. De forma mais específica, pretendeu-se analisar a irradiação solar do local que

serão instalados módulos fotovoltaicos, fazendo a estimativa de produção de energia elétrica e custos dos investimentos feitos, traçando ainda, o paralelo entre as duas edificações, tornando ampla a visão da microgeração e minigeração distribuída de energia solar fotovoltaica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A energia Solar é proveniente do Sol, cujas principais aplicações geram produção de eletricidade ou calor, através da energia solar fotovoltaica e energia térmica, respectivamente. Nesse sentido, o Sol como fonte de energia renovável possui um potencial ilimitado e a energia solar fotovoltaica é gerada através de placas solares que captam a luz do sol e a transformam em energia elétrica.

Assim, este capítulo será composto pela Fundamentação Teórica, onde serão apresentados os conceitos e estudos referentes ao tema proposto. Serão abordadas as fontes de energia renováveis, apresentação dos conceitos em energia solar, suas aplicabilidades como incentivos para esse meio de energia e seus custos de instalação e manutenção.

2.1 FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL

Sabe-se que, continuamente, práticas sustentáveis são adotadas para o desenvolvimento consciente em todo o mundo. Nesse tocante, destaca-se o fornecimento de energia elétrica, este, sendo fundamental para a população, no qual se tem como indispensável a busca por alternativas que minimizem impactos causados pelos avanços tecnológicos. Nesse aspecto, surge então a necessidade de se priorizar as fontes de energia renovável, metodologias essenciais para a sustentabilidade.

O termo “energia renovável”, como o próprio nome sugere, está atrelado ao fato dessas fontes apresentarem-se na natureza de forma inesgotável, propiciando se renovar facilmente ou apenas estarem disponíveis sem cessar, tais como energia solar, eólica, hidroelétrica, geotérmica, entre outras. De acordo com Mauad (2017) o uso e aplicabilidade desses recursos serão determinados conforme sua abundância e tecnologias existentes no local para sua extração.

Como citado acima, a energia hidroelétrica se encaixa na classificação de recurso renovável, porém, “recursos renováveis podem ser exauridos, se não forem gerenciados de maneira sustentável” (CAPRIGLIONE, 2007, p. 18). Sendo assim, apesar de conter características renováveis, a água é um recurso abundante que carece de gerenciamento em seu uso nesse aspecto, podendo ser extinto em determinadas localidades que a utilização em larga escala.

Quadro 01: Matriz elétrica brasileira

Matriz elétrica brasileira	Utilização (%)
Hidroelétrica	65,2
Gás natural	10,5
Biomassa	8,2
Solar e eólica	6,9
Carvão	4,1
Nuclear	2,6
Petróleo e derivados	2,5

Fonte: Adaptado de EPE, 2018.

Como é observada no quadro 1 acima, a maior fonte geradora de energia elétrica no Brasil é a hidroelétrica, cujas construções grandiosas feitas ao longo do curso dos rios são responsáveis pela maior parte do fornecimento brasileiro. Apesar de considerada uma energia renovável, para seu emprego as hidrelétricas implicam impactos ambientais e sociais em sua construção, tais como o alagamento dos locais, causando morte de parte da fauna e flora do local, bem como saída de populações ribeirinhas.

O Sol é a estrela central cujos outros planetas e demais elementos do sistema giram em seu redor, essa estrela além de fornecer sua energia luminosa, também gera calor. Nesse sentido, o aproveitamento da radiação solar pode se dar através da energia térmica e elétrica.

Segundo Pinho (2014), a radiação solar quando atinge a superfície da Terra apresenta-se de duas formas, direta e difusa. Para a radiação direta, os feixes de luz chegam diretamente da direção do Sol, observando-se, assim, sombras bem definidas. Já a difusa se dissemina pela atmosfera, essa disseminação pode ser resultado das nuvens ou outros bloqueios como árvores, casas, prédios, montanhas, entre outros. Diante das inúmeras possibilidades de obstáculos e absorção pelos gases presentes na atmosfera, como também a presença de nuvens em dias mais nublados, maior parte da radiação solar observada na extensão terrestre é difusa.

Mediante ao exposto, é necessário frisar as formas naturais de energia, sendo a energia solar a que demonstra ter um grande diferencial, o Sol, uma infinita fonte de energia e responsável praticamente por todas as outras fontes. Abaixo iremos abordar sobre a Energia Solar Fotovoltaica.

2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é adquirida através da conversão direta da luz em eletricidade, produzindo o efeito fotovoltaico. Esse efeito foi observado à primeira vez pelo físico francês Edmund Becquerel no ano de 1839, o físico observou o aparecimento de uma tensão entre os eletrodos de solução condutora, quando esta era iluminada pela luz solar. Mais tarde, foi concebido o primeiro aparato fotovoltaico proveniente dos estudos da física do estado sólido e apenas em 1956 que se iniciou a produção industrial (PINHO E GALDINO, 2014).

Desse modo, a energia fotovoltaica é uma energia solar resultante da conversão direta da luz solar em eletricidade usando as células fotovoltaicas, sendo instaladas em telhados para produzir energia para autoconsumo, veículos elétricos e grandes centrais fotovoltaicas para gerar energia para muitos consumidores (PINHO E GALDINO, 2014).

As vantagens da energia solar fotovoltaica são nítidas, pois sua matéria prima é inesgotável, não há emissão de poluentes durante a geração de eletricidade os sistemas podem ser instalados em todo território. Já as suas desvantagens têm relação com a densidade de potencial que chega a superfície terrestre, tendo em vista que é pequeno quando comparado às fontes fósseis e a energia solar disponível varia sazonalmente, sendo afetada pelas condições climáticas e seus equipamentos de captação e conversão requerem investimentos financeiros altos se comparados com os sistemas convencionais (SOUZA, 2016).

Pinho e Galdino (2014) destacam que as principais tecnologias aplicadas na produção de células e módulos fotovoltaicos classificam-se em três gerações:

- Primeira Geração: dividida em duas cadeias produtivas: o silício monocristalino (m-Si) e o silício policristalino (p-Si), esta representam mais de 85% do mercado, dentre os motivos para essa abrangência, destaca-se como uma tecnologia confiável e com melhor eficiência comercialmente;
- Segunda Geração: designada de filmes finos apresenta três cadeias produtivas: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS) ou disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) telureto de cádmio (CdTe). Quando comparada a primeira geração apresenta menor eficiência e tem modesta participação no mercado. Há dificuldades com a disponibilidade dos materiais, vida útil, rendimento de células e no cádmio, em que a toxicidade retarda a utilização em maior escala;

- Terceira Geração: encontra-se em fase de pesquisa e desenvolvimento, apresenta três divisões produtivas: célula fotovoltaica multijunção e célula fotovoltaica para concentração, células sensibilizadas por corante e células orgânicas ou poliméricas. Constatou-se que a tecnologia de célula fotovoltaica por concentração tem forte potencial para produção de módulos com altas eficiências, embora o custo não seja competitivo.

Essas tecnologias envolvidas na confecção dos módulos fotovoltaicos são de fundamental importância para evolução da qualidade e produtividade dos sistemas, tornando o mercado mais competitivo e com maiores opções para compra.

2.2.1 Sistemas Fotovoltaicos

Segundo Camargo (2017), os sistemas fotovoltaicos utilizam o sol como fonte primária de energia para geração. Sendo esta uma geração de energia descentralizada, diferentemente das grandes usinas geradoras que geram altas quantidades de energia distantes dos grandes centros consumidores, os sistemas fotovoltaicos normalmente têm suas unidades de consumo próximas a sua área de utilização.

Dessa forma, os sistemas podem ser implantados em qualquer local que tenha radiação do sol, neste tipo de sistema não se utiliza combustíveis, não possuem partes móveis, requerem menor manutenção devido serem dispositivos de estado sólido. No seu funcionamento não produzem ruídos acústicos ou eletromagnéticos e não poluem o meio ambiente (SOUZA, 2016). São classificados de acordo com a forma de geração ou entrega de energia: Sistemas Isolados e Sistemas Conectados à Rede (On- Grid) (ABNT NBR 11704, 2008).

- Sistemas Isolados: Geralmente esse tipo de sistema utiliza de alguma forma de armazenamento, podendo ser adquirido através de baterias utilizando aparelhos eletrônicos ou armazenamento de energia gravitacional bombeando água para tanques em sistema de abastecimento. Há sistemas isolados que não precisa de armazenamento, no caso da irrigação, toda a água bombeada é consumida ou estoca em reservatórios (CRESESB, 2008). Além disso, podem ser classificados em Híbridos, Autônomos Puros e Sistemas Autônomos Sem Armazenamento (SOUZA, 2016).

- Sistemas Híbridos: Este tipo de sistema, mostrado na figura 1, trabalha em conjunto com outro sistema de geração elétrica. Tem como maior benefício promover eletricidade (armazenada nas baterias), na privação de sol, ou seja, em dias de baixa, ou nenhuma,

geração. A geração elétrica pode ocorrer através do aerogerador (no caso de um sistema híbrido solar-eólico), um moto-gerador a combustível, como o diesel ou qualquer outro sistema de geração elétrica. Esse tipo de sistema é considerado complexo, por necessitar da integração de diversas formas de produção de energia, como os citados acima (PEREIRA & OLIVEIRA, 2011).

Figura 1: Exemplo de Sistema Híbrido



Fonte: CRESESB, 2008.

- Sistemas Autônomos Puros: este tipo de sistema é considerado puro pois não possui outra forma de geração de eletricidade. Por gerar eletricidade nas horas de luz solar, o mesmo é dotado de acumulador que armazena a energia para os períodos sem a radiação solar. Esses acumuladores são dimensionados de acordo com a autonomia, variando de acordo com as condições climatológicas da localidade em que está instalado (SENAI, 2016).

- Sistemas Autônomos Sem Armazenamento: como a própria nomenclatura já diz, são sistemas sem armazenamento que funcionam somente nas horas de sol. Leva-se em consideração a necessidade de água e o potencial solar da localidade. Não se utiliza um sistema de armazenamento elétrico, pois o armazenamento energético é feito na forma da água no reservatório (SOUZA, 2016).

Figura 2: Sistema de bombeamento fotovoltaico



Fonte: Portal Solar, 2020

- Sistemas Conectados à Rede (On- Grid): este tipo, como observa-se na figura 3, de sistema opera paralelamente à rede de eletricidade. Esses sistemas são conectados em locais já atendidos pela energia elétrica, não possuem armazenamento de energia, fazendo com que o excedente de energia produzida pelo sistema seja injetado na rede elétrica. A constituição do sistema On-Grid é formada por um conjunto de módulos fotovoltaicos, que geram a energia, um grupo de inversores, que fazem a conversão CC-CA para conexão de rede elétrica, caixas de junção e dispositivos de proteção e medição da energia produzida (CAMARGO, 2017). Vale salientar que este tipo de sistema depende de regulamentação e legislação favorável, visto que, usam a rede de distribuição das concessionárias para o escoamento da energia gerada (SOUZA, 2016).

Figura 3: Exemplo de Sistema Fotovoltaico conectado a rede

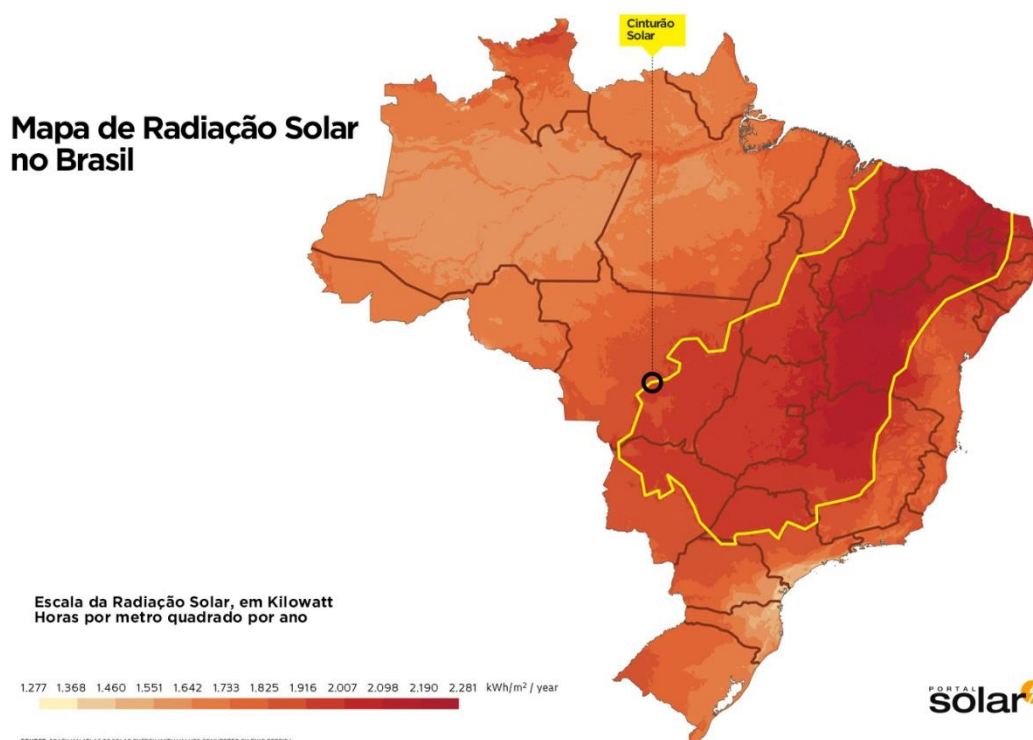


Fonte: CRS, Energia Solar, 2017

2.3 PANORAMA DA ENERGIA SOLAR NO BRASIL

Em todo o mundo o Brasil é país que mais recebe irradiação solar. Estando localizado próximo a linha do Equador, o Brasil recebe alta incidência de sol durante todo o dia e tem pouca variação nas estações do ano (BOREALSOLAR, 2016). Abaixo o mapa da figura 4 demonstra as principais regiões brasileiras com vantagens na produção de energia solar.

Figura 4: Radiação Solar no Brasil



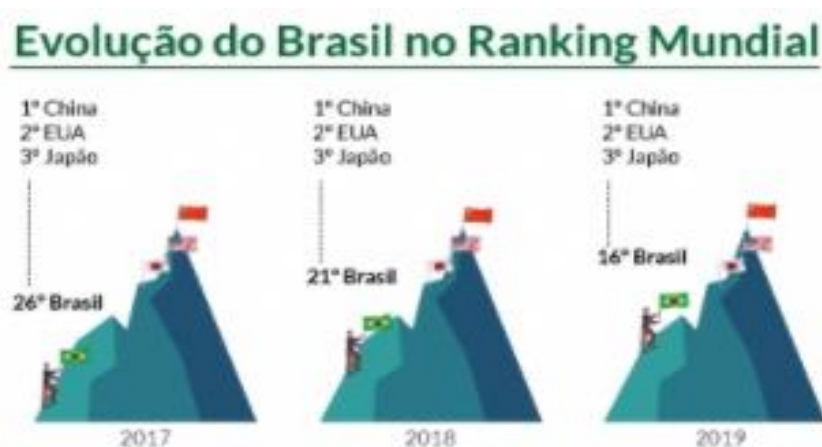
Pode-se destacar que o Brasil também possui uma grande diversidade de recursos e um amplo território, apresentando assim diversificadas oportunidades na sua matriz energética. A Resolução Normativa Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012, vem afirmar essa prerrogativa, regulamentando a geração de energia através de placas solares fotovoltaicas (ANEEL, 2012). Desse modo, podemos observar que temos incentivos para geração distribuída a níveis menores como a minigeração e a microgeração, cujo consumidor pode contar com empréstimos gratuitos e créditos à sua concessionária local.

O território brasileiro como um todo, possui um grande potencial para capacitação de energia solar, quando comparado por região, o Nordeste apresenta maior influência energética, pelo fato de estar próxima a Linha do Equador, com 5,9 kWh/m² de radiação global média e baixa diferença de incidência durante o ano. Seguido com maior incidência

solar está o Centro Oeste e Sudeste. Já a região Norte, por características geográficas e climáticas recebe pouca incidência solar comparada com as outras regiões do Brasil (BOREALSOLAR, 2016).

Assim, o Brasil se tornou uma boa opção de energia solar e os números de instalação de energia solar só cresce a cada dia. Nos últimos anos, houve uma melhor oferta de incentivos, linhas de financiamento, queda de preços da tecnologia levando o Brasil a se destacar no cenário mundial. Como podemos ver na figura 05 abaixo:

Figura 5: Brasil em Evolução de Energia Solar



Fonte: ABSOLAR, 2020

Destarte, o Brasil entrou para a lista dos 20 países líderes em capacidade de energia solar no mundo. Esse destaque toma uma proporção mundial quando consideramos que o Brasil tem uma significativa reserva de silício, como também seu espectro energético, incentivo e participação da população, como um país têm todas as condições necessárias para ser um grande produtor de energia solar (BOREALSOLAR, 2016).

2.4 INCENTIVOS PARA APLICAÇÃO DE PAÍNEIS SOLARES FOTOVOLTAICOS

A produção de energia solar fotovoltaica no Brasil cresceu exponencialmente nos últimos anos. Um exemplo desse crescimento é que no ano de 2018 a potência instalada era de aproximadamente 398 mil kW, enquanto que em 2019 os números saltaram para 1,519 milhões kW, esses dados da Agência Nacional de Energia Elétrica representam que a Energia Solar Fotovoltaica, mesmo não sendo a principal fonte da matriz energética nacional tem a cada dia ganhado espaço como fonte de energia. Podemos levar em consideração que o setor

vem recebendo incentivos nos últimos anos, a seguir, serão exemplificados os benefícios e incentivos destinados à fonte solar.

- Programa Luz Para Todos (LPT) - tem o objetivo de atender zonas rurais sem acesso à energia elétrica, de forma geral este programa colabora no desenvolvimento social e econômico do país. No tocante a energia solar, os painéis fotovoltaicos podem ser instalados em regiões que não tem acesso a eletricidade, com sistemas isolados, por exemplo (BRASIL, 2019);
- Descontos na Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão (TUST) e na Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD) – Esse incentivo tem por objetivo estimular o desenvolvimento de fontes alternativas no processo de produção de energia elétrica. A Lei de nº 9.427 de 26 de dezembro de 1996, favorece empreendedores e consumidores nos segmentos de fonte solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada. A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) determina que o percentual de redução não inferior a 50% (cinquenta por cento) a ser aplicado às Tarifas de Uso dos Sistemas de Transmissão (TUST) e de Distribuição (TUSD), incidindo na produção e no consumo da energia comercializada. Desse modo, dá direito ao desconto os empreendimentos caracterizados como Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) e a fontes solares, eólicas e biomassa (ANEEL, 2012).
- Geração Distribuída: Micro e Minigeração Distribuídas – A partir da Resolução Normativa de nº 482/2012 de 17 de abril de 2012 e a revisão dessa resolução Normativa nº 687/2015, determina condições para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica. De modo que, o consumidor possa gerar sua própria energia elétrica com fontes renováveis ou cogeração qualificada. Destaca-se os estímulos como o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o seu baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética. Sendo permitido o uso de qualquer fonte renovável, a cogeração qualificada, microgeração com potência instalada até 75 kW e minigeração com potência acima de 75 kW e menor igual a 5 MW, estas com conexão na

rede de distribuição através de instalações de unidades consumidoras (ANEEL, 2015).

- Isenção do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) para os painéis solares (PLS 167/2013) – Tem como objetivo reduzir os custos dos sistemas de conversão de energia solar em energia elétrica através da isenção do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) (SENADO FEDERAL, 2013).
- Isenção do ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços) – Foi estabelecido em 2014 em vários estados do Brasil, mediante as diretrizes do Convênio ICMS 16/2015 do Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz). Aqui há uma isenção do imposto de uma serie de produtos relacionados à geração de energia solar, como placas e geradores. (BRASIL, 2015).

Diante disso, percebe-se que os números de crescimento em energia solar tem relação com esses incentivos, entretanto segundo Souza et al. (2017) o Brasil tem um grande potencial, porém ainda é pouco explorado, tendo uma capacidade de gerar anualmente de 1200 kWh/m² a 2400 kWh/m² por fonte solar. Para o autor ainda há uma falta de políticas e incentivos diretos para o uso de energia solar fotovoltaica no país, a questão dos altos custos iniciais e um longo tempo para retorno financeiro.

2.5 CUSTOS DE INSTALAÇÃO

Mesmo com um vasto tempo de descoberta do efeito fotovoltaico pelo físico francês Edmond Becquerel no ano de 1839, esse tipo de tecnologia mesmo com tantos avanços, ainda caminha de forma lenta quando comparada com outras fontes. Os investimentos de sistemas fotovoltaicos como destaca Dassi et al. (2015), em sua análise sobre a viabilidade econômica financeira de um sistema fotovoltaico, é que apesar da energia solar ser abundante como uma fonte renovável, ainda assim, os custos por kw instalado é mais elevado quando comparado com outras fontes, o autor, discute sobre a decorrência dos gastos do processo de fabricação de painéis e a fraca expansão.

Desta forma, segundo Dassi et. Al (2015), o custo proveniente da implantação da geração solar pode chegar a 50 vezes mais do que o custo de uma implantação de uma pequena central hidrelétrica, porém mostra-se mais eficiente para sistemas isolados como

também para geração interligada à rede elétrica. Ainda segundo o autor, a partir da diminuição dos custos dos sistemas solares, da sua valorização ambiental e social o sistema solar pode se tornar economicamente competitivo em curto prazo.

Depois de definido os custos de implantação, começa-se a calcular o valor da energia produzida, para isso se utiliza o total de gastos iniciais e de manutenção dividido pelo total de energia produzida, considerando três horizontes de tempo: 10 anos, 15 anos e 20 anos. Assim, a fórmula utilizada é a evidenciada na figura 6, a seguir.

Figura 6: Fórmula do cálculo de custo unitário por energia gerada

$$Custo_{unitário} = \frac{\sum_{i=0}^N [(Inv_i + CO\&M_i) * (1 + taxa)^{-i}]}{\sum_{i=0}^N [EneProd * (1 - \eta_i) * (1 + taxa)^{-i}]}$$

Fonte: IPEA, 2018

Segundo o IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2018) a fórmula de custo unitário define-se da seguinte maneira:

- N – número de anos considerado;
- Inv_i – o investimento no ano i;
- $CO\&M_i$ – os custos de operação e manutenção no ano i;
- $EneProd$ – a energia produzida durante o ano;
- h – o fator de decaimento anual da eficiência da placa;
- taxa – taxa de desconto ao ano.

Assim, para o Ipea (2018), os investimentos ocorrem em dois momentos, o ano inicial ($i=0$) onde há o investimento dos equipamentos necessários e no 15º ano na substituição do inversor e o stringbox. Outros estudos como EPE (2013), Lacchini & Dos Santos (2013) e Mitscher & Ruther (2012), relatam que os custos de manutenção e operação equivalem aproximadamente 1% do custo inicial do sistema instalado. Desse modo, o sistema fotovoltaico tem baixo custo de manutenção ao longo do tempo, já o custo de operação condiz com a necessidade de troca do inversor, estes duram em média de 10 a 15 anos.

Ainda em relação à manutenção quando realizada a curto prazo, condiz com o acúmulo de sujeira sobre os painéis impactando sua eficiência na conversão de energia.

Quando há esse acúmulo a irradiância decresce e apresenta perda de potência. Assim, as manutenções em curto prazo muitas vezes se restringem a limpeza de painéis fotovoltaicos, estas podem ser realizadas pelo próprio investidor ou pela própria chuva quando os painéis possuem inclinação de 5° a 10° (NASCIMENTO, 2013).

3 LOCAL DA PESQUISA

Os estudos foram desenvolvidos em uma empresa responsável pela instalação e manutenção de placas solares fotovoltaicas com sede na cidade de São Miguel, município do Rio Grande do Norte. Tal empresa é responsável por uma considerável parcela de instalações de sistemas de aproveitamento da energia solar dos municípios da região, tendo boa parte de seus clientes no estado em questão, como também em outros circunvizinhos, como Paraíba e Ceará.

Como obras desse tipo são feitas pela empresa em vários locais distintos da região, circundou-se como foco principal analisar duas delas já concluídas que, mesmo após instaladas, a empresa analisa seu funcionamento e respectivo sucesso ou incongruências no resultado esperado. Diante disso, serão aqui investigadas uma instalação de grande porte feita em um supermercado na cidade de Cedro, no estado do Ceará e uma de pequeno porte, de caráter residencial, na cidade de Encanto, Rio Grande do Norte.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

Com relação às características da empresa e sua história, temos que a “JPL Engenharia” foi aberta em 17 de maio de 2019 através de uma sociedade entre engenheiros, na cidade de São Miguel, município do Rio Grande do Norte. Sua sede, indicada na figura 7 está localizada na Rua Coronel João Pessoa, Centro, São Miguel – RN. Contudo, é fundamental destacar que o estudo foi feito pela análise de obras concluídas pela empresa no município de Cedro, no Ceará, e Encanto, no Rio Grande do Norte.

Figura 7: Fotografia da fachada da JPL Engenharia

Fonte: Acervo da pesquisa, 2020

Além disso, analisando organograma, constata-se a presença de cinco empregados, cuja direção de execução e licitação; projeto, comercial e finanças e; marketing é assumido por três sócios da empresa e os demais atuam como engenheiros projetistas. Nesse sentido, os projetos realizados pela empresa são classificados em: projeto de subestação de energia elétrica aérea e abrigada, projeto de múltiplas unidades consumidoras, projeto de instalações elétricas, projeto de Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA) e projetos de energia solar fotovoltaica.

A empresa presta serviços de engenharia em toda região, com foco em serviços de engenharia elétrica, sendo a ênfase desse trabalho voltada para os sistemas solares implantados pela empresa. De acordo com a pesquisa, temos então a seguinte caracterização:

Quadro 2: Caracterização da empresa

Nome Fantasia	JPL Engenharia
Endereço:	Rua Coronel João Pessoa, Centro, São Miguel – RN
Razão Social:	Gurgel Azevedo e Teofilo Serviços de Engenharia Ltda
Atividade Econômica:	Serviços de engenharia
Total de empregados:	15

Fonte: Acervo da pesquisa, 2020

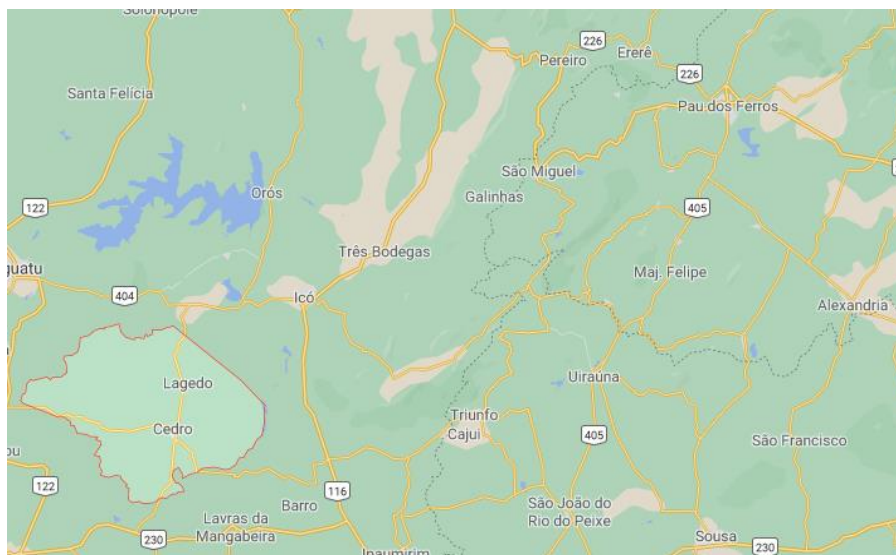
Nesse sentido, a localização da JPL Engenharia na cidade de São Miguel, no Rio Grande do Norte, facilita a aplicação de seus serviços em várias cidades vizinhas, como é o caso de Encanto e Cedro. A partir do exposto, faz-se necessária uma breve caracterização das cidades que serão foco da abordagem, já que estes projetos realizados pela empresa em questão serão aqui analisados.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS CIDADES DE ESTUDO

3.2.1 Cedro – Ceará

Como já evidenciado, uma das cidades em que é realizada a pesquisa, Cedro (ver figura 8 abaixo), está situada na região centro-sul do Estado do Ceará com uma faixa territorial de 729,970 km² e população estimada de 25.585 habitantes. Seu Índice de Desenvolvimento Humano – IDH – foi de 0,627 em 2010 e Produto Interno Bruto – PIB – de 7.493,12 R\$ em 2017 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas – IBGE, 2020).

Figura 8: Localização da cidade de Cedro, Ceará



Fonte: Adaptado de Google Maps, 2020

Ademais, destaca-se a importância de buscar fontes de energia renováveis que possam ser viáveis e melhores empregadas na cidade, levando em conta a oferta de sua fonte energética, consumo e custos para o local. Nesse sentido, a usina fotovoltaica instalada pela JPL Engenharia foi feita em um supermercado, sendo caracterizada por uma obra de grande porte com alta geração diária de megawatts-hora.

seus resultados. Ou seja, ao analisarmos uma instalação de placas solares fotovoltaicas de grande e pequeno porte, as demais dentro destas naturezas, feitas de forma esperada pela empresa, estarão provavelmente com desempenho e custo-benefício aproximado.

Caminhando ao lado, tem-se o método dialético que baseia-se na contraposição de ideias. Nesse sentindo, ao contrapor e analisar uma usina fotovoltaica residencial e uma em um supermercado estamos levando em consideração o caráter totalmente oposto de cada, mas colocando em evidência, segundo Gil (2008, p. 13), a “unidade dos opostos”. Para isso, a empresa de serviços de engenharia forneceu dados de duas instalações feitas e ainda acompanhadas por ela, sempre preservando a identidade dos clientes envolvidos.

Dessarte, em relação aos procedimentos técnicos, para as duas obras foram feitas projeções pelos engenheiros responsáveis da empresa de forma a analisar qualitativamente todos os valores da instalação, tais como custo dos painéis fotovoltaicos, inversores, custo da mão de obra, fornecimento diário esperado, entre outros. Nesse tocante, o presente trabalho busca compreender, através de dois objetos distintos, o custo-benefício de sistemas solares fotovoltaicos, bem como seus procedimentos para concretização de um projeto desses.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A princípio, tendo em vista as definições abordadas acerca do tema e importância da realização dos projetos da empresa, para que se obtenha uma visão mais ampla, são traçadas análises de dois projetos distintos realizados e acompanhados pela JPL Engenharia. Dessa forma, todo procedimento inicial para dimensionamento, até sua aplicação e análise de desempenho da potência gerada pelas usinas foi investigado nas duas esferas: projeto de usina solar fotovoltaica de uma residência com microgeração na cidade de Encanto – RN e de uma usina solar fotovoltaica de minigeração, para um supermercado na cidade de Cedro – CE.

Ao analisar o consumo de cada cliente, é possível conhecer sua classificação quanto à classe de consumo em que ele está alocado, sendo a usina no município de Encanto tida como residencial B1, com tensão fornecida à unidade inferior a 2,3kV. Já para o município de Cedro tem-se que o ponto comercial está classificado segundo o grupo A em A4, cuja tensão fornecida ao estabelecimento está entre 2,3kV e 25kV. Isto posto, ao se referir às unidades serão usados os termos “B1” e “A4” ou apenas “residencial” e “comercial”, respectivamente.

5.1 ANÁLISE DE PROCEDIMENTOS PARA OS PROJETOS DAS USINAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Inicialmente, foi feito o levantamento das características preponderantes para o projeto, sendo elas: média do consumo, preço da tarifa do quilowatt-hora cobrado pela concessionária em questão e irradiação média local. Essas especificidades são variáveis que influenciam diretamente o dimensionamento da usina que será instalada e seus consequentes custos de investimento para o cliente, dessa forma faz-se, a seguir, a análise paralela entre esses dados para as duas instalações.

5.1.1 Irradiação média local

Nesse tocante, é sabido que o Brasil tem alto potencial energético devido à localização que privilegia sua incidência solar e, sendo ainda mais específico, a região Nordeste contempla os melhores índices de irradiação solar do país. Para tanto, com duas cidades estando situadas em pontos que favorecem sua aplicação, é de fundamental importância que os projetos acerca da utilização dessa fonte renovável sejam assertivos e discorram a melhor forma de aproveitamento.

A irradiação média local é consultada de várias formas, dentre elas, como o auxílio do programa SunData pertencente ao Centro de Referência para as Energia Solar e Eólica Sérgio de Souza Brito (CRESESB), quando informadas as coordenadas geográficas do local. Para a unidade residencial em Encanto, são usadas as coordenadas da cidade vizinha, Pau dos Ferros – RN (latitude: 6° 6' 9" Sul, longitude: 38° 12' 33" Oeste) devido à falta de dados do local que será executada a instalação. Já a unidade comercial de Cedro possui latitude: 6° 36' 27" Sul, longitude: 39° 3' 38" Oeste, e segundo esses dados, são fornecidas as irradiações para cada mês do ano, mostrando também sua média final como no quadro 3, abaixo:

Quadro 3: Irradiação local

Irradiação local		
Mês	Pau dos Ferros – RN	Cedro - CE
	kWh/m².dia	kWh/m².dia
Janeiro	5,59	5,09
Fevereiro	5,56	5,16

Março	5,8	5,1
Abril	5,98	4,98
Maio	5,93	5,33
Junho	5,96	5,06
Julho	5,89	5,45
Agosto	6,59	6,19
Setembro	6,83	6,13
Outubro	6,73	6,23
Novembro	6,93	6,03
Dezembro	5,92	5,52
Média	6,14	5,52

Fonte: Adaptado de JPL Engenharia, 2019

Como observado acima no quadro 3, a média de irradiação para a cidade de Pau dos Ferros – RN e Cedro – CE, respectivamente foi de 6,14 kWh/m².dia e 5,52 kWh/m².dia, caracterizando valores expressivos para seu aproveitamento nas duas unidades. Para a cidade de Encanto, os valores são aproximados ao da cidade de Pau dos Ferros por estarem próximas.

5.1.2 Diagnóstico do consumo energético de cada cliente

Segundo dados obtidos pela JPL Engenharia a média do consumo da residência apresentada para o ano de 2019 foi de 545,08 kWh/mês, para isso, foi consultado o histórico disponível na fatura mensal da concessionária, neste caso, a COSERN – Companhia Energética do Rio Grande do Norte. Ainda nesse sentido, verificou-se que o valor da tarifa é de R\$ 0,77, logo, este será o fator multiplicativo para obter a média de consumo em reais, ficando com uma média de consumo com tarifa aplicada de R\$ 419,71.

Já para o ponto comercial da cidade de Cedro, no Ceará, foram obtidos dados considerados altos se comparados com a residência; neste caso, a média de consumo foi de 37.422,92 kWh e o valor da tarifa foi de R\$ 0,41946, cuja média em reais foi de R\$ 15.697,42. Como esperado, para o supermercado o consumo seria muito maior devido à ampla estrutura e os inúmeros equipamentos envolvidos em seu funcionamento, tais como frízeres, ares-condicionados, estufas, luzes, computadores, expositores, dentre outros vários.

Ainda nessa fase é feita a projeção dos preços das tarifas para os anos subsequentes com o reajuste de 8% ao ano para ambas unidades consumidoras, esse aumento serve para que o projeto se aproxime mais ainda dos valores reais que serão alcançados ano após ano.

5.2 DIMENSIONAMENTO DA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA

Diante do levantamento anteriormente exposto é feito o dimensionamento da usina solar para cada um dos casos, cujos parâmetros necessitam atender as especificações circunstanciais de sua demanda. Além disso, o projeto da usina poderá considerar também uma geração que ultrapasse o consumo, para que os chamados créditos de energia solar sejam aplicados ao sistema de compensação energética previsto pela Resolução Normativa 482/12 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Para a unidade B1, a usina foi dimensionada com o intuito de superar o consumo da residência, visto que o cliente usaria os créditos transferidos para outra propriedade, deste modo, seriam necessários 14 módulos solares de 335 Wp de potência para o gerador fotovoltaico de 7,37 kWp. Além disso, como consta no quadro 4, há os demais materiais empregues no projeto, bem como ferramentas usadas e os custos de mão de obra.

Quadro 4: Composição do gerador fotovoltaico residencial e custo total

Composição para gerador fotovoltaico	
Quantidade	Descrição
12	Módulo policristalino BYD 335PHK-36
4	Conector MC4 acoplador macho
4	Conector MC4 acoplador fêmea
1	Inversor solar REFUSOL 801P005200 5kW monofásico 220V 2MPPT monitoramento
50	Cabo CC NEXANS 51740 ENERGYFLEX BR 0,6/1kV (1500 V DC) preto
50	Cabo CC NEXANS 51740 ENERGYFLEX BR 0,6/1kV (1500 V DC) vermelho
1	String box ABB 1SLM300101A0790BRA quadro 2 entradas 1 saída 1000V
3	Estrutura solar GROUP KTHTC420X000MD04 PERFIL THUNDER telha colonial 4,20m
3	Estrutura solar GROUP ATHTC420X000MD04 4 PAINEIS FIXADOR GANCHO telha colonial
Preço: R\$ 22.049,03	

Fonte: Adaptado de JPL Engenharia, 2019

Já para o projeto da usina na unidade A4 sua geração buscou suprir a demanda energética do estabelecimento com 714 módulos solares de 365Wp de potência com o gerador de 5,11 kWp, cuja composição é evidenciada no quadro 5, abaixo.

Quadro 5: Composição do gerador fotovoltaico comercial e custo total

Composição para gerador fotovoltaico	
Quantidade	Descrição
714	Módulo solar policristalino 365W
179	Estrutura ROMAGNOLE 411555 RS-183C 4 PAINEIS TELHA METALICA PERFIL 55cm
84	Fusível A732150700 PV FUSE 15 A1000VDC
1	Inversor solar FRONIUS 4210057040 ECO 27kW trifásico – DPS LIGHT
6	Inversor solar FRONIUS 4210057041 ECO 27kW trifásico – DPS WIFI
1400	Cabo solar NEXANS EnergyFLEX BR 0,6/1kV (1500V DC) preto
1400	Cabo solar NEXANS EnergyFLEX BR 0,6/1kV (1500V DC) vermelho
70	Conector MC4 acoplador macho
70	Conector MC4 acoplador fêmea
Total: R\$ 766.469,00	

Fonte: Adaptado de JPL Engenharia, 2019

5.3 CONSUMO E GERAÇÃO DAS USINAS SOLARES

Por consequência da elaboração do estudo e dimensionamento das usinas para cada demanda, foram feitas projeções acerca da produção de energia elétrica, considerando os reajustes em cada valor tarifário, o decaimento do potencial elétrico com o passar dos anos, os valores de manutenção necessários e, finalmente, o retorno anual para o cliente, em reais. Com isso, ambas as usinas solares fotovoltaicas obtiveram retorno do investimento a partir de 3 anos e 9 meses após a instalação dos sistemas, considerando assim, ao quarto ano de investimento os valores que serão observados posteriormente para o retorno serão positivos.

5.3.1 Geração anual com reajuste de tarifa e degradação das placas

Em concordância com as concepções de Nascimento (2013) com o passar do tempo a irradiância que atinge os painéis decresce e, conseqüentemente, a potência produzida diminui, visto que sua produção depende da eficiência. Para tanto, são considerados valores em porcentagem dessa degradação, cujo primeiro ano tem valor de 2,5% e 0,6% para os demais anos, mediante o tempo de vida útil de 25 anos para os painéis. Diante disso, o quadro 6 abaixo mostra os valores para geração em kWh com o valor aplicado de tarifa e aumento de 8% ao ano para a unidade B1.

Quadro 6: Produção da usina solar residencial com a degradação das placas e aumento do valor tarifário

Ano	Geração		Receitas
	Produção (kWh)	Tarifa	Reembolso
0	-	R\$ 0,77	R\$ -
1	8.408,61	R\$ 0,83	R\$ 6.992,60
2	8.198,39	R\$ 0,90	R\$ 7.363,21
3	8.149,20	R\$ 0,97	R\$ 7.904,55
4	8.100,31	R\$ 1,05	R\$ 8.485,69
5	8.051,70	R\$ 1,13	R\$ 9.109,56
6	8.003,39	R\$ 1,22	R\$ 9.779,29
7	7.955,37	R\$ 1,32	R\$ 10.498,27
8	7.907,64	R\$ 1,43	R\$ 11.270,10
9	7.860,20	R\$ 1,54	R\$ 12.098,68
10	7.813,03	R\$ 1,66	R\$ 12.988,17
11	7.766,16	R\$ 1,80	R\$ 13.943,06
12	7.719,56	R\$ 1,94	R\$ 14.968,16
13	7.673,24	R\$ 2,09	R\$ 16.068,62
14	7.627,20	R\$ 2,26	R\$ 17.249,98
15	7.581,44	R\$ 2,44	R\$ 18.518,20
16	7.535,95	R\$ 2,64	R\$ 19.879,66
17	7.490,74	R\$ 2,85	R\$ 21.341,21
18	7.445,79	R\$ 3,08	R\$ 22.910,21
19	7.401,12	R\$ 3,32	R\$ 24.594,57
20	7.356,71	R\$ 3,59	R\$ 26.402,77
21	7.312,57	R\$ 3,88	R\$ 28.343,90
22	7.268,69	R\$ 4,19	R\$ 30.427,74
23	7.225,08	R\$ 4,52	R\$ 32.664,79
24	7.181,73	R\$ 4,88	R\$ 35.066,30
25	7.138,64	R\$ 5,27	R\$ 37.644,38

Fonte: JPL Engenharia, 2019

Paralelo a isso, para a unidade A4, como consta no quadro 7 a seguir, o parâmetro de degradação e reajuste tarifário é o mesmo, bem como seu tempo útil previsto de 25 anos. Ainda é possível observar em contrapartida que para o valor tarifário em questão, seu aumento tem menor impacto em virtude de seu menor valor inicial.

Quadro 7: Produção da usina solar comercial com a degradação das placas e aumento do valor tarifário

Ano	Geração		Receitas
	Produção (kWh)	Tarifa	Reembolso
0	-	R\$ 0,42	R\$ -
1	420.061,62	R\$ 0,45	R\$ 190.294,97
2	409.560,08	R\$ 0,49	R\$ 200.380,61
3	407.102,72	R\$ 0,53	R\$ 215.112,59
4	404.660,11	R\$ 0,57	R\$ 230.927,67
5	402.232,14	R\$ 0,62	R\$ 247.905,47
6	399.818,75	R\$ 0,67	R\$ 266.131,48
7	397.419,84	R\$ 0,72	R\$ 285.697,46
8	395.035,32	R\$ 0,78	R\$ 306.701,94
9	392.665,11	R\$ 0,84	R\$ 329.250,67
10	390.309,12	R\$ 0,91	R\$ 353.457,18
11	387.967,26	R\$ 0,98	R\$ 379.443,35
12	385.639,46	R\$ 1,06	R\$ 407.340,02
13	383.325,62	R\$ 1,14	R\$ 437.287,66
14	381.025,67	R\$ 1,23	R\$ 469.437,05
15	378.739,51	R\$ 1,33	R\$ 503.950,06
16	376.467,08	R\$ 1,44	R\$ 541.000,47
17	374.208,28	R\$ 1,55	R\$ 580.774,83
18	371.963,03	R\$ 1,68	R\$ 623.473,39
19	369.731,25	R\$ 1,81	R\$ 669.311,15
20	367.512,86	R\$ 1,96	R\$ 718.518,91
21	365.307,78	R\$ 2,11	R\$ 771.344,42
22	363.115,94	R\$ 2,28	R\$ 828.053,66
23	360.937,24	R\$ 2,46	R\$ 888.932,17
24	358.771,62	R\$ 2,66	R\$ 954.286,46
25	356.618,99	R\$ 2,87	R\$ 1.024.445,60

Fonte: JPL Engenharia, 2019

Diante desse decaimento observado na geração de energia elétrica, considera-se de fundamental importância a manutenção constante de todo sistema fotovoltaico, cujo valor é também dimensionado em uma projeção anual, considerando os reajustes feitos pela empresa.

5.3.2 Despesas com manutenção e fluxo de caixa referente ao reembolso de manutenção e retorno do investimento

Apesar dos custos e da falta de incentivos no Brasil para aderir ao uso de uma fonte renovável como a energia solar, esse meio é considerado, ainda assim, um investimento, para qual há, como em qualquer outro investimento, um tempo necessário para que o retorno seja positivo. Nesse tocante, a manutenção, reembolso da manutenção e retorno se relacionam e os

valores que circundam a implantação de um sistema solar fotovoltaico são nomeados de investimento, pois ao passar dos anos o retorno deixará de ser negativo.

Assim, o quadro 8 a seguir mostra as seguintes variáveis para a usina residencial: manutenção, cujo valor tem o aumento de 0,5% ao ano, correspondente ao reajuste; reembolso/manutenção que corresponde ao valor de reembolso em reais proveniente da geração de energia com tarifa aplicada mais o valor da manutenção (negativo) e; retorno que diz respeito ao valor final em reais que volta ao cliente através da soma da manutenção e reembolso/manutenção.

Quadro 8: Despesas e fluxo de caixa da usina residencial

Despesas	Fluxo de Caixa	
	Reembolso/ Manutenção	Retorno (R\$)
R\$ -	-R\$ 22.049,03	-R\$ 22.049,03
-R\$ 110,25	R\$ 6.882,35	-R\$ 15.166,68
-R\$ 119,06	R\$ 7.244,14	-R\$ 7.922,54
-R\$ 128,59	R\$ 7.775,96	-R\$ 146,58
-R\$ 138,88	R\$ 8.346,81	R\$ 8.200,23
-R\$ 149,99	R\$ 8.959,57	R\$ 17.159,80
-R\$ 161,99	R\$ 9.617,31	R\$ 26.777,11
-R\$ 174,95	R\$ 10.323,32	R\$ 37.100,43
-R\$ 188,94	R\$ 11.081,16	R\$ 48.181,59
-R\$ 204,06	R\$ 11.894,62	R\$ 60.076,21
-R\$ 220,38	R\$ 12.767,79	R\$ 72.844,00
-R\$ 238,01	R\$ 13.705,05	R\$ 86.549,05
-R\$ 257,05	R\$ 14.711,10	R\$ 101.260,16
-R\$ 277,62	R\$ 15.791,00	R\$ 117.051,16
-R\$ 299,83	R\$ 16.950,15	R\$ 134.001,31
-R\$ 323,81	R\$ 18.194,39	R\$ 152.195,70
-R\$ 349,72	R\$ 19.529,94	R\$ 171.725,64
-R\$ 377,69	R\$ 20.963,52	R\$ 192.689,16
-R\$ 407,91	R\$ 22.502,31	R\$ 215.191,46
-R\$ 440,54	R\$ 24.154,03	R\$ 239.345,49
-R\$ 475,79	R\$ 25.926,98	R\$ 265.272,47
-R\$ 513,85	R\$ 27.830,05	R\$ 293.102,52
-R\$ 554,96	R\$ 29.872,79	R\$ 322.975,31
-R\$ 599,35	R\$ 32.065,44	R\$ 355.040,75
-R\$ 647,30	R\$ 34.419,00	R\$ 389.459,75
-R\$ 699,08	R\$ 36.945,29	R\$ 426.405,04

Fonte: JPL Engenharia, 2019

Como observado, para a unidade B1, ao quarto ano posterior à instalação os valores para retorno começam a ser positivos, marcando o início do período do qual único valor negativo serão para as manutenções recorrentes. Esse período também é o mesmo para a unidade A4, como consta no quadro 9 abaixo, o que evidencia significativos resultados para

ambas as situações ainda que com consumos de energia elétricas distantes para uma minigeração e microgeração, respectivamente.

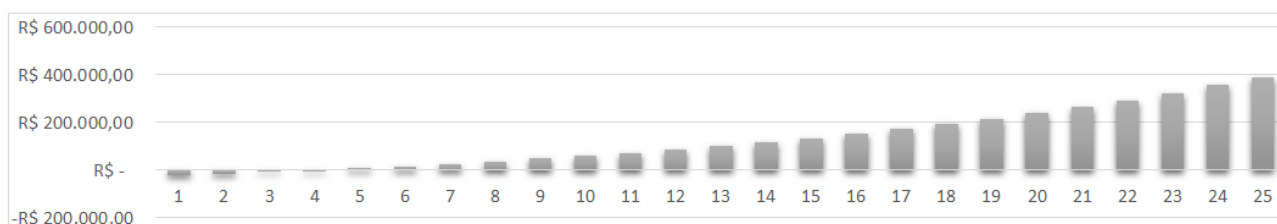
Quadro 9: Despesas e fluxo de caixa da usina comercial

Despesas	Fluxo de Caixa	
	Reembolso/ Manutenção	Retorno (R\$)
R\$ -	-R\$ 766.469,00	-R\$ 766.469,00
-R\$ 3.832,35	R\$ 186.462,63	-R\$ 580.006,37
-R\$ 4.138,93	R\$ 196.241,67	-R\$ 383.764,70
-R\$ 4.470,05	R\$ 210.642,54	-R\$ 173.122,16
-R\$ 4.827,65	R\$ 226.100,01	R\$ 52.977,85
-R\$ 5.213,86	R\$ 242.691,60	R\$ 295.669,46
-R\$ 5.630,97	R\$ 260.500,50	R\$ 556.169,96
-R\$ 6.081,45	R\$ 279.616,01	R\$ 835.785,98
-R\$ 6.567,97	R\$ 300.133,97	R\$ 1.135.919,95
-R\$ 7.093,40	R\$ 322.157,26	R\$ 1.458.077,22
-R\$ 7.660,88	R\$ 345.796,30	R\$ 1.803.873,52
-R\$ 8.273,75	R\$ 371.169,60	R\$ 2.175.043,12
-R\$ 8.935,65	R\$ 398.404,38	R\$ 2.573.447,50
-R\$ 9.650,50	R\$ 427.637,16	R\$ 3.001.084,66
-R\$ 10.422,54	R\$ 459.014,51	R\$ 3.460.099,17
-R\$ 11.256,34	R\$ 492.693,72	R\$ 3.952.792,90
-R\$ 12.156,85	R\$ 528.843,62	R\$ 4.481.636,52
-R\$ 13.129,39	R\$ 567.645,43	R\$ 5.049.281,95
-R\$ 14.179,75	R\$ 609.293,64	R\$ 5.658.575,60
-R\$ 15.314,13	R\$ 653.997,03	R\$ 6.312.572,63
-R\$ 16.539,26	R\$ 701.979,65	R\$ 7.014.552,28
-R\$ 17.862,40	R\$ 753.482,02	R\$ 7.768.034,31
-R\$ 19.291,39	R\$ 808.762,27	R\$ 8.576.796,58
-R\$ 20.834,70	R\$ 868.097,47	R\$ 9.444.894,05
-R\$ 22.501,47	R\$ 931.784,99	R\$ 10.376.679,04
-R\$ 24.301,59	R\$ 1.000.144,01	R\$ 11.376.823,05

Fonte: JPL Engenharia, 2019

Com esses valores de retorno em reais é possível montar os gráficos para cada uma das unidades, como no gráfico 1 mostrado abaixo para a unidade B1, onde é possível notar que ao quarto ano de investimento o retorno começa a ser positivo, mais precisamente aos 3 anos e 9 meses.

Gráfico 1: Retorno do investimento em reais para usina em Encanto – RN



Fonte: JPL Engenharia, 2019

Ademais, para a unidade A4 (gráfico 2 abaixo) o retorno também cresce positivamente a partir do quarto ano de investimento, porém, com números bem mais expressivos em virtude do porte de geração e consequente maior valor investido.

Gráfico 2: Retorno do investimento em reais para usina em Cedro – CE



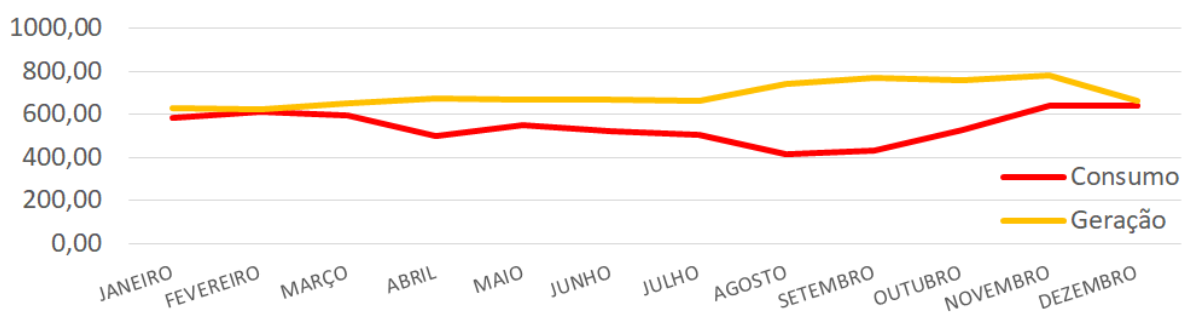
Fonte: JPL Engenharia, 2019

Nesse aspecto, segundo o gráfico 2, nota-se que os valores para retorno dos investimentos são proporcionais ao porte do sistema e, claro, ao investimento feito para que fosse instalado. Nesse caso, ainda é possível analisar as estimativas de consumo e geração, bem como sua análise real após a finalização do projeto para comprovar se os valores estarão próximos aos esperados.

5.3.3 Estimativa da geração de energia elétrica

Em conformidade com o que foi exposto relativo a todo processo para concretização do projeto de instalação das placas solares está a análise de geração e consumo de energia elétrica ao longo do ano. Para isso, é considerado todo dimensionamento das placas conforme suas especificações para o local, tipo de consumidor e demanda do cliente. Nesse sentido, o gráfico 3 abaixo faz referência a geração e consumo em kWh/mês esperados para a usina B1, cuja geração requerida está acima na maioria dos meses, dessa forma, o cliente poderá transferir seus créditos para outra propriedade com mesma concessionária atuante.

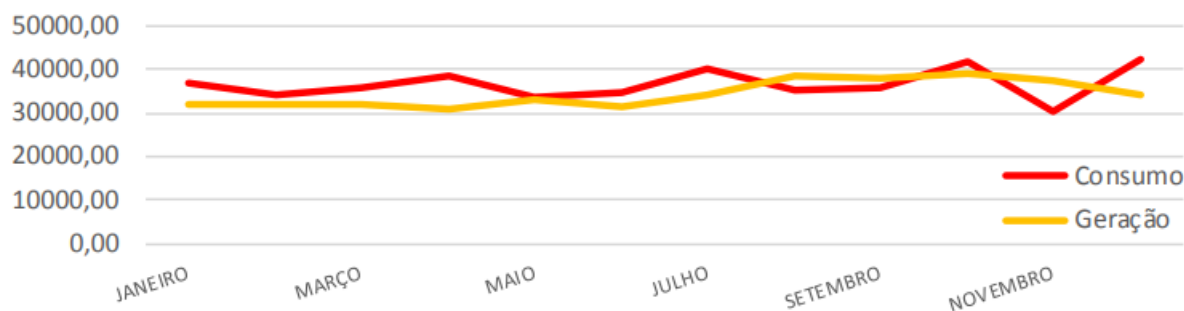
Gráfico 3: Estimativa de geração e consumo em kWh/mês para usina em Encanto – RN



Fonte: JPL Engenharia, 2019

Já no que concerne a usina para a unidade consumidora A4, como verificado no gráfico 4, os valores para geração e consumo são visivelmente próximos em todo ano, visto que seu projeto foi feito visando justamente aproximar esses valores, ou seja, um investimento de geração que supra o consumo.

Gráfico 4: Estimativa de geração e consumo para usina em Cedro – CE



Fonte: JPL Engenharia, 2019

Diante do exposto, é possível observar que, mesmo considerando sistemas solares de diferentes proporções de geração, o tempo de retorno pode se aproximar, como, para estes casos, igualaram-se. Ainda nesse sentido, considerando o apanhado de análises evidenciou-se que os investimentos com sistemas solares fotovoltaicos podem ser vistos de forma lucrativa, pois o retorno esperado, ainda que com o financiamento dos custos de instalação e manutenção, é alcançado com o passar dos anos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado acerca da análise dos dados de projetos de sistemas solares fotovoltaicos tem base na observação de duas esferas que o norteiam: um projeto de usina residencial na cidade de Encanto, no Rio Grande do Norte e outro de caráter comercial na cidade de Cedro, no Ceará. Diante disso, foi possível alcançar os objetivos esperados acerca dos aspectos pertinentes à eficiência da energia solar em ambos, de acordo com os procedimentos realizados, de forma paralela, possibilitando uma visão ampla e menos restritiva.

Nessa perspectiva, foi possível observar a metodologia de coleta dos dados de irradiação solar a partir das coordenadas geográficas do local, dimensionamento das usinas e posterior valor de investimento, geração esperada para os módulos solares, custos de

manutenção e tempo para que o retorno do investimento cresça positivamente para ambas as usinas.

Outro aspecto bastante importante a se destacar é a viabilidade de aderir a uma fonte renovável como a energia solar fotovoltaica que, como abordado no decorrer do estudo, sofre com barreiras nos investimentos tecnológicos e falta de políticas de incentivo que sejam próprias da energia solar fotovoltaica. Esse panorama pode ser corrigido e otimizado ao passo que a sociedade obtiver conhecimentos suficientes para entender a essencialidade de práticas de desenvolvimento sustentável

Ademais, a análise qualitativa dos dados fornecidos pela empresa JPL Engenharia acerca dos dois projetos de instalação das placas solares fotovoltaicas propiciou claro entendimento dos processos adotados para se chegar ao projeto final entregue ao cliente. Nessa situação, o detalhamento correto e compreensível tornou mais acessível as noções que o consumidor terá sobre seu investimento, assim como possibilitou saber os momentos em que o investimento trará retornos positivos.

Nesse aspecto, ressalta-se que os investimentos iniciais para a unidade B1 e A4, respectivamente, foi de R\$ 22.049,03 e R\$ 766.469,00. Para ambos os projetos foram obtidos valores de retorno do investimento em 3 anos e 9 meses, sendo considerado um prazo bastante curto em analogia com o tempo de vida útil dos módulos fotovoltaicos de cerca de 25 anos, portanto, há expressiva rentabilidade.

Por fim, como sugestão para trabalhos futuros está a análise de dados fornecidos no monitoramento da potência gerada pelos módulos fotovoltaicos ao longo do tempo, visto que existem diversos softwares que auxiliam nesse acompanhamento e inspeção da real eficiência aplicada. Para isso, são fornecidos dados de instante em instante, ao longo do dia, acerca das tensões de corrente contínua, tensões de corrente alternada, tensões de linha, corrente contínua, potências de corrente contínua e corrente alternada no decorrer dos dias para gestão energética do sistema fotovoltaico.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11704 – **Sistemas Fotovoltaicos – Classificação**. Rio de Janeiro. 2008.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N° 482**. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 04 out. 2020.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa N° 479**. 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.pdf>. Acesso em: 02 out. 2020.

BOREALSOLAR. **Vantagens**. 2016. Disponível em: <http://borealsolar.com.br/index.php#vantagens>. Acesso em: 02 out. 2020.

BRASIL. Ministério da Economia (ME). **CONVÊNIO ICMS 16**, DE 22 DE ABRIL DE 2015. Disponível: https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/CV016_15. Acesso em 05 out. 2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). **Programa Luz para Todos**. Brasília: MME/LPT, 2019. Disponível em: http://www.mme.gov.br/web/guest/todas-as-noticias/-/asset_publisher/pdAS9IcdBICN/content/luz-para-todos-2020-mais-de-r-1-1-bilhao-e-aprovado-para-continuidade-das-obras-em-11-estad-1?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Ftodas-as-noticias%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_cur%3D4%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_keywords%3D%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_advancedSearch%3Dfalse%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_delta%3D30%26p_r_p_564233524_resetCur%3Dfalse%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_andOperator%3Dtrue. Acesso em 3 out. 2020.

BRASIL. Senado Federal. **Projeto de Lei do Senado n° 167**, 2013. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/112612>. Acesso em 04 out. 2020.

CAPRIGLIONE, Paulo Sérgio. **A energia renovável na matriz energética brasileira**. Dissertação (Mestrado Profissional em Finanças e Economia) - FGV - Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2007. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/FGV_caace5d07f629bbf0b5c21258790cf0d. Acesso em: 10 ago. 2020.

CRESESB. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito / CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, 2008. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=341#:~:text=Um%20sistema%20fotovoltaico%20pode%20ser,tamb%C3%A9m%20uma%20unidade%20de%20armazenamento. Acesso em: 05 out. 2020.

DASSI, J. A. et al. **Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil**. Associação Brasileira de Custos. In: XXII Congresso Brasileiro de Custos. 2015. Foz do Iguaçu, PR. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/3924>. Acesso: 10 nov. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz energética e elétrica**. Brasília: EPE, 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#TOPO>. Acesso em: 15 set. 2020.

EPE. **Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas) – 2004-2013**. Empresa de Pesquisa Energética, 2013. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-mensal-de-energia-eletrica-por-classe-regioes-e-subsistemas>. Acesso em: 07 out. 2020.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

LACCHINI, C.; DOS SANTOS, J. C. V. Photovoltaic energy generation in Brazil – Cost analysis using coal-fired power plants as comparison. *Renewable Energy*, v. 52, p. 183–189, abr. 2013.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MAUAD, F. F.; FERREIRA, L. da C.; TRINDADE, T. C. G. **Energia renovável no Brasil: análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras**. São Carlos: EESC/USP, 2017. Disponível em: <http://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/view/168/154/740-1>. Acesso em: 12 set. 2020.

MITSCHER, M.; RÜTHER, R. Economic performance and policies for grid-connected residential solar photovoltaic systems in Brazil. *Energy Policy*, v. 49, p. 688–694, out. 2012.

NASCIMENTO, L. R. **A avaliação de longo prazo de um sistema fotovoltaico integrado à edificação urbana e conectado à rede elétrica pública**. Dissertação (Mestrado) - UFSC, Florianópolis, SC, 2013.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica**. Porto: Publindústria, 2011.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. (Org.). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 04 ago. 2020.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SENAI. **Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial Instalação de sistema de microgeração solar fotovoltaica.** Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. São Paulo: SENAI-SP Editora, 2016 216 p.: il.

SOLAR, U. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede.** Universo Solar, s.n. Disponível em: <https://universosolar.com/sistemas-fotovoltaicos-conectados-a-rede/>. Acesso: 10 out. 2020.

SOUZA, Ronilson di. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica.** BLUESOL. Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares. São Paulo, 2016. Disponível em: <https://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>. Acesso em: 02 out. 2020.

SOUZA, O. DE et al. **Avaliar a viabilidade de micro geração de energia solar fotovoltaica distribuída na cidade do Rio de Janeiro com o emprego de Opções.** SEGeT, p. 17, 2017.

TAMANINI, C. L. **Projeto de Sistemas Fotovoltaicos conectados à Rede Elétrica.** Universidade Estadual de Londrina. Curso de Engenharia Elétrica. Londrina, 2017.