



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL

FRANCISCO CAÍQUE RODRIGUES ALVES

**ANÁLISE DA PRATICABILIDADE DE INVESTIMENTO FINANCEIRO EM
GERADOR SOLAR FOTOVOLTAICO – ESTUDO DE CASO**

POMBAL - PB
2021

FRANCISCO CAÍQUE RODRIGUES ALVES

ANÁLISE DA PRATICABILIDADE DE INVESTIMENTO FINANCEIRO EM GERADOR
SOLAR FOTOVOLTAICO – ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à
Universidade Federal de Campina Grande como
requisito parcial à obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Msc. Valter Ferreira de Sousa
Neto

POMBAL - PB
2021

A474a

Alves, Francisco Caíque Rodrigues.

Análise da praticabilidade de investimento financeiro em gerador solar fotovoltaico - Estudo de caso / Francisco Caíque Rodrigues Alves. - Pombal, 2021.

56 f. : il. Color

Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2021.

"Orientação: Prof. Me. Valter Ferreira de Sousa Neto".

Referências.

1. Energia Solar - Economia Brasileira. 2. Sistema Fotovoltaico. 3. Energia Renovável. 4. Investimento Financeiro. I. Sousa Neto, Valter Ferreira de. II. Título.

CDU 551.521.37(043)

FRANCISCO CAÍQUE RODRIGUES ALVES

ANÁLISE DA PRATICABILIDADE DE INVESTIMENTO FINANCEIRO EM GERADOR
SOLAR FOTOVOLTAICO – ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
a Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG Campus Pombal, como requisito para
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Civil.

Aprovada em: _13_/_08_/_2021_____.

BANCA EXAMINADORA

Valter Ferreira de Sousa Neto

Prof. Msc. Valter Ferreira de Sousa Neto

Orientador

UACTA/UFCG

Raphael Borges da Nóbrega

Prof. Dr. Raphael Borges da Nóbrega

Examinador Interno

UACTA/UFCG

Rafael Abrantes Gonçalves

Eng. Civil Rafael Abrantes Gonçalves

Examinador Externo

DEDICATÓRIA

Aos meus avôs *in memoriam* e a minha família.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria de Fátima Rodrigues Alves e Carlos Alberto Alves Ferreira, pelo amor e apoio de sempre para que eu pudesse concluir essa etapa.

Aos meus irmãos da graduação, Arilson Araújo, Fernando Azevedo, José Antônio e Ramon Freitas, que estiveram junto comigo em toda a jornada da universidade. Também aos demais amigos que contribuíram e participaram da minha formação acadêmica.

Aos professores que colaboraram com a transmissão de conhecimento durante a graduação em diversas disciplinas, em especial ao Prof. Msc. Valter Ferreira de Sousa Neto, pelo auxílio para a realização deste trabalho.

“Tudo tem seu dia e sua hora.”

(Carlos Alberto Alves Ferreira)

RESUMO

O início da mudança do cenário brasileiro frente ao recurso fotovoltaico partiu da publicação da Resolução Normativa (REN) n° 482/2012, regulamentando no país a geração distribuída e seu sistema de compensação de energia. A excelente rentabilidade econômica para os consumidores que geram sua própria eletricidade por meio de fontes renováveis é o fator principal para a adesão de geradores fotovoltaicos. Sendo assim, o trabalho objetivou efetuar o estudo financeiro sobre a inserção de um gerador solar fotovoltaico em uma residência familiar de baixo padrão localizada na cidade de Sousa-PB, orçado em 3 empresas da cidade os custos referentes a todo processo de implantação do gerador e calculado o fluxo de caixa, *payback* simples e descontado, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) para atestar a rentabilidade do investimento. Os resultados obtidos ratificam que o investimento é rentável, em que, dentre as possibilidades projetadas no estudo, pode ocasionar uma economia de até R\$ 111.796,72 representando 89,69% da quantia que seria destinada as despesas com eletricidade totalmente proveniente da concessionária para o período analisado de 25 anos.

Palavras-Chave: Economia. Investimento. Sistema Fotovoltaico

ABSTRACT

The beginning of the change of the Brazilian scenario in the face of photovoltaic resources started from the publication of Normative Resolution (REN) no. 482/2012), regulating in the country distributed generation and its energy compensation. The excellent economic profitability for consumers who generate their own electricity through renewable sources is the main factor for the addition of photovoltaic generators. Thus, the study aimed to carry out the financial study on the insertion of a photovoltaic solar generator in a low standard family residence located in the city of Sousa-PB, budgeted in 3 companies in the city the costs related to the entire process of implantation of the generator and calculated the cash flow, simple and discounted *payback*, Liquid Present Value (VPL) and Internal Rate of Return (IRT) to attest to the profitability of the investment. The results obtained confirm that the investment is profitable, where, among the possibilities projected in the study, it can cause savings of up to R\$ 111.796,72 representing 89,69% of the amount that would be allocated to the expenses with electricity totally from the concessionaire for the analyzed period of 25 years.

Keywords: Economy. Investment. Photovoltaic System

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Oferta interna de energia elétrica por fonte em 2019	18
Figura 2 - Representação do Sistema Interligado Nacional (SIN)	19
Figura 3 - Variação da irradiância solar (I_0) ao longo do ano.....	20
Figura 4 - Componentes da radiação solar	21
Figura 5 - Irradiação diária média anual no Brasil.....	22
Figura 6 - Projeção do n° de unidades consumidoras de microgeração	25
Figura 7 - Projeção da potência instalada.....	25
Figura 8 - GD solar no Brasil por classe de consumo	26
Figura 9 - Curvas (I-V) e (W-V)	31
Figura 10 - Curvas característica de ligação em série	32
Figura 11 - Curvas característica de ligação em paralelo.....	32
Figura 12 - Aplicações de inversores classificados quanto ao porte	33
Figura 13 - Preço médio de sistemas fotovoltaicos entre 2013 e 2018	36
Figura 14 - Composição do custo total da instalação do sistema	36
Figura 15 - Fluxograma das etapas do estudo de caso	39
Figura 16 - Cidade local da residência.....	39
Figura 17 - Irradiação solar diária média para a residência.....	42
Figura 18 - Estimativa média mensal de geração no primeiro ano	46
Figura 19 - Fluxo de caixa acumulado para pagamento à vista	47
Figura 20 - Fluxo de caixa acumulado para pagamento financiado.....	49
Figura 21 - Custo com energia elétrica em 25 anos	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condições padrão de referência para ensaio (STC).....	22
Tabela 2 - Dados básicos da residência.....	40
Tabela 3 - Dados de cálculo de receitas e despesas.....	43
Tabela 4 - Itens dimensionados para o gerador em estudo.....	44
Tabela 5 - Preços orçados para o gerador.....	46
Tabela 6 - <i>Payback</i> simples das empresas.....	47
Tabela 7 - Fluxo de caixa para pagamento à vista.....	47
Tabela 8 - Parcelas do financiamento.....	47
Tabela 9 - Fluxo de caixa para pagamento financiado.....	48
Tabela 10 - <i>Payback</i> descontado das empresas com pagamento financiado.....	49
Tabela 11 - VPL e TIR pagamento à vista.....	50
Tabela 12 - VPL e TIR pagamento financiado.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
a-Si	Silício amorfo
BNDS	Banco Nacional do Desenvolvimento
μ c-Si	Silício microamorfo
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CdTe	Telureto de Cádmiio
CIGS	Disseleneto de Cobre Índio e Gálio
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
CRESESB	Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surtos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GD	Geração Distribuída
ICMS	Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IDEAL	Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina
IOF	Impostos sobre Operações Financeiras
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
MME	Ministério de Minas e Energia
MPP	Maximum Power Point (ponto de máxima potência)
OIEE	Oferta Interna de Energia Elétrica
ONS	Organização Nacional do Sistema Elétrico
PIS	Programa de Integração Social
PR	<i>Performance ratio</i>

PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
ProGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
REN	Resolução Normativa
SCEE	Sistema de Compensação de Energia Elétrica
SICREDI	Sistema de Crédito Cooperativo
SIN	Sistema Interligado Nacional
STC	Standard Test Conditions (condições padrão de referência)
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima De Atratividade
TUSD	Tarifa de Utilização de Serviços de Distribuição
TUST	Tarifa de Utilização de Serviços de Transmissão
UCs	Unidades consumidoras
UV	Ultravioleta
VPL	Valor Presente Líquido
WRC	World Radiation Center

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	OBJETIVO GERAL.....	17
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2.	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	Cenário energético brasileiro	18
2.2	Radiação solar.....	20
2.3	Energia solar fotovoltaica	22
2.4	Geração distribuída (GD).....	24
2.5	Legislação e incentivos à energia fotovoltaica no Brasil.....	27
2.6	Energia solar na economia brasileira	29
2.7	Componentes de um sistema gerador fotovoltaico	30
2.7.1	Módulos fotovoltaicos	30
2.7.2	Inversores	32
2.7.3	Demais componentes.....	34
2.8	Desempenho do gerador fotovoltaico	35
2.9	Custos associados a sistema fotovoltaico	35
2.9.1	Valor presente líquido	37
2.9.2	Taxa interna de retorno.....	38
2.9.3	<i>Paybak</i>	38
3	METODOLOGIA	39
3.1	Caracterização do estudo	39
3.2	Localização da residência	39
3.3	Caracterização da residência.....	40
3.4	Irradiação incidente no lugar	41

3.5	Cálculo da potência do gerador fotovoltaico	42
3.6	Orçamento do sistema fotovoltaico	43
3.7	Análise financeira	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	Dimensionamento do gerador fotovoltaico.....	45
4.2	Análise financeira	46
4.2.1	Custo de instalação.....	46
4.2.2	Fluxo de Caixa	47
5	CONCLUSÃO	52

1 INTRODUÇÃO

A oferta de energia elétrica a um custo reduzido, qualidade eficiente e respeitando o caráter sustentável é um fator relevante no desenvolvimento econômico e social de um país (BARBOSA, 2018). Uma vez que este tipo de energia assume uma importância ainda maior tendo em vista a era tecnológica em que se encontra, com o mundo cada vez mais interligado e movido por aparelhos eletrônicos.

A conversão em energia elétrica por meio de geradores fotovoltaicos é um excelente método para atender os requisitos relacionados a oferta de energia elétrica. E no Brasil, que particularmente apresenta um amplo território com elevados níveis de irradiação solar, mesmo havendo variações desses níveis entre as regiões (HICKEL, 2017).

O início da mudança do cenário brasileiro frente ao recurso fotovoltaico partiu da publicação da Resolução Normativa (REN) nº 482/2012, elaborada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), regulamentando no país a geração distribuída e seu sistema de compensação de energia (ANEEL, 2012). Com a REN nº 687/2015 o regulamento foi otimizado, tornando o processo de conexão mais célere e ampliando o acesso à geração distribuída para mais unidades consumidoras (MME/EPE, 2017).

Um levantamento realizado pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) apontou que em 2020, o setor de fonte solar fotovoltaica movimentou mais de R\$ 13 bilhões em investimento, considerando geração centralizada e distribuída, valor inédito que significa um crescimento de 52% sobre os investimentos acumulados no Brasil desde 2012 (ABSOLAR, 2021).

No entanto, a geração com fonte solar está longe de figurar entre as principais fontes energéticas do país, uma vez que diversos projetos aparentam ser rentáveis. No entanto, ao realizar as devidas análises de investimento demonstram que não é possível a remuneração do capital aplicado e assim não havendo a adoção do recurso fotovoltaico. É válido entender que o investidor almeja ajudar o planeta contanto que seja remunerado (CARMO, 2019).

A rentabilidade de um sistema fotovoltaico consiste em uma economia de capital que seria destinada à despesa da energia elétrica no período útil de 25 anos do gerador, onde o montante economizado pode ser alocado para outros custos essenciais do proprietário ou diferentes investimentos que também se apresentem rentáveis.

Partindo do entendimento que o retorno monetário é o essencial para a concretização do investimento em geradores fotovoltaicos, mesmo que atrelado a outros benefícios, este trabalho objetivou analisar e quantificar as vantagens financeiras de investir em um sistema de energia renovável.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Efetuar o estudo financeiro sobre a inserção de um gerador solar fotovoltaico em residência familiar de baixo padrão com consumidores enquadrados na subclasse residencial de baixa renda, localizada na cidade de Sousa-PB e obter a resposta quanto à rentabilidade do investimento.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Dimensionar um gerador solar fotovoltaico para a edificação em estudo;
- Orçar em 3 empresas diferentes o custo da implantação do gerador fotovoltaico dimensionado;
- Calcular fluxo de caixa acumulado com direção ao investimento à vista e financiado;
- Calcular *Payback* simples e descontado do investimento;
- Calcular Taxa Interna de Retorno (TIR);
- Calcular Valor Presente Líquido (VPL);
- Comparar custos com e sem energia solar em 25 anos.

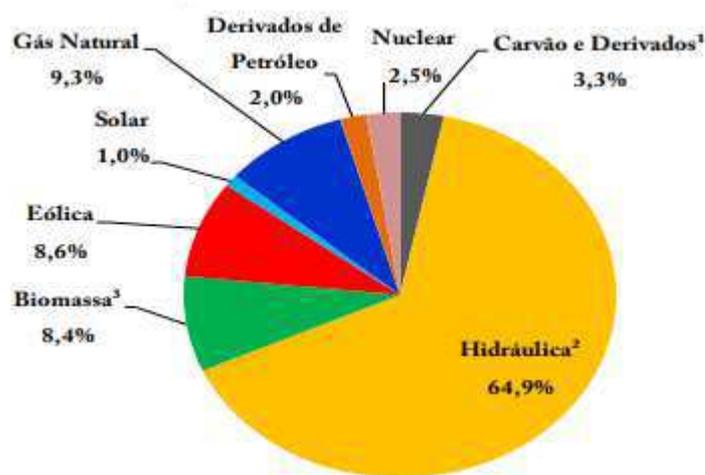
2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cenário energético brasileiro

As gerações de energia na forma centralizada são as fontes preponderantes da matriz elétrica brasileira, com dominância das hidrelétricas, que se limitam quanto à localização em virtude da disponibilidade do recurso natural, contribuindo assim para extensas linhas de transmissão decorrentes de uma considerável distância entre os pontos de geração e distribuição da energia para os consumidores finais. (BARBOSA, 2018).

Em 2019 a fonte hidráulica correspondeu a 64,9% da oferta interna de energia elétrica (OIEE) nacional, enquanto que as demais fontes renováveis (solar, eólica e biomassa) representaram somadas 18% da oferta constatada como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Oferta interna de energia elétrica por fonte em 2019

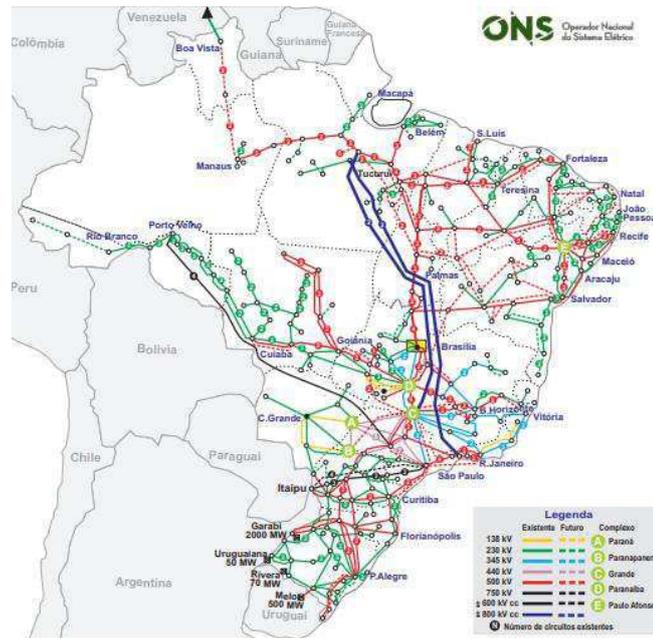


Fonte: MME (2020)

O esquema elétrico brasileiro composto por usinas, linhas de transmissão e ativos de distribuição resulta no Sistema Interligado Nacional (SIN), que consiste na interação dos sistemas elétricos da maior parte do território nacional com ganhos sinérgicos e equilibrando os regimes hídricos adversos das diferentes regiões do país (ANEEL, 2008).

O SIN detém extensão e atributos que permitem admiti-lo único em âmbito mundial, onde apenas 1,7% da demanda elétrica do país não é suprida pelo sistema, principalmente na região da Amazônia que é atendida por sistemas isolados (não conectados ao SIN) decorrentes das dificuldades físicas e econômicas para a interligação ao sistema principal (PEREIRA et al., 2017), como mostra a Figura 2 do mapa do SIN.

Figura 2 - Representação do Sistema Interligado Nacional (SIN)



Fonte: ONS (2019)

Conforme Lacchini (2017), existem dois notáveis pontos negativos provenientes do sistema empregado, sendo o primeiro, as perdas decorrentes das grandes distâncias a serem percorridas pelos ramais afetando a eficiência da rede, e o segundo sendo o fluxo de energia capaz de chegar a níveis de saturação, devido às condições extremas, ocasionando assim interrupções, às vezes em cascata, atingindo vastas regiões.

Apesar do elevado potencial hídrico do país, a complicação para a implementação de novas usinas dessa fonte devido ao grande aporte estrutural juntamente de crises hídricas que ocorrem no Brasil culminou em um declínio da parcela contribuinte das hidrelétricas na matriz elétrica. Em contrapartida apresenta-se o aumento da contribuição de outras fontes convencionais ou renováveis (BARBOSA, 2018).

Segundo o MME (2012), a fonte hidráulica contribuía com 81,9 % em 2011 enquanto as térmicas convencionais e gás natural 8,3% e as fontes renováveis (biomassa, eólica e solar) com 7,1%. Já no MME (2020) apresenta uma considerável mudança na contribuição das fontes, onde, em 2019, a hidráulica representou 64,9%, térmicas e gás natural 14,6% e as fontes renováveis 18%.

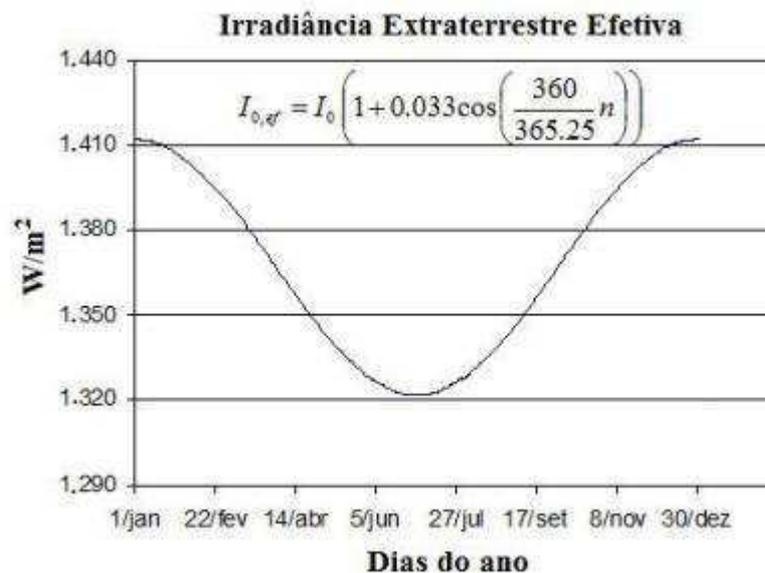
De acordo com o MME (2020), a oferta interna de energia elétrica subiu 2,3% do ano de 2018 à 2019, assim como também aumentos de 3,5% e 4,5% no consumo de eletricidade dos setores residencial e comercial, respectivamente.

2.2 Radiação solar

A radiação solar é o curso da energia proveniente do núcleo solar e emitido pela camada da fotosfera (geralmente chamada de superfície do sol) sob a forma de ondas eletromagnéticas, que estão relacionadas às cargas elétricas frenéticas que irradiam energia (GÓMEZ et al., 2018). O sol municia anualmente a atmosfera terrestre com um valor energético aproximadamente 10.000 vezes maior que o consumo mundial no mesmo período, este fato caracteriza a radiação solar uma fonte inesgotável de energia, com elevado potencial para conversão em eletricidade (CRESESB, 2008).

O valor da irradiância extraterrestre que chega sobre uma superfície perpendicular aos raios solares é denominada de constante solar e tem número aproximado de 1367 W/m² (adotado pelo WRC- World Radiation Center) (CRESESB, 2014). Em decorrência da trajetória elíptica da Terra em torno do Sol apresentam-se variações no valor da constante solar ao longo do ano, como pode ser visto na Figura 3 (CRESESB, 2014).

Figura 3 - Variação da irradiância solar (I_0) ao longo do ano

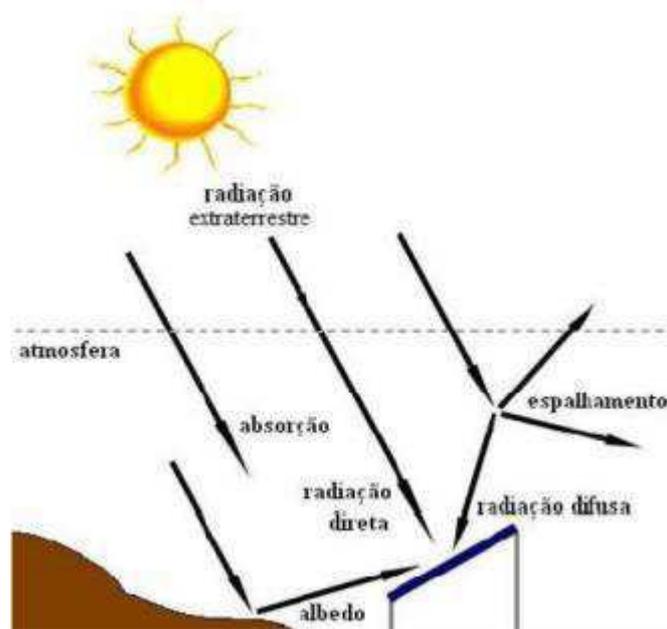


Fonte: CRESESB (2014)

Em função das características da atmosfera terrestre essa irradiância passa por uma atenuação até atingir a superfície da Terra, resultando em aproximadamente um quarto de energia solar disponível, depois de superar os processos de difusão e absorção pela atmosfera e da contribuição para a evaporação das massas de água (PLANAS, 2015).

A radiação que incide sob a superfície caracteriza-se em três componentes sendo elas as radiações direta, difusa e de albedo, formando a radiação global (VERISSIMO, 2017). A radiação direta advém sem desvios da direção do sol e produz sombras nítidas; a radiação difusa é a resultante do espalhamento causado pela atmosfera e vem de várias direções; a radiação de albedo ocorre quando a superfície está inclinada em relação a horizontal e a radiação sendo refletida pelo seu ambiente de entorno, por exemplo a vegetação (CRESESB, 2014). A Figura 4 representa as três parcelas da radiação.

Figura 4 - Componentes da radiação solar



Fonte: PINHO et al. (2008)

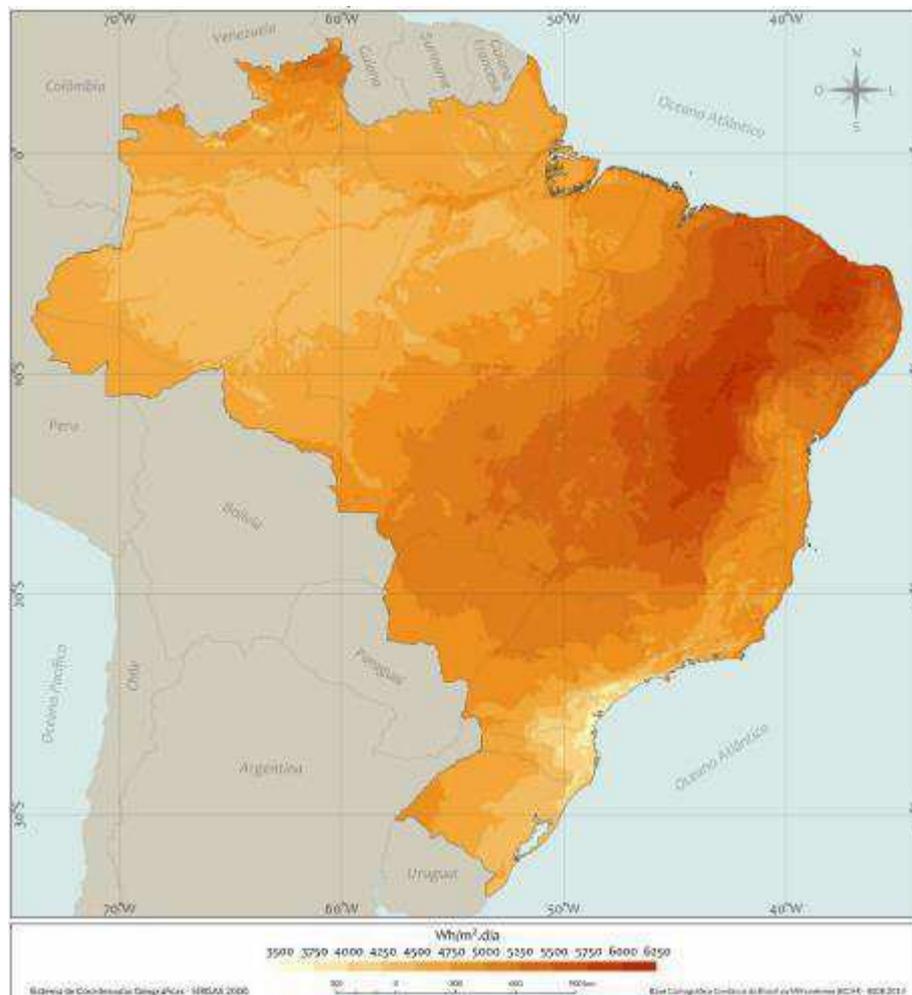
Analisar a disponibilidade do recurso solar no local pretendido é primordial para a estimativa da adesão à sistemas fotovoltaicos, sendo possível uma verificação mais precisa da geração esperada, assim como também os prazos referentes ao retorno do capital investido (SILVA, 2019). Nesse caso, é válida a utilização de bancos de dados históricos como por exemplo:

- INPE – Atlas Brasileiro de Energia Solar: Embasada sobre o potencial e variabilidade espacial e temporal do recurso solar no Brasil com intervalo amostral de 1999 à 2015 (PEREIRA et al., 2017)
- NASA – Por meio do projeto Surface meteorology and Solar Energy (SSE), fornece gratuitamente dados provenientes dos satélites e derivados de dados meteorológicos com intervalo amostral de julho de 1983 à junho de 2005 (SILVA, 2019).

- SOLARGIS - Fornece dados de todas as localidades advindos de dados de satélites e atmosféricos, sistematicamente validados e resolução espacial de aproximadamente 3 km para os cálculos (SILVA, 2019).

O Brasil apresenta elevados índices de irradiação em toda a sua extensão territorial, mas com destaque para a região do semiárido nordestino que apresenta a maior intensidade de incidência como demonstra a Figura 5, fato que justifica a possibilidade da exploração da energia solar fotovoltaica.

Figura 5 - Irradiação diária média anual no Brasil



Fonte: Pereira et al., (2017)

2.3 Energia solar fotovoltaica

A conversão em eletricidade por meio da incidência da radiação solar em módulos com células solares é denominada de energia solar fotovoltaica. A tecnologia baseia-se no

efeito fotovoltaico observado primeiramente por Edmond Becquerel em 1839, quando se deparou com a geração elétrica proveniente de duas placas de platina imersas em solução ácida iluminadas pelos raios do sol (LACCHINI, 2017).

As células fotovoltaicas são integradas por três camadas: tipo N (negativa), tipo P (positiva) e junção PN. Quando submetidas à radiação solar, origina-se uma tensão entre as camadas tipo N e P que estão separadas pela junção isolante PN, sendo assim, o fluxo de elétrons entre as camadas P e N acontece por meio de um condutor elétrico resultando no proveito da energia elétrica resultante do processo fotovoltaico (BARBOSA, 2018).

Procedente de uma fonte limpa, a energia solar fotovoltaica apresenta como principais características a sua propriedade modular, sendo capaz de ser dimensionada numa vasta faixa de potência instalada e por ser um sistema estático, possuindo pequena taxa de manutenção em conjunto de um elevado grau de confiabilidade (RÜTHER, 2004).

Segundo Nascimento (2019), existem variadas tecnologias para conversão dos raios solares em eletricidade, diferenciando-se entre si pela composição química que a constitui e pelo processo de fabricação. Essas tecnologias apresentam-se no mercado pela ordem de relevância em: silício multicristalino (p-Si), silício monocristalino (m-Si), telureto de cádmio (CdTe), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e silício amorfo e microamorfo (a-Si e μ -Si).

Para haver uma análise entre diferentes sistemas fotovoltaicos, segundo Guarnieri (2017), foi estabelecido uma padronização decorrente das variações sofridas pelas grandezas determinantes na produção de um gerador fotovoltaico no decorrer do dia em um mesmo local e em especial as características naturais distintas de região para região.

A padronização é denominada STC (do inglês: *standart test conditions*) ou condições de teste padrão, que são os requisitos usados nos laboratórios que determinam os parâmetros elétricos dos módulos fotovoltaicos seguindo os valores da Tabela 1 (BARBOSA, 2018).

Tabela 1 – Condições padrão de referencia para ensaio (STC)

Grandeza	Valor STC	Unidade de medida
Irradiância (G)	1000	W/m ²
Massa de Ar (AM)	1,5	Adimensional
Temperatura (T)	25	°C

Fonte: Guarnieri (2017)

Desta maneira, mesmo que as características elétricas dos módulos sejam variantes em virtude das condições as quais estão submetidos, seu *datasheet* (ficha de dados

característicos), que retrata sua ação elétrica, tem que ser fabricado sob condições igualitárias para qualquer módulo de acordo com os valores de grandezas apresentados acima (BARBOSA, 2018).

A intensidade de irradiação sobre o módulo apresenta uma relação direta de proporcionalidade com a energia produzida. No entanto, não ocorre a total conversão dos raios incidentes absorvidos pelo módulo, sendo assim, a parcela não convertida resulta em perdas do sistema tal como ocorre por meio das perdas térmicas ou por reflexão (HICKEL, 2017).

No quesito da temperatura a proporcionalidade com a energia gerada é inversa, qualificando como uma conjuntura ideal para otimização do aproveitamento, dias frios, com pouca massa de ar e muita irradiação. Em contrapartida, este cenário trata-se de uma idealização tendo em vista que na prática, irradiação e temperatura são grandezas físicas diretamente proporcionais (BARBOSA, 2018).

Toda forma de geração de energia identifica-se prós e contras que culminam em vários custos associados a cada tipo de geração. Por exemplo, existe o custo ambiental, que está relacionado ao possível impacto atuante sobre a natureza, e também o custo de localidade, que está ligado à trajetória entre pontos de geração e distribuição de energia que seriam as linhas de transmissão (CUSTÓDIO, 2019).

Segundo Verissimo (2017), a energia fotovoltaica apresenta vantagens como: simplicidade de instalação e operação, prazo curto para instalar, sem utilização de peças moveis, baixo custo de manutenção, característica modular de acordo com o nível de geração (de mW a MW), e elevado grau de confiabilidade.

No ano de 2015 a energia solar passou a figurar na matriz elétrica brasileira, aparecendo com uma irrisória parcela de 0,01% dentre 615,9 TWh de oferta total (MME, 2016). No ano de 2019 a porcentagem desta fonte ascendeu para 1,00% de 651,3 TWh ofertados. A expansão da capacidade instalada (MW) e geração elétrica (GWh) nesse mesmo período de tempo demonstram valores exorbitantes com crescimentos de 11676,2% e 11179,7%, respectivamente (MME, 2020).

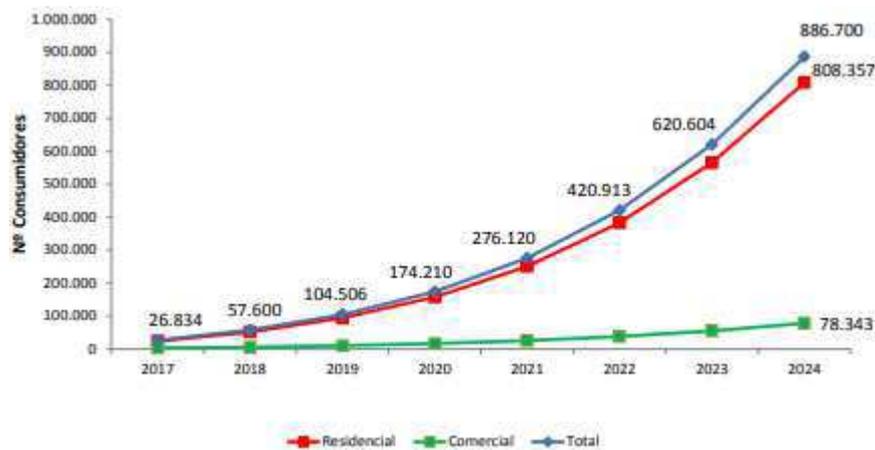
2.4 Geração distribuída (GD)

A iminência da diversificação das fontes energéticas brasileiras, redução dos gases poluentes, investimentos em energia limpa e minimização das perdas do sistema, contribuíram para a ascensão exponencial da geração próxima ou junta ao lugar de consumo, que é

denominada de geração distribuída ou descentralizada, embora a potência instalada ainda represente uma parcela pouco significativa na matriz elétrica nacional (BARBOSA, 2018).

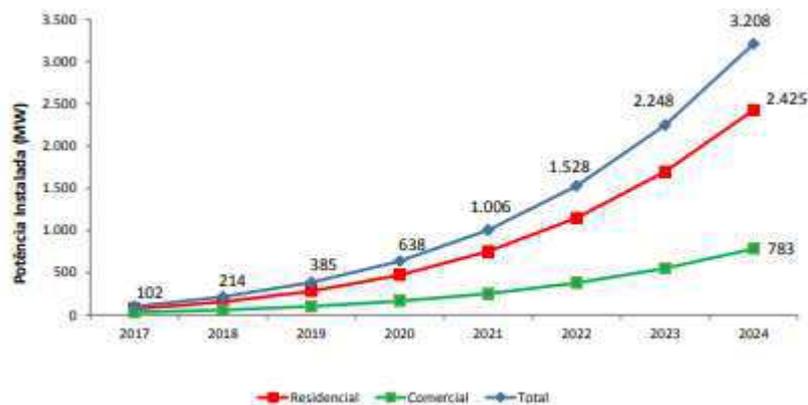
As Figuras 6 e 7 apresentam gráficos de projeções realizadas pela ANEEL (2017) para estimarem o número de unidades consumidoras de microgeração e a quantidade de potencia instalada até o ano de 2024 englobando o mercado residencial e comercial, e demonstram o caráter exponencial de expansão calculado para este método de geração de energia elétrica.

Figura 6 - Projeção do número de unidades consumidoras de microgeração



Fonte: ANEEL (2017)

Figura 7 - Projeção da potência instalada



Fonte: ANEEL (2017)

De acordo com a ANEEL (2018), o encorajamento na geração distribuída se fundamenta nos potenciais benefícios ao setor elétrico que a modalidade pode oferecer, tais como: o retardamento de investimento em expansão do sistema de transmissão e distribuição, reduzido impacto ambiental, atenuação do carregamento nas redes, otimização das perdas e diversificação da matriz energética do Brasil.

A geração distribuída de 2015 para 2019 sofreu um crescimento de 6260% em seu valor de geração elétrica (em GWh) e no intervalo de (2018 à 2019) o crescimento foi de 169% nessa categoria. Considerando os mesmos períodos, agora para a capacidade instalada (em MW), a expansão foi de 14878,2% de 2015 à 2019 e de 254,3% entre 2018 e 2019 (MME, 2020).

Dentre as fontes renováveis utilizadas na geração distribuída (hidráulica, solar, eólicas, gás natural e outras) a que se destaca é a de origem fotovoltaica, contribuindo com 74,5% do montante gerado (em GWh) e 92,1% da capacidade instalada (em MW) correspondentes ao ano de 2019 (MME, 2020).

De acordo com ANEEL (2020), em um levantamento realizado em junho/2020 constatou o valor total de 419.081 usinas de geração distribuída contribuindo com eletricidade em 533.955 unidades consumidoras (UCs). Deste montante, 418.689 usinas são de fonte fotovoltaica fornecendo energia para 523.375 UCs.

De acordo com Sauaia e Koloszuk (2021), a ABSOLAR projeta um crescimento de 90% referente ao total já instalado até 2020 no segmento da geração distribuída, passando de 4,4 GW para 8,3 GW. A Figura 8 apresenta a divisão das classes de consumo através do infográfico mensal disponibilizado pela ABSOLAR referente ao mês de junho de 2021 (ABSOLAR, 2021).

Figura 8 - GD solar no Brasil por classe de consumo



Fonte: ABSOLAR (2021)

Apesar de apresentar os melhores índices de irradiação solar, a região Nordeste se demonstra aquém do que pode oferecer no que diz respeito a instalação deste modelo de geração, já que a soma de todas as usinas dos estados nordestinos (71.425) é superada apenas considerando o número do estado de Minas Gerais (78.107) (ANEEL, 2020).

Ainda segundo a ANEEL (2020), a Paraíba é o 18º estado no ranking da geração distribuída com 6576 usinas que contribuem para 11.029 UCs. A enorme presença do recurso natural necessário, juntamente ao fato de ainda serem poucos os números de geradores, só

reforçam o quão promissor é a escolha por utilizar esse método para obtenção de energia elétrica.

2.5 Legislação e incentivos à energia fotovoltaica no Brasil

A ANEEL é a responsável por regular o setor elétrico brasileiro com o objetivo de proporcionar energia elétrica de qualidade a um preço justo ao consumidor e simultaneamente assegurar à distribuidora a remuneração financeira mediante aos serviços prestados de concessão (ANEEL, 2008).

O sistema tarifário do país normatizado pela ANEEL separa os consumidores em dois fundamentais grupos que se subdividem, sendo eles: grupo A (alta tensão), cobrados tanto pela demanda quanto pelo consumo (tarifação binômica), e grupo B (baixa tensão), requeridos apenas pela energia consumida (PINTO, 2018).

Somados a demanda e o consumo de energia, também integra o preço final, os encargos, que possuem aplicações específicas no setor, como pesquisa, desenvolvimento, reservas energéticas e remuneração, e dos tributos, que são pagamentos obrigatórios ao Poder Público visando garantir que o governo realize as suas atividades políticas (ANEEL, 2008).

A necessidade de mudança na matriz energética no país já vem de longo tempo. No entanto o cenário só passou a se modificar devido ao plano regulatório que se iniciou no Brasil propiciando o estabelecimento e expansão da fonte solar no território nacional tanto na geração distribuída quanto na centralizada, regidas pelo Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e pelos leilões solares anuais respectivamente (Ramos et al., 2018).

O *start* definitivo para o crescimento da geração distribuída se deu pela aprovação da resolução normativa REN 482/2012 elaborada pela ANEEL, estabelecendo as condições gerais de ingresso à rede de distribuição de eletricidade de unidades consumidoras que a partir de fontes renováveis produzem a sua própria energia elétrica (BARBOSA, 2018).

A REN 482/2012 separa a geração distribuída em micro e minigeração, sendo:

- I – microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
- II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. (ANEEL, 2012, p.1)

Em 2015 a REN 482/2012 passou por uma alteração e foi complementada pela REN 687/2015, implementando as diretrizes do sistema de compensação de energia elétrica sendo adicionado:

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa. (ANEEL, 2015, p.1).

O sistema de compensação possibilitou ao consumidor/gerador introduzir o excedente da sua produção elétrica por micro ou minigeração diretamente na rede de distribuição da concessionária local, obtendo créditos com zero custo, podendo vir a serem utilizados em até 60 meses, incluindo outras UCs do mesmo titular, pessoa física ou jurídica, que estejam dentro de uma mesma área de concessão.

Os Procedimentos de distribuição (PRODIST), regulado pela ANEEL, foi tão importante quanto as REN 482/2012 e REN 687/2015, por estabelecer os processos detalhados, visando assegurar a padronização, qualidade, segurança e praticidade nas conexões dos projetos de micro e minigeração. Desta maneira, contribuiu para a inserção da energia solar no país além de gerar negócios para empreendedores (RAMOS et al., 2018).

O PRODIST agiu garantindo a desburocratização do processamento presente na homologação de um gerador solar fotovoltaico, inibindo o tratamento discriminatório por parte das distribuidoras concessionárias de energia elétrica.

Veríssimo (2017) cita alguns incentivos provenientes das resoluções normativas para expansão da geração distribuída como: o Programa de Desenvolvimento da Gestão Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), incitando a conversão de energia por parte dos consumidores, isenção de IPI e de ICMS, chamadas públicas da ANEEL, desconto na tarifa de uso do sistema de transmissão/distribuição (TUST/TUSD), redução de tributo na importação, inclusão no programa Mais Alimentos e apoio do BNDS e outros bancos financiadores.

O ICMS é regulado sendo responsabilidade de cada governo estadual, onde hoje todos os estados do Brasil aderiram ao convenio 16/2015 (CONFAZ) e proporcionam essa isenção. No entanto, alguns estados tem uma limitação no prazo (PR e SC concedendo por 48 meses) e algumas regras específicas (PINTO JR, 2020).

Seguindo a Lei nº 13.169/2015, foram reduzidas a zero as alíquotas referentes ao PIS e ao COFINS também constituintes da quantidade correspondente à soma de energia elétrica

injetada na rede pela UC com os créditos de energia ativa promovida pela própria UC (PINTO, 2018).

Os estímulos para a micro e minigeração distribuída, de acordo com a discussão acima, têm sido fundamentais para a maior adesão da população brasileira pela energia fotovoltaica, na medida em que a viabilidade econômica da instalação dos sistemas fica cada vez mais atraente para o consumidor/gerador (RAMOS et al., 2018).

2.6 Energia solar na economia brasileira

A presença da tecnologia fotovoltaica na economia do Brasil encaminha a geração de novas oportunidades de emprego nos setores industriais e de serviços, além de proporcionar outros benefícios, como o arrendamento de terras para a implementação dos novos parques solares por parte dos pequenos agricultores, atividade que pode ser bastante importante para o cenário econômico no sertão nordestino (GUARNIERI, 2017).

De acordo com estudo do Greenpeace (2016), seguindo um cenário otimista com a atuação dos incentivos de políticas públicas, chegou a uma perspectiva em que até 2030 o número de postos de trabalhos seria de 3.919.114 somente no mercado da geração distribuída, sendo 2.037.939 empregos diretos, o valor adicionado a economia seria de R\$ 561,5 bilhões e os tributos gerados seriam de R\$ 11,3 bilhões.

Os investimentos no ramo da energia solar possibilitaram a criação de mais de 86 mil empregos em 2020 dividido por toda extensão territorial nacional, apesar da pandemia de Covid-19 vigente. Desde 2012, pós a REN 482/2012 até o ano de 2020 a fonte fotovoltaica acumulou uma movimentação de mais de R\$ 38 bilhões em negócios e gerou mais de 224 mil postos de trabalhos. Somente em 2020 os cofres públicos receberam mais de R\$ 3,9 bilhões provenientes do mercado fotovoltaico e as contratações cresceram 62% em referência aos empregos gerados no Brasil entre 2012 e 2019 (ABSOLAR, 2021).

Ainda que tenha apresentado um crescimento vertiginoso nos últimos anos, o mercado solar nacional continua pequeno e muito aquém do seu potencial (detentor de um dos melhores índices de irradiação do planeta), tendo em vista que existem mais de 86 milhões de consumidores de energia elétrica e apenas 0,7% desse montante utilize eletricidade advinda de sistemas fotovoltaicos (SAUIA; KOLOSZUK, 2021).

Ainda de acordo com a ABSOLAR (2021), projeções realizadas indicam que no ano de 2021 a geração de novos empregos deve atingir 147 mil aos brasileiros entre todas as regiões. Além disso, os investimentos considerando geração distribuída e centralizada

poderão superar a cifra de R\$ 22,6 bilhões, sendo a distribuída correspondente a cerca de R\$ 17,2 bilhões e a arrecadação líquida dos governos será de cerca de R\$ 6,7 bilhões.

Os benefícios econômicos são os principais fatores para a adesão ao sistema fotovoltaico, pois os consumidores raramente diferenciam a origem da sua energia, mas sim o preço pago por ela. Portanto a similaridade entre os custos com a fatura mensal e com o financiamento do novo sistema solar torna-se o fator determinante, tendo em vista que após a quitação do financiamento seguirá produzindo sua própria energia a um baixo custo, obtendo o retorno financeiro investido.

2.7 Componentes de um sistema gerador fotovoltaico

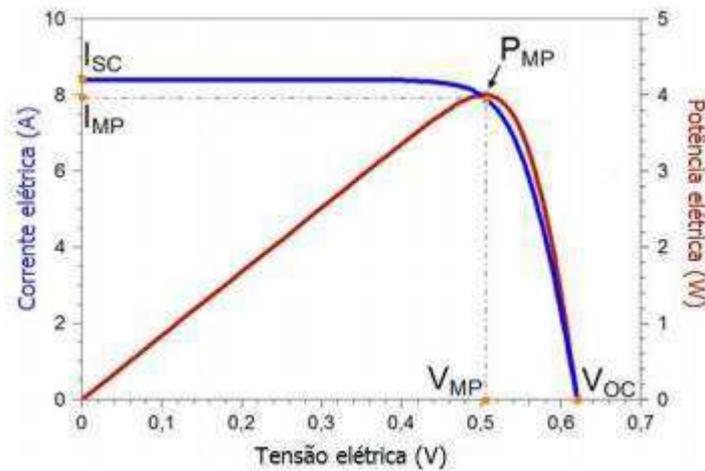
Um sistema gerador solar é constituído basicamente por módulos fotovoltaicos interligados em série e/ou paralelo, que contém as células responsáveis por converter a irradiação em eletricidade; inversores, que convertem a corrente contínua (CC) advinda dos módulos em corrente alternada (CA); estrutura de fixação dos módulos, normalmente de alumínio ou aço galvanizado; quadros de segurança, chamados de string box, contendo os dispositivos elétricos de proteção; e cabeamentos (BARBOSA, 2018).

2.7.1 Módulos fotovoltaicos

Um módulo é integrado por um conjunto de células fotovoltaicas interligadas eletricamente e encapsuladas para proteção, responsáveis pela conversão da energia solar em eletricidade. Os modelos mais comuns no mercado são os de 60 células ligadas em série geralmente apresentando 10 anos de garantia para defeitos de fábrica e 25 anos de rendimento mínimo de 80% (MAGALHÃES, 2017).

De acordo com Barbosa (2018), os atributos elétricos das células podem ser visualizados por meio da curva corrente-tensão (I-V) e potência-tensão (W-V), que são estabelecidas em ensaios laboratoriais sob condições padrão de teste (STC) como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Curvas (I-V) e (W-V)



Fonte: CRESESB (2014)

Magalhães (2017) cita os pontos das curvas como as características fundamentais que devem ser informadas pelo fabricante para um projeto fotovoltaico e os define:

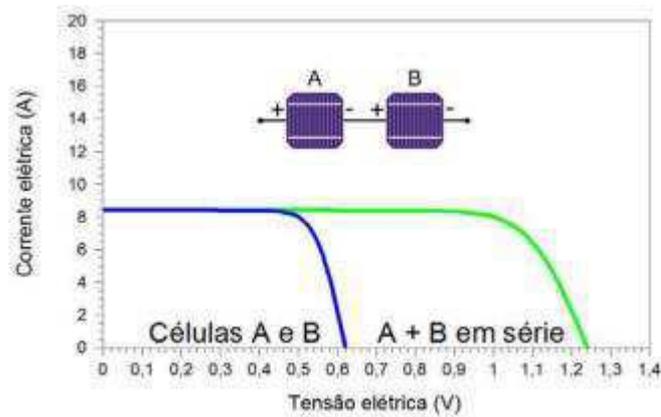
- Corrente de curto-circuito (I_{sc}): representa a máxima corrente que pode ser obtida do módulo fotovoltaico. Ocorre quando a resistência da carga do módulo tende a zero.
- Tensão de circuito aberto (V_{oc}): é o valor máximo de tensão sem presença de carga ou carga com resistência muito alta a ponto de impedir a passagem de corrente elétrica.
- Tensão de máxima potência (V_{mp}): é a tensão referente ao ponto de máxima geração de energia do painel.
- Corrente de máxima potência (I_{mp}): é a corrente referente ao ponto de máxima geração de energia do painel.
- Potência Nominal (P_{mp}): é o valor de máxima potência que o módulo fotovoltaico pode fornecer em condições padrão de ensaio. É o produto entre a tensão de máxima potência (V_{mp}) e a corrente de máxima potência (I_{mp}).

O ensaio se dá por uma fonte de tensão que realiza uma varredura sobre o módulo, variando tensões a partir de valores negativos até a tensão de circuito aberto. Durante a varredura registra-se os pares de corrente-tensão possibilitando retratar a curva característica da célula e consequentemente do módulo fotovoltaico (CRESESB, 2014).

Uma combinação de dois ou mais módulos interligados em série é chamada de *string*, onde o terminal positivo de um módulo é ligado ao negativo do elemento subsequente. Quando são idênticos e estão sob as mesmas condições de irradiância e temperatura, as

correntes elétricas são equivalentes e a tensão da *string* é o somatório de tensão de cada módulo (BARBOSA, 2018), como pode ser visto na Figura 10.

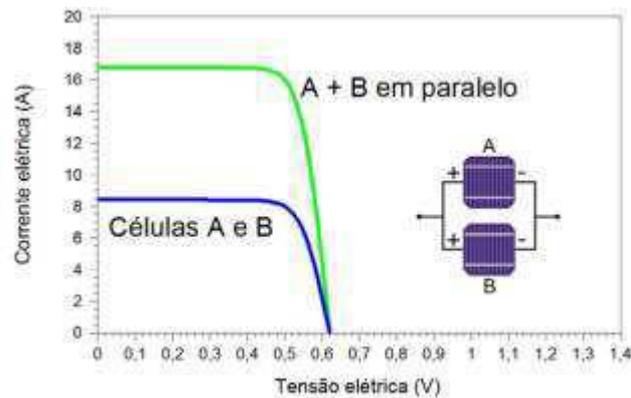
Figura 10 - Curvas característica de ligação em série



Fonte: CRESESB (2014)

Quando o terminal positivo está conectado a outro positivo, e o negativo ligado a outro negativo de duas ou mais *strings*, tem-se uma associação em paralelo, sendo a corrente elétrica do sistema a resultante da soma das correntes das *strings*, enquanto a tensão entre as *strings* é a mesma (BARBOSA, 2018), como pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 - Curvas característica de ligação em paralelo



Fonte: CRESESB (2014)

As combinações dos módulos devem ser organizadas em série e em paralelo para alcançar níveis de corrente e tensão compatíveis aos limites máximos e mínimos dos inversores em que estarão conectados. A potência nominal do gerador é determinada mediante a soma de todas as potências de seus módulos, tal que, a aptidão da produção de energia cresce proporcionalmente ao número de módulos instalados (BARBOSA, 2018).

2.7.2 Inversores

Os inversores são responsáveis por inverterem a corrente contínua (CC) proveniente dos módulos em corrente alternada (CA) utilizada pelos consumidores ligados a rede de distribuição (MAGALHÃES, 2017). Segundo Barbosa (2018), podem ser classificados em três categorias referentes ao uso:

- *grid-tie*, inversores ligados à rede elétrica da distribuidora ;
- *off-grid*, isolados da rede elétrica da distribuidora;
- híbridos , que podem atuar como ambas as formas anteriores.

Quando o inversor estiver conectado à rede da distribuidora, a tensão de saída precisa ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico similar à oferecida pela concessionária de energia e conforme o porte do gerador, os inversores podem ser separados em 3 grupos, cada um com suas aplicações como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Aplicações de inversores classificados quanto ao porte

INVERSOR CENTRALIZADO	INVERSOR <i>STRING</i>	MICROINVERSOR
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizado em parques solares de megaprodução; • Várias <i>strings</i> se conectam ao mesmo equipamento, gerando elevadas tensões e correntes; • Apresenta como principal vantagem o custo benefício com cabeamento devido à grande quantidade de módulos fotovoltaicos que consititem o sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizado em geração distribuída; • Alguns módulos fotovoltaicos conectam-se ao equipamento a partir de <i>strings</i>, associadas em paralelo ou não; • Apresenta como principal vantagem o custo de aquisição quando comparado à microinversores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizado em pequenas gerações; • Geralmente no máximo dois módulos fotovoltaicos se conectam ao equipamento; • Apresenta como principal vantagem a possibilidade de manutenção sem comprometer a geração, visto que pode-se isolar apenas o equipamento falho do restante do sistema.

Fonte: Barbosa (2018)

O inversor solar contém um sistema de rastreo no ponto de máxima potência que adapta a resistência de entrada e regula a tensão de atuação dos painéis para otimizar a conversão de energia, recomendando-se um sistema desse para cada orientação dos módulos no telhado (MAGALHÃES, 2017).

Lachini (2017), em referência a manutenção dos inversores declara que a vida útil, em conformidade com todos os dispositivos eletrônicos, passa por limitação de produtividade em decorrência das falhas relacionadas ao envelhecimento ou operação em situações de estresse, devendo variar de 10 a 15 anos, quando necessita-se de uma troca de equipamento.

2.7.3 Demais componentes

As estruturas de fixação normalmente de alumínio ou aço galvanizado, precisam ser dimensionadas para suportar o peso próprio dos sistemas e cargas acidentais, por exemplo a ação dos ventos e realização de manutenções. Devem apresentar resistência a corrosão, resistência mecânica e baixo peso específico (MAGALHÃES, 2017).

Ainda segundo Magalhães (2017), deve-se considerar a distância entre o telhado e os painéis, tendo em vista que, quanto menor for essa distância, maior a tendência de aumento de temperatura na região das células fotovoltaicas e, conseqüentemente, ocorre a redução da tensão e da potência máximas dos painéis solares.

Os condutores têm de apresentar resistência a temperaturas intensas, à radiação UV, ao ozônio e água, assim como deve possuir resistência mecânica à abrasões, cortes e rasgos de capa protetora, que são os atributos que os diferem dos condutores residenciais convencionais. Já os conectores precisam de um eficiente isolamento para a máxima tensão do sistema e devem ser competentes no combate às intempéries em decorrência da exposição ao ambiente (CRESESB, 2014).

De acordo com o CRESESB (2014), os dispositivos de segurança ficam alocados em quadros de proteção chamados de *string box*, constituído principalmente por:

- Fusível fotovoltaico – detém a função de proteger as *strings* do fluxo reverso de corrente de um conjunto em série com maior tensão para um com menor, devendo ser posicionado na saída de cada *string* nas polaridades negativa e positiva;
- Dispositivo de proteção contra surtos (DPS) – visa redirecionar a alta corrente proveniente de um surto por meio do aterramento;
- Disjuntores – devem assegurar proteção ao sistema em caso de correntes elevadas resultantes de curtos-circuitos, sobrecarga ou falha no aterramento;
- Chaves seccionadoras – possibilitam a interrupção do fluxo de corrente em condições de emergência ou manutenção.

2.8 Desempenho do gerador fotovoltaico

Um sistema fotovoltaico tem seu desempenho determinado fundamentalmente pela irradiância incidente (G), massa de ar (AM) e *performance ratio* (PR). A irradiância incidente (G) e a massa de ar (AM) são grandezas que variam de acordo com a latitude, longitude, altitude, horário e estação do ano. A *performance ratio* (PR) geralmente chamada de perdas, é uma medida de grandeza dada em percentual para estipular um fator de qualidade do sistema, onde quanto mais próximo de 100% mais eficaz é o gerador solar.

O cálculo da PR é obtido pela relação entre o rendimento real e o rendimento nominal do sistema, ambos indicados na mesma grandeza (kWh) e sobre os mesmos intervalos de tempos (SMA, 2018). A SMA (2018), ainda cita os fatores determinantes na PR , sendo eles:

- Temperatura dos módulos – quanto maior for o valor da temperatura, maiores serão as perdas do sistema por meio de energia térmica;
- Sombras e sujeiras – interferem diretamente na captação de irradiação solar nas células fotovoltaicas;
- Rendimento de módulos e inversores – parâmetro da eficiência dos componentes no sistema;
- Transmissão – causando perdas por meio de condutores, especialmente em extensas distâncias ou com conexões mal executadas que acarretem em pontos de fuga de corrente;
- Degradação das células fotovoltaicas – que naturalmente passam por uma redução de eficiência na conversão de energia solar em eletricidade.

2.9 Custos associados a sistema fotovoltaico

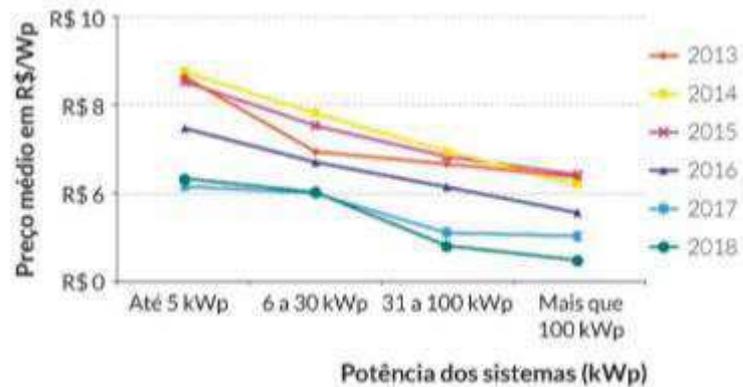
Para Lacchini (2017), os preços dos sistemas solares e os custos da energia convertida estão relacionados a diferentes fatores, tanto econômicos quanto de capacidade tecnológica, problema na instalação, modalidade de exposição, contrato com fornecedores, adversidades climáticas, empecilhos burocráticos, entre outros.

Na sexta edição de pesquisa realizada pelo Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina (IDEAL, 2019), foi mostrado que desde o início do estudo em 2013 até o ano de 2018 houve uma redução de cerca de 30% nos preços dos

sistemas, o que é benéfico já que o declínio no preço favorece um aumento no número de conexões à rede.

A Figura 13 apresenta o gráfico de preços dos sistemas e demonstra uma inversa proporção entre o preço médio do sistema e a sua potência instalada, onde os sistemas com potencia acima de 100 kWp correspondem a um valor médio de R\$ 3,08/Wp.

Figura 13 - Preço médio de sistemas fotovoltaicos entre 2013 e 2018



Fonte: IDEAL (2019)

Ainda no estudo do IDEAL (2019), foi possível obter uma média de preço para cada região do país, onde a líder no ranking foi a Centro-Oeste, com preço médio de R\$ 5,52/Wp e a região Nordeste apresentou valor médio de R\$ 6,07/Wp. Também foi apresentado as porcentagens dos elementos que constitui um sistema fotovoltaico conforme a Figura 14.

Figura 14 - Composição do custo total da instalação do sistema



Fonte: IDEAL (2019)

A adesão a um sistema solar fotovoltaico para geração distribuída deve passar por uma análise financeira, onde uma ponderação econômica deve estimar o fluxo de caixa no decorrer

do tempo (BARBOSA, 2018). Segundo Blank e Tarquin (2008), a engenharia econômica detém a função de organizar, estimar e avaliar o que deve ser feito com os elementos financeiros envolvidos em tomadas de decisões em situações futuras, como fluxo de caixa, tempo de ocorrência e taxa de juros.

Segundo Dávi (2013) upud Barbosa (2018), o tempo de retorno financeiro é um fator fundamental para a consolidação do investimento em um gerador fotovoltaico, tomando-se por consideração a lucratividade obtida por realizar a sua própria conversão de energia e a durabilidade útil que o sistema irá atingir.

2.9.1 Valor presente líquido

O estudo da viabilidade financeira pelo método do Valor Presente Líquido (VPL), tem como objetivo determinar o valor do capital aplicado com todos os descontos no momento inicial do investimento por meio da equação 1 (DOMINGOS, 2020) :

$$\text{VPL} = \sum_{t=0}^n \frac{\text{FC}_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

Em que:

- VPL – Valor presente líquido
- n – número de períodos envolvidos
- t – instante de tempo
- FC_t – fluxo de caixa no instante t
- i – taxa de juros incidente

Em todo investimento, a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) estipula o valor parâmetro dos juros para a análise da viabilidade econômica, ou seja, é a taxa de juros que deriva no valor mínimo que um investidor dispõe-se a ganhar resultante do seu investimento (BARBOSA, 2018). O presente trabalho foi baseado na Taxa Selic variando de 4,15% à 5,25% ao ano, como sendo a Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

Quando apresentar valor positivo o VPL, significa que a soma das receitas superou a de despesas e caracteriza o investimento viável e rentável. Quando resultar em valor negativo o cenário se inverte e o investimento se torna inviável. Já o VPL nulo indica os valores definidos pela TMA e retorna ao investidor o seu capital aplicado (MAGALHÃES, 2017).

2.9.2 Taxa interna de retorno

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma medida que revela o quão rentável é um investimento em determinado intervalo tempo, para que seja rentável ao investidor o TIR necessita ser igual ou maior que a TMA (DOMINGOS, 2020). A TIR se remete a taxa de juros quando o VPL é nulo como demonstra a equação 2.

$$\sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} = 0 ; i = \text{TIR} \quad (2)$$

2.9.3 *Payback*

O *payback*, tempo de retorno, refere-se ao tempo necessário para que o balanço de caixa assuma valores acima de zero, apontando em quanto tempo o capital investido será recuperado pelo consumidor, desconsiderando o valor monetário no tempo (*payback* simples) ou para uma análise mais precisa leva-se em consideração o desconto da TMA, assim como é feito no VPL, caracterizando o *payback* descontado (MAGALHÃES, 2017).

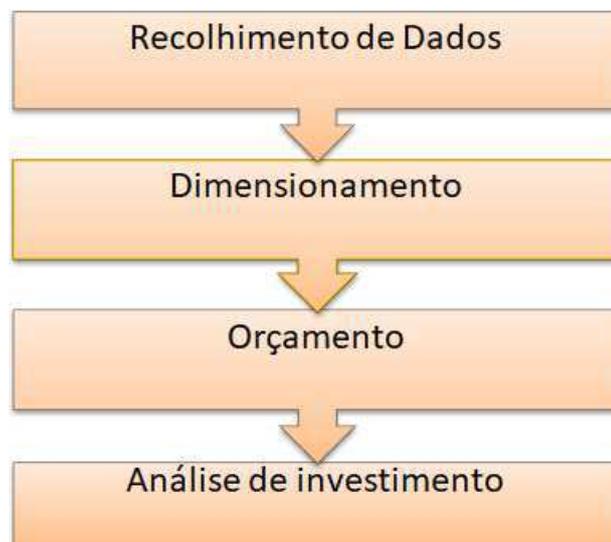
3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização do estudo

O presente trabalho concentra-se em uma comparação entre custos para obter e usufruir de um sistema fotovoltaico e o custo com a energia convencional, para observar a aplicabilidade do projeto. Tendo em vista que a classe residencial apresenta o maior número de sistemas instalados, para este estudo de caso foi escolhida uma edificação residencial de pequeno porte na cidade de Sousa – PB.

O processo de análise independe do porte da residência ou da classe de consumo, podendo ser aplicado em qualquer tipo de residência ou setores comerciais. Sendo assim, a metodologia foi segmentada em quatro etapas principais de metodologia sendo elas: recolhimento de dados, dimensionamento, orçamento e análise de investimento conforme a Figura 15 abaixo.

Figura 15 - Fluxograma das etapas do estudo de caso



3.2 Localização da residência

A residência está localizada na cidade de Sousa, que situa-se no extremo oeste da Paraíba, apresentando $6^{\circ}45'45,5''$ de latitude sul e $38^{\circ}13'44,9''$ de longitude oeste como coordenadas geográficas. A cidade está inserida na unidade ambiental da Depressão Sertaneja e caracterizada pelo clima tropical semiárido (MME, 2005) como mostra a Figura 16.

Figura 16 - Cidade local da residência



O município de Sousa representa uma área de 761,7 km² dentro do território estadual/nacional e a interligação da sede municipal para com a capital do estado, João Pessoa, se faz por intermédio da BR-230 em um percurso de aproximadamente 427,1 km.

3.3 Caracterização da residência

O acesso ao histórico de consumo de energia da residência, que apresentou um pequeno valor e inclusão no programa de Baixa Renda proporcionam um cenário inconveniente ao investimento na fonte solar. Por essa razão se dá o interesse em estudar o caso, para verificar se existe rentabilidade mesmo que diante de uma situação desfavorável.

A edificação é composta por 2 quartos, 1 banheiro, 1 sala de estar, 1 cozinha e 1 muro/área de serviço, contabilizando 55,25 m². É habitada por 3 pessoas, que contam com uso da eletricidade para os seguintes aparelhos: 1 tv, 1 geladeira, 5 lâmpadas, 1 rádio, 2 ventiladores, 2 notebooks, 1 liquidificador, 1 máquina de lavar, 3 carregadores de celular e 1 ferro de passar. A Tabela 2 apresenta os dados básicos relevantes ao dimensionamento do sistema gerador fotovoltaico para atender a demanda de eletricidade da residência em estudo.

Tabela 2 – Dados básicos da residência

Dados	Resultado
Tipo de conexão	Monofásica
Consumo anual de energia	2105 kWh
Tarifa incidente de eletricidade	R\$ 0,75/kWh
Inclinação do telhado	11°
Orientação do telhado	Leste

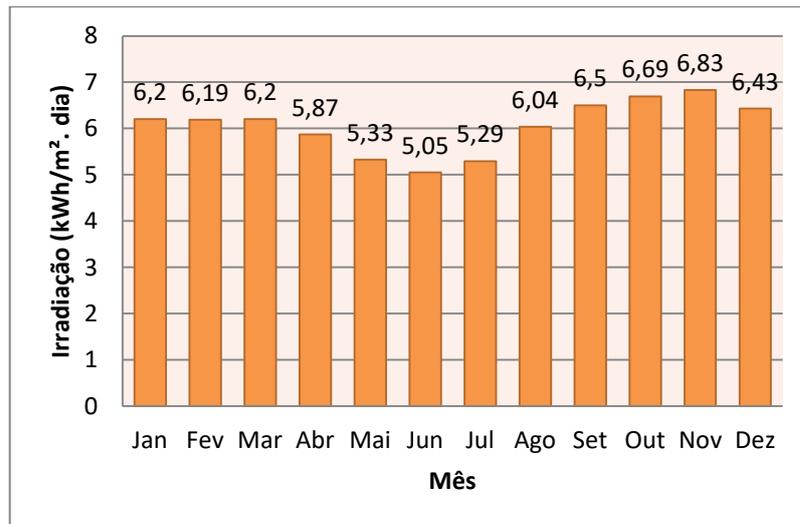
Os resultados obtidos para inclinação e orientação foram realizados no local e também calculada a área disponível de telhado para instalação sendo de 27,85 m². São fatores devidamente importantes para a *performance ratio*, tendo em vista que o máximo de geração é alcançado quando as placas solares estão orientadas para o Norte geográfico (BARBOSA, 2018).

Os demais dados foram retirados da conta mensal de energia elétrica, sendo o tipo de conexão responsável por definir o custo de disponibilidade, trata-se do consumo mínimo pago à distribuidora, com valores de 30, 50 e 100 kWh para conexões monofásicas, bifásicas e trifásicas, respectivamente.

O consumo anual de energia é o parâmetro fundamental pra o dimensionamento já que é o valor referência de consumo demandado na residência nos próximos anos. Já a tarifa incidente entrará no processo da análise financeira do sistema, uma vez que determina o valor cobrado pela concessionária para o consumo do cliente, ela foi determinada pela relação entre o custo anual com a energia elétrica e o consumo anual de eletricidade.

3.4 Irradiação incidente no lugar

Na estimativa dos valores de irradiação incidente no local em análise, foi utilizado o programa *SunData* do Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB, 2018) e foi adotado os valores da estação mais próxima da residência como demonstra a Figura 17.

Figura 17 - Irradiação solar diária média para a residência

Fonte: CRESESB (2018)

Os valores acima se referem ao plano horizontal, apresentando um valor médio diário de 6,05 kWh/m².dia, onde o mês de novembro apresenta a maior média diária (6,83 kWh/m².dia) e o mês de junho a menor (5,05 kWh/m².dia) caracterizando-se como os meses de mais e menos geração fotovoltaica, respectivamente.

3.5 Cálculo da potência do gerador fotovoltaico

No cálculo da potência (P_{GF}) toma-se como base a demanda anual de energia da residência, a demanda de disponibilidade referente ao tipo de conexão, a irradiação incidente no local, a radiação luminosa STC e a *performance ratio* do sistema (BARBOSA, 2018) (Equação 3).

$$P_{GF} = \frac{G_{stc} \cdot (D_a - D_{ma})}{G \cdot PR} \quad (3)$$

Em que,

- G_{stc} – radiação luminosa em condições padrões de referência (W/m²);
- D_a – demanda anual de energia em (kWh);
- D_{ma} – demanda de disponibilidade anual (kWh);
- G – irradiação média anual no plano horizontal (kWh/m².ano);
- PR – *performance ratio*

Como a residência apresenta conexão monofásica, a demanda de disponibilidade anual utilizada no cálculo foi de 360 kWh, tendo em vista que o valor normatizado pela ANEEL é de 30 KWh mensais.

Já a *performance ratio*, devido à dificuldade de estimar isoladamente algumas perdas, teve seu valor fixado neste estudo, em 0,75, tomando como referência outros dimensionamentos já realizados na região com porte semelhante ao da pesquisa.

O número (N) de módulos fotovoltaicos precisos para atender a conversão de energia é determinado a partir da potência do módulo ($P_{\text{módulo}}$) instalado e da potência do gerador fotovoltaico (P_{GF}) calculado para fornecer a demanda anual de energia (Equação 4).

$$N = \frac{P_{\text{gf}}}{P_{\text{módulo}}} \quad (4)$$

Segundo Barbosa (2018), o módulo detentor de 335 W de potência é usual no mercado de energia solar brasileiro. Sendo assim aderiu-se a esses módulos para este dimensionamento.

3.6 Orçamento do sistema fotovoltaico

O orçamento de instalação do sistema fotovoltaico incluindo todos os custos ligados aos serviços e aos equipamentos, foi realizado em três empresas de engenharia da cidade de Sousa, sendo solicitado à elas que o orçamento atenda as configurações ao máximo possível referente ao gerador dimensionado, sem evidenciar marca ou fabricante dos elementos constituintes.

Os três valores propostos pelas empresas e também o valor médio entre eles foram submetidos à uma simulação de financiamento integral do sistema em uma agência de Sistema de Crédito Cooperativo (SICREDI), também localizada na cidade de Sousa, contando com uma taxa de juros de 1,61% ao mês para um período de 60 parcelas fixas mensais, agregado de seguro prestamista e Imposto sobre Operações Financeiras (IOF).

3.7 Análise financeira

Obtidos os valores dos orçamentos requeridos nas empresas, calculou-se o VPL, TIR, fluxo de caixa simples e acumulado, *payback* simples e descontado, e custo total com e sem energia fotovoltaica, presumindo-se os dados incluídos no cálculo apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados de cálculo de receitas e despesas

Dados	Resultado
Perda de eficiência	0,70% ao ano
Custo anual de operação	1% ao ano do custo do gerador
Custo anual de troca de equipamentos	10% do custo do gerador
Tempo para troca de equipamentos	14 anos
Inflação energética anual	8%

Fonte: BARBOSA (2018)

Presumiu-se para análise um período de 25 anos, referente ao tempo de garantia dos módulos fotovoltaicos, sendo o fluxo de caixa estabelecido através da conjectura das despesas (compra do sistema fotovoltaico, compra de energia da concessionária quando não suprida a demanda com o gerador, manutenção, custo operacional, inflação, depreciação), e receitas (restituição de energia elétrica e lucro consequente do montante que seria utilizado contratando apenas energia da concessionária tradicional) relacionadas ao gerador solar.

Visando garantir a máxima geração provável, os custos anuais de operação abrangem os valores de manutenção básica, como testes comissionamento e limpeza regular. A manutenção com trocas de equipamentos foi estipulada para 14 anos com desembolso de 10% do montante inicial do gerador.

Nesse estudo foi tido como 0,70% ao ano o valor da perda de eficiência, que deve contribuir para redução de capacidade de geração do sistema, conveniente ao grau de eficiência dada como garantia pelos fornecedores, sendo de 80% até o 25º ano. Este parâmetro é relevante para assegurar um equilíbrio no dimensionamento e o sistema não venha a ficar subdimensionado pela redução de rendimento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dimensionamento do gerador fotovoltaico

Partindo dos parâmetros básicos da residência em estudo, foi determinado um gerador fotovoltaico de 1,34 kWp, a radiação média local foi de 6,05 KWh/m²/dia consultada no *SunData* do CRESESB, para atender 100% de sua demanda de eletricidade anual. Necessita-se de 4 módulos para alcançar a potência dimensionada, tendo em vista a opção por placas fotovoltaicas de 335 W.

Neste trabalho decidiu-se por 1 inversor superdimensionado de 1,5 kWp o que assegura uma margem de potência aceitável em ocasião de aumento do sistema, tendo em vista que para o ano base de consumo um gerador de 1,02 kWp já seria suficiente para suprir a demanda energética, além de ser um valor já usual pelas empresas solicitadas para as propostas em projetos de porte semelhante.

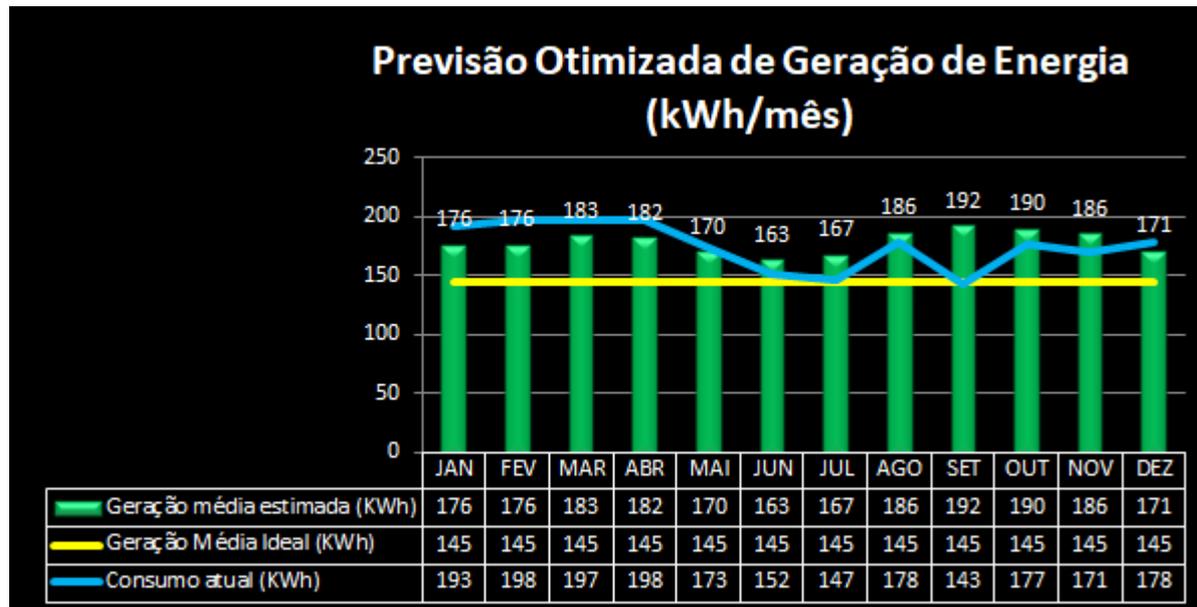
Tendo em vista que para estabelecer as associações em série e paralelo dos módulos seria preciso firmar os atributos elétricos do inversor, e por consequência sua marca, o arranjo não foi exemplificado. Por também estarem relacionadas com dependência ao arranjo, não foram indicados o número de dispositivos de segurança inclusos nos *string box* CC e CA por não fazerem parte do escopo deste trabalho.

Diante do exposto, foram dimensionados os itens básicos do sistema fotovoltaico para suprir a demanda da residência em análise que são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Itens dimensionados para o gerador em estudo

Itens	Quantidade
Módulo fotovoltaico polly 335 W	4
Inversor 1,5 KWp	1
String Box CC	1
String Box CA	1

No que diz respeito a potência instalada de 1,34 KWp, estipula-se que o gerador fotovoltaico converta em média 175 KWh mensais, onde o mês de setembro apresenta a maior produção com 192 KWh e junho apresentando a menor produção sendo 163 KWh como mostra a Figura 18.

Figura 18 - Estimativa média mensal de geração no primeiro ano

A quantidade anual de geração estimada acumulada em seu primeiro ano de atuação é 2142 kWh, ao passo que a demanda no mesmo período é 2105 kWh, revertendo-se em 37 kWh de créditos para com a concessionária, que terão a incumbência de serem aproveitados nos anos seguintes conforme o sistema diminui sua eficiência e desse modo também a sua capacidade de geração.

O valor de 37 kWh relativamente baixo, se deve ao pequeno porte do sistema em estudo e do consumo apresentado na residência. Apesar da reduzida quantidade de créditos, é notória a conveniência e importância do sistema de compensação para a estabilidade entre geração e consumo em virtude da sazonalidade da produção e demanda.

4.2 Análise financeira

4.2.1 Custo de instalação

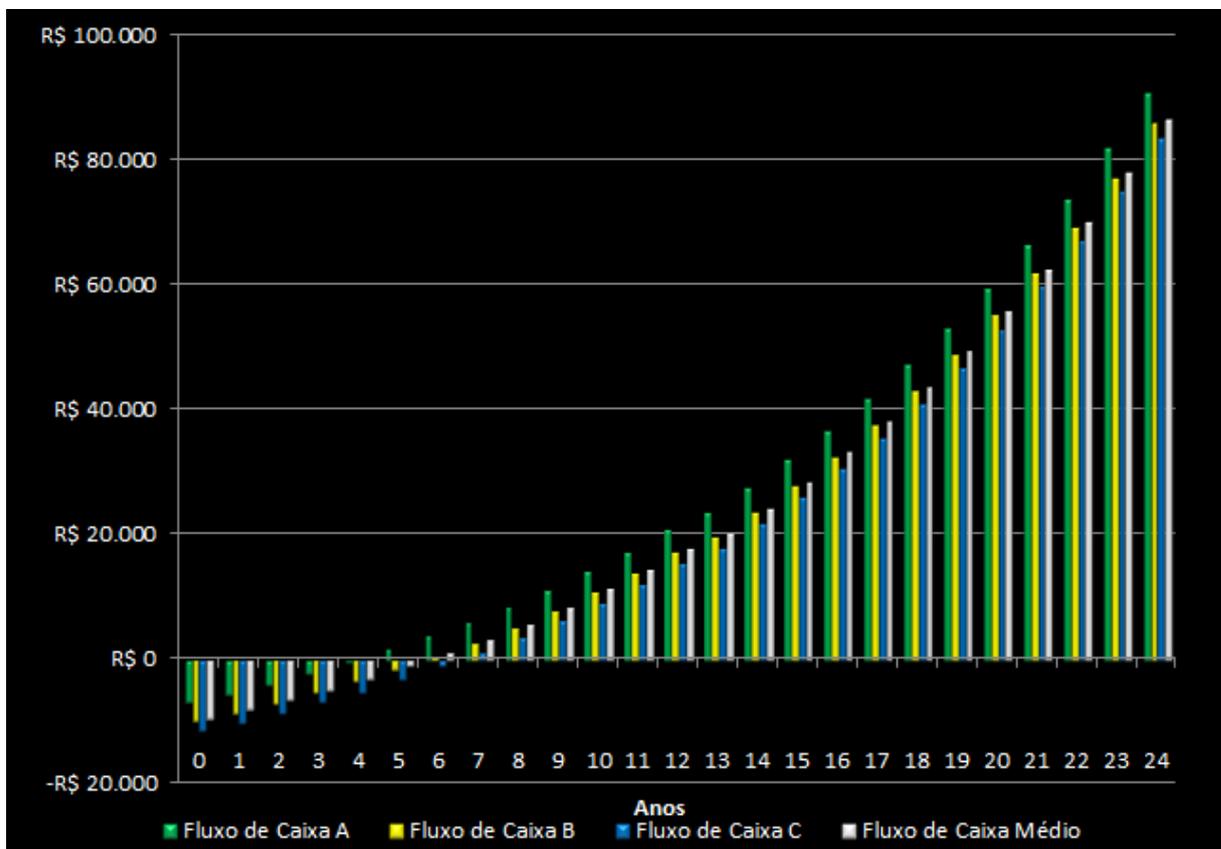
Os valores da inserção do sistema fotovoltaico na residência, apresentados na Tabela 5, foram orçados em 3 empresas da cidade que atuam no ramo da energia solar, obtendo-se um valor médio de R\$ 10.510,52.

Tabela 5 – Preços orçados para o gerador

Empresa	Valor	Valor/potencia instalada
A	R\$ 8.031,55	R\$ 5,35/Wp
B	R\$ 11.000,00	R\$ 7,33/Wp
C	R\$ 12.500,00	R\$ 8,33/Wp
Média	R\$ 10.510,52	R\$ 7,01/Wp

4.2.2 Fluxo de Caixa

O fluxo de caixa pode ser entendido como fator crucial para a tomada de decisão por se obter um sistema de energia solar em sua residência, como no caso, já que retrata em projeção o montante que pode ser economizado por parte do cliente, expressando em valor monetário o quanto poder ser rentável a adesão pelo gerador fotovoltaico e também leva em consideração o tempo de retorno do investimento como ilustra a Figura 19.

Figura 19 - Fluxo de caixa acumulado para pagamento à vista

Para o caso em estudo, a fluxo de caixa acumulado para pagamento à vista resultou nos *payback's* simples apresentados na Tabela 6. A partir do Ano 7 de sistema instalado todos os fluxos expressam valores positivos, o que caracteriza cerca de 18 anos de economia na conta de energia elétrica independente da escolha de empresa.

Tabela 6 – Payback simples das empresas para pagamento à vista

Empresa	Payback (tempo)
A	5 anos e 2 meses
B	6 anos e 9 meses
C	7 anos e 6 meses
Média	6 anos e 6 meses

Por ofertar a menor proposta de orçamento, a empresa A foi a pioneira nos fluxos positivos e decorridos os 25 anos estimados de atuação do gerador apresentou a maior quantia de economia como pode ser visto na Tabela 7. Em contrapartida a empresa C foi a última a inverter o sinal negativo dos fluxos e exibiu o menor valor economizado.

Tabela 7 – Fluxo de caixa

Empresa	Fluxo de caixa (R\$)
A	R\$ 90.479,03
B	R\$ 85.728,74
C	R\$ 83.328,35
Média	R\$ 86.512,04

Fonte: Próprio autor (2021)

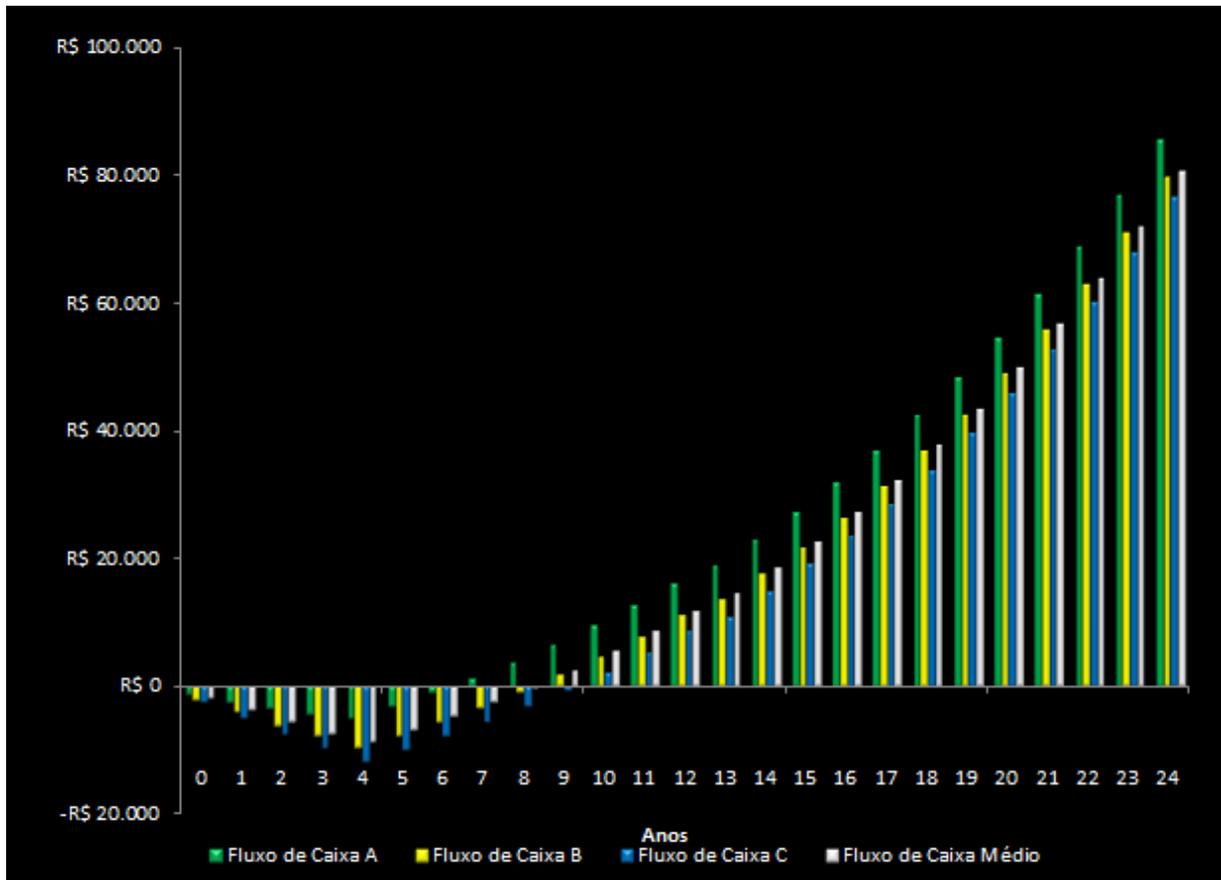
Na situação do pagamento com financiamento, segundo as condições do banco pesquisado foram obtidos os valores presentes na Tabela 8 para 60 parcelas referentes a quitação da quantia desembolsada para o sistema fotovoltaico.

Tabela 8 – Parcelas do financiamento

Empresa	Parcela	Total
A	R\$ 215,40	R\$ 12.924,00
B	R\$ 287,90	R\$ 17.274,00
C	R\$ 324,54	R\$ 19.472,40
Média	R\$ 275,95	R\$ 16.557,00

Na hipótese do financiamento, o fluxo de caixa acumulado ilustrado na Figura 20 demonstra que a partir do Ano 10 todos os fluxos indicam valores positivos o que proporciona ao usuário do sistema uma economia durante 15 anos independente da empresa escolhida.

Figura 20 - Fluxo de caixa acumulado para pagamento financiado



Seguindo o mesmo raciocínio do pagamento à vista, o montante de capital economizado está relacionado ao preço da proposta orçamentária, caracterizando a empresa A como a mais atraente no quesito financeiro dentre as três como demonstra a Tabela 9.

Tabela 9 – Fluxo de caixa para pagamento financiado

Empresa	Fluxo de caixa (R\$)
A	R\$ 85.579,55
B	R\$ 79.445,11
C	R\$ 76.345,01
Média	R\$ 80.456,56

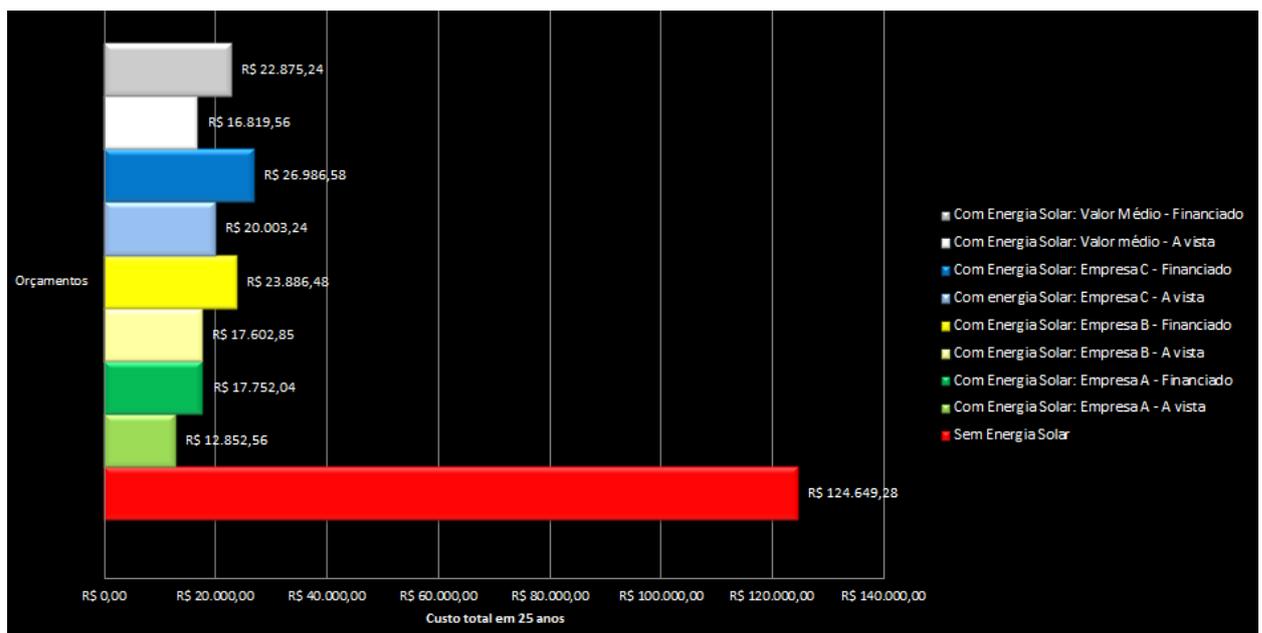
O financiamento do sistema os *payback's* descontados trazem um aumento do tempo necessário para se obter um fluxo acima de zero quando comparado ao simples como ilustra a Tabela 10.

Tabela 10 – *Payback* descontado das empresas com pagamento financiado

Empresa	<i>Payback</i> (tempo)
A	7 anos e 6 meses
B	9 anos e 5 meses
C	10 anos e 3 meses
Média	9 anos e 1 mês

No cenário onde a residência escolha por seguir usufruindo da eletricidade proveniente da concessionária, a quantia desembolsada para o horizonte de 25 anos pode ser de R\$ 124.649,28, em contrapartida utilizando o sistema fotovoltaico proposto pela empresa A e com pagamento à vista (melhor condição de custo benefício) as despesas com energia elétrica devem ser da ordem de R\$ 12.852,56, tendo por consequência uma economia de R\$ 111.796,72, em outros termos, 89,69% como exemplifica a Figura 21.

Figura 21 - Custo com energia elétrica em 25 anos



4.2.3 TIR e VPL

Por último, considerando as duas formas de pagamento as Tabela 11 e 12 apresentam os valores de VPL e TIR para as empresas requisitadas.

Tabela 11 – VPL e TIR pagamento à vista

Empresa	VPL	TIR
A	R\$ 23.594,12	29,25%
B	R\$ 20.221,67	21,74%
C	R\$ 18.517,53	19,32%
Média	R\$ 20.777,77	23,44%

Tabela 12 – VPL e TIR pagamento financiado

Empresa	VPL	TIR
A	R\$ 20.703,88	28,18%
B	R\$ 16.603,93	19,52%
C	R\$ 14.531,94	16,95%
Média	R\$ 17.279,92	21,55%

Domingos (2020) declara que ao expressar valores positivos, o VPL adquire um caráter de rentabilidade para o investimento realizado. Tomando por base um fluxo de caixa de 25 anos para este estudo de caso, pode-se alcançar até R\$ 23.594,12 de VPL sendo aproximadamente o triplo do valor investido no gerador, ratificando assim a rentabilidade.

5 CONCLUSÃO

O gerador fotovoltaico dimensionado em 1,34 KWp para atender a demanda energética foi orçado em 3 empresas com um capital variando de R\$ 8031,55 à R\$ 12.500,00. O fator financeiro é crucial para determinar a adesão do gerador e baseado no cenário desfavorável (pagamento financiado) os valores médios do fluxo de caixa (R\$ 80.456,56), VPL (R\$ 17.279,92) e TIR (21,55%) atestam a rentabilidade do investimento.

Independente da empresa ou forma de pagamento adotada será rentável a implantação do gerador, ficando a critério do cliente escolher o melhor custo-benefício. Apesar de um *payback* descontado médio de 9 anos e 1 mês ser relativamente elevado, a residência ainda deve contar com pelo menos 15 anos de economia, sendo uma vantagem tendo em vista que o dinheiro que seria destinado as despesas com eletricidade poder ser realocado para outra área de interesse do proprietário.

A verificação financeira ratifica a rentabilidade do investimento em um sistema fotovoltaico para a residência tratada nesse estudo de caso, onde, dentre as possibilidades projetadas, pode ocasionar uma economia de até R\$ 111.796,72 representando 89,69% da quantia que seria destinada as despesas com eletricidade totalmente proveniente da concessionária para o período analisado de 25 anos.

Vale salientar também o caráter socioambiental, tendo em vista os ganhos gerados pela produção e consumo de uma fonte energética sustentável, que acarreta ínfimos impactos ao meio ambiente quando confrontada com fontes não sustentáveis.

Perante o exposto, uma sugestão para próximos trabalhos é realizar o estudo de caso em edifícios de órgãos públicos para obter conhecimento do consumo e analisar o quanto pode ser economizado dos cofres públicos. Outra alternativa é realizar o estudo em um condomínio de residências para verificar como seria a relevância do gerador fotovoltaico atendendo um mesmo núcleo com varias casas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2008. 236 p

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **REN 482/2012: Resolução normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012**. Brasília: ANEEL, 2012.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **REN 687/2015: Resolução normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Brasília: ANEEL, 2015.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Nota Técnica nº 0056/2017**. Brasília: ANEEL, 2017.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Micro e Minigeração Distribuídas**. 2018. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>>. Acesso em: 22 mar. 2021.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **GERACAO DISTRIBUIDA**. 2020. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Estadual.asp>. Acesso em: 27 mar. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). **Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo**. 2021. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 02 jul. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). **Setor fotovoltaico gerou mais de 86 mil empregos no Brasil em 2020**. 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/setor-fotovoltaico-gerou-mais-de-86-mil-empregos-no-brasil-em-2020/>. Acesso em: 15 mar. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). **Energia solar vai gerar mais de 147 mil empregos no Brasil em 2021, projeta ABSOLAR**. 2021. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-vai-gerar-mais-de-147-mil-empregos-no-brasil-em-2021-projeta-absolar/>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

BARBOSA, E; B. **Análise da viabilidade financeira de investimento em gerador solar fotovoltaico – um estudo de caso**. 2018. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, Universidade Estadual da Paraíba, Araruna, 2018.

BLANK, L.; TARQUIN, A. **Engenharia Econômica**. 6. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008

CARMO, I. F. **ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: UM ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA DE MOTORES WEG EM RONDONÓPOLIS-MT**. 2019. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração, Instituto de Ciências Humanas e Sociais - Ichs, Universidade Federal de Mato Grosso- Uftm, Rondonópolis, 2019.

Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB). **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**. 2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&catid=4>. Acesso em: 20 abr. 2021.

Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/manual_de_engenharia_fv_2014.pdf>. Acesso em: 06 fev. 2021

Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB). **SunData**. 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em: 20 abr. 2021.

CUSTÓDIO, I. P. **Analysis of technical and economic feasibility of a mini solar photovoltaic generator integrated on university campus building envelopes**. 2019.

DOMINGOS, R. M. A. **Análise comparativa do custo-benefício de medidas de eficiência energética e geração fotovoltaica em habitações de interesse social**. 2020. 89 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

GÓMEZ, J. M. et al. A irradiância solar: conceitos básicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, 2018.

Greenpeace. Alvorada: **Como o incentivo à energia solar fotovoltaica pode transformar o Brasil**. 2016. Disponível em: Acesso em: 06 fev. 2021.

GUARNIERI, M. V. **Usinas solares fotovoltaicas com seguimento em um eixo no Brasil: aspectos da construção, custos e expectativa de desempenho**. 2017. 184 p. Dissertação

(Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

HICKEL, B. M. **O impacto no desempenho de sistemas fotovoltaicos causado pelo acúmulo de sujeira sobre os módulos FV – metodologia e avaliação através de curvas IxV em campo.** 2017. 110 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS NA AMÉRICA LATINA (IDEAL) (org.). **O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica.** 2019. Disponível em: <https://issuu.com/idealeco_logicas/docs/o_mercado_brasileiro_de_gera__o_distribu_da_fv_-_e>. Acesso em: 20 abr. 2021.

LACCHINI, C. **Análise econômica de sistemas fotovoltaicos residenciais no contexto brasileiro, com foco nos indicadores financeiros e nas tarifas locais de energia elétrica.** 2017. 156 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

MAGALHÃES, J. T. S. **ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A REDE DE MÉDIA TENSÃO PARA UM CONSUMIDOR EM FORTALEZA - CE.** 2017. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

Ministério de Minas e Energia (MME). **PROJETO CADASTRO DE FONTES DE ABASTECIMENTO POR ÁGUA SUBTERRÂNEA:** diagnóstico do município de Sousa. Recife, 2005.

Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2012.** Rio de Janeiro: EPE, 2012.

Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2016.** Rio de Janeiro: EPE, 2016.

Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026.** Rio de Janeiro: EPE, 2017.

Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2020**. Rio de Janeiro: EPE, 2020.

NASCIMENTO, Á. D. J. **GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA COMO ELEMENTO SUBSIDIÁRIO PARA SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM AMBIENTE DE TARIFAS DIFERENCIADAS**. 2019. 109 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

BRASIL. OPERADOR NACIONAL DE SISTEMA ELÉTRICO (ONS). (org.). **Mapa do Sistema de Transmissão - Horizonte 2024**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>>. Acesso em: 02 mar. 2021.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: Inpe, v. 1, 2017.

PINTO, G. X. A. **IMPACTOS DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA E DA MODALIDADE DE CONTRATAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA SOBRE AS DESPESAS COM ENERGIA ELÉTRICA EM CAMPUS UNIVERSITÁRIO**. 2018. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

PINTO JUNIOR, L. A. W. **Entenda a Legislação do ICMS**. 2020. Disponível em: <<https://hccenergiasolar.com.br/posts/entenda-a-legislacao-do-icms/>>. Acesso em: 20 abr. 2021.

PLANAS, O. **O que é radiação solar?** 2015. Disponível em: <<https://pt.solar-energia.net/que-e-energia-solar/radiacao-solar>>. Acesso em: 06 fev. 2021.

RAMOS, C. et al. **Cadeia de valor da energia solar fotovoltaica no Brasil**. Brasília: SEBRAE, 2018. 364 p.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: UFSC, 2004.

SAUAIA, R.; KOLOSZUK, R. **A energia solar que faz o Brasil crescer**. 2021. Disponível em: <<https://cenariosolar.editorabrasilenergia.com.br/a-energia-solar-que-faz-o-brasil-crescer/>>. Acesso em: 19 jun. 2021.

SILVA, M. K. **Estudo de modelos matemáticos para análise da radiação solar e desenvolvimento de ferramenta para modelagem e simulação de sistemas fotovoltaicos**. 2019. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

SMA (Org.). **Performance Ratio: Factor de qualidade para o sistema fotovoltaico**. Disponível em: Acesso em: 06 fev. 2021.

VERÍSSIMO, P. H. A. **Avaliação de uma usina solar fotovoltaica comparando diferentes topologias de sistemas de fixação utilizando duas diferentes tecnologias fv**. 2017. 112 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.