

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DAELE-DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANDRE MIGUEL SENDERSKI

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRA DE
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA
2018

ANDRE MIGUEL SENDERSKI

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRA DE
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Msc. Edison Luiz Salgado Silva
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA
2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Ponta Grossa
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Engenharia Elétrica



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

por

ANDRE MIGUEL SENDERSKI

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 14 de novembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Elétrica. O(A) candidato(a) foi arguido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Msc. Edison Luiz Salgado Silva
Orientador(a)

Prof(a). Esp. Paulo Sérgio Parangaba Ignácio
Membro Titular

Prof(a). M.Eng. Percio Luiz Karam de Miranda
Membro Titular

Prof. Dr. Josmar Ivanqui
Responsável pelos TCC

Prof. Msc. Jeferson José Gomes
Coordenador do Curso

– O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

Dedico este trabalho aos meus pais Miguel e Irene que sempre me apoiaram e incentivaram em qualquer coisa a qual me propusesse.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas. Certamente esses parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre estas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

A minha família, pelo carinho, incentivo e total apoio em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador Edison Luiz Salgado Silva, que me mostrou os caminhos a serem seguidos e pela confiança depositada.

A todos os amigos e colegas que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento do trabalho.

Enfim, a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

"Eu apostaria o meu dinheiro em energia solar. Que fonte de energia! Espero que não aguardemos o fim do petróleo e do carvão para fazer isso."(EDISON, Thomas, 1931).

RESUMO

SENDERSKI, Andre M. Estudo de Viabilidade Técnico-Financeira de Geração Distribuída por Painéis Fotovoltaicos. 2018. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso – curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

Este trabalho apresenta a energia solar fotovoltaica como opção de um investimento viável com o objetivo de encorajar a utilização de energias renováveis para a produção de energia. Outro objetivo também é apresentar uma solução para reduzir a produção de energia não renovável que lança poluentes na atmosfera. Para tanto, utilizou-se de técnicas de engenharia econômica, equações matemáticas e planilhas para comparar com investimentos de renda fixa, como a Poupança e o Tesouro Direto. Os resultados foram positivos e conseguiram explicar de forma sucinta o quanto as energias renováveis vêm crescendo no Brasil, que é um dos melhores países do mundo para este tipo de geração de energia. Conclui-se que, o trabalho contribui para pesquisas futuras incentivando ainda mais o desenvolvimento nessa área, que já possui um crescimento exponencial no país nos últimos anos.

Palavras-chave: Energia Limpa. Energia Solar. Geração Distribuída.

ABSTRACT

SENDERSKI, Andre M. Technical and Financial Feasibility Study of Generation Distributed by Photovoltaic Panels. 2018. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso – curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

This work presents solar photovoltaic energy as an option for a viable investment with the purpose of encouraging the use of renewable energies for the production of energy. Another objective is also to present a solution to reduce the use of non-renewable energy that throw tons of pollutants into the atmosphere. For better understanding, it has been used economic engineering techniques, mathematical equations and spreadsheets to compare with fixed income investments, such as saving and Direct Treasury. The results were positive and succinctly explained how renewable energies are growing in Brazil, which is one of the most prosperous countries for this type of energy generation. It is concluded that, the work contributes to future research encouraging further development in this area, which already has already shown exponential growth in recent years.

Keywords: Clean Energy. Solar Energy. Distributed Generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz Energética Brasileira.	14
Figura 2 – Energia Solar Térmica	16
Figura 3 – Semicondutor do tipo P	17
Figura 4 – Semicondutor do tipo N	18
Figura 5 – Conversor de Frequência	19
Figura 6 – Proteção do sistema com diodos	20
Figura 7 – Distribuição da Radiação Solar	21
Figura 8 – Atlas Solarimétrico Brasileiro	22
Figura 9 – Usina Hidrelétrica de Itaipu	24
Figura 10 – Usina Termelétrica em Operação	25
Figura 11 – Usinas Nucleares de Angra 1 e Angra 2	26
Figura 12 – Parque Eólico Chapada do Araripe, divisa entre Pernambuco e Piauí	27
Figura 13 – Esquema de Geração de Energia por Biomassa	28
Figura 14 – Esquema de Geração de Energia Solar	29
Figura 15 – Procedimento para Injetar Energia na Rede	30
Figura 16 – Esquema de Geração Distribuída	32
Figura 17 – Exemplo de Compensação de Energia	32
Figura 18 – Montante da Poupança	40
Figura 19 – Montante Tesouro IPCA+2045	42
Figura 20 – Economia com Geração Distribuída	44
Figura 21 – Comparação entre Investimentos	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Capacidade Energética Mundial.	13
Tabela 2 – Fluxo de Energia	36
Tabela 3 – Fluxo de Caixa	38
Tabela 4 – Rendimento da Poupança	39
Tabela 5 – Rendimento do Tesouro IPCA+2045	41
Tabela 6 – Economia Com Geração Distribuída	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Energética
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IFSC	Instituto Federal de Santa Catarina
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
PIS	Programa de Integração Social
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
CPF	Cadastro de Pessoa Física
GD	Geração Distribuída
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
<i>GW</i>	Gigawatt
<i>MW</i>	Megawatt
<i>kW</i>	Kilowatt
<i>V</i>	Volt
<i>A</i>	Ampère
<i>m²</i>	Metro quadrado
<i>kg</i>	quilograma

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	12
2 – REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 ENERGIA SOLAR	15
2.2 ENERGIA SOLAR TÉRMICA	15
2.3 CONCENTRADORES SOLARES	16
2.4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	16
2.4.1 Conversor de Frequência	18
2.4.2 Proteção de Sistemas Fotovoltaicos com Diodos	19
2.5 RADIAÇÃO SOLAR NA TERRA	20
2.5.1 Radiação Solar no Brasil	21
2.6 IMPACTOS AMBIENTAIS E COMPARATIVO ENTRE DIVERSAS FONTES DE ENERGIA	22
2.6.1 Usinas Hidrelétricas	23
2.6.2 Usinas Termelétricas	24
2.6.3 Usinas Nucleares	25
2.7 FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS	26
2.7.1 Energia Eólica	26
2.7.2 Energia da Biomassa	27
2.7.3 Energia Solar	28
2.8 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA	29
2.8.1 Microgeração e Minigeração Distribuída	29
2.8.2 Impostos Federais e Estaduais sobre a Geração Distribuída	30
2.8.3 Consumo Compartilhado de Energia	31
2.8.4 Custos de Disponibilidade	31
2.8.5 Exemplo de Faturamento pelo Sistema de Compensação de Energia	32
3 – ANÁLISE FINANCEIRA	34
3.1 MÉTODOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS	34
3.1.1 Valor Presente Líquido (VPL)	34
3.1.2 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	34
3.1.3 <i>Payback</i>	35
3.2 COMPARAÇÃO ENTRE INVESTIMENTOS	35
3.2.1 Parâmetros Utilizados	35
3.2.2 Poupança	38
3.2.3 Tesouro Direto IPCA+2045	40

3.2.4 Economia de Energia com Geração Distribuída	42
4 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	45
5 – CONCLUSÃO	46
Referências	47

1 INTRODUÇÃO

A questão energética é responsável por grande parte das preocupações de países em desenvolvimento. Devido às tecnologias atuais, pode-se observar o aumento do aquecimento global pela queima de combustíveis fósseis e poluentes, gerando grande discussão no mundo a fim de implementar cada vez mais o uso de fontes renováveis e não poluentes para geração de energia elétrica.(VIEIRA; BAZZO, 2008)

Na década de 60 passou a ser cogitada a geração de energia renovável por meio de aerogeradores eólicos e painéis solares fotovoltaicos. Tal ideia caiu em desuso devido ao alto custo para desenvolver as tecnologias renováveis.(GOLDEMBERG; LUCON, 2008)

Existem grandes dificuldades na transmissão de energia à lugares remotos devido as distâncias das subestações, necessitando-se quilômetros em cabeamento, principalmente em áreas rurais onde a tendência é se ter maior demanda de energia pelo uso de maquinários de grande porte. Por este motivo, estuda-se a viabilidade de geração distribuída e gerar economia alimentando a rede com energia limpa e renovável, preservando-se o meio ambiente.(ALMEIDA; CARDOSO; SANTORO, 2008)

Um terço de toda a energia consumida pela Alemanha advém de fontes nucleares, mas estas estão com dias contados. Os países prepararam-se para desligar reatores que geram 22000 megawatts por hora de energia, o que equivale a mais de 1,5x a capacidade energética da Hidrelétrica de Itaipu. Tal decisão foi tomada após os acidentes envolvendo a Usina Nuclear de Fukushima no Japão em 2015.(COSTA; CASOTTI; AZEVEDO, 2009)

Hoje, mais de 30% de toda a energia consumida pela Alemanha se dá através de fonte solar e eólica, números que superam o Brasil em mais de 8 vezes. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) o pior lugar de irradiação no território brasileiro chega a ser 40% maior do que o melhor lugar no território alemão, mostrando o incrível potencial brasileiro em geração de energia solar fotovoltaica.

Em nível mundial, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) fez um levantamento no qual a energia solar fotovoltaica cresce de forma surpreendente, tendo-se obtido um crescimento de 5246% entre 2004 e 2013. Contudo, ainda há uma grande diferença em relação à outras formas de geração de energia, como pode ser visto na tabela 1.

Tabela 1 – Capacidade Energética Mundial.

Energia	Capacidade Total Instalada no Mundo (GW)		Variação Percentual (%)
	2004	2013	
Hídrica	715	1000	40
Eólica	48	318	563
Biomassa	36	88	144
Geotérmica	8,9	12	35
Sola Fotovoltaica	2,6	139	5246
Solar Térmica	0,4	3,4	563

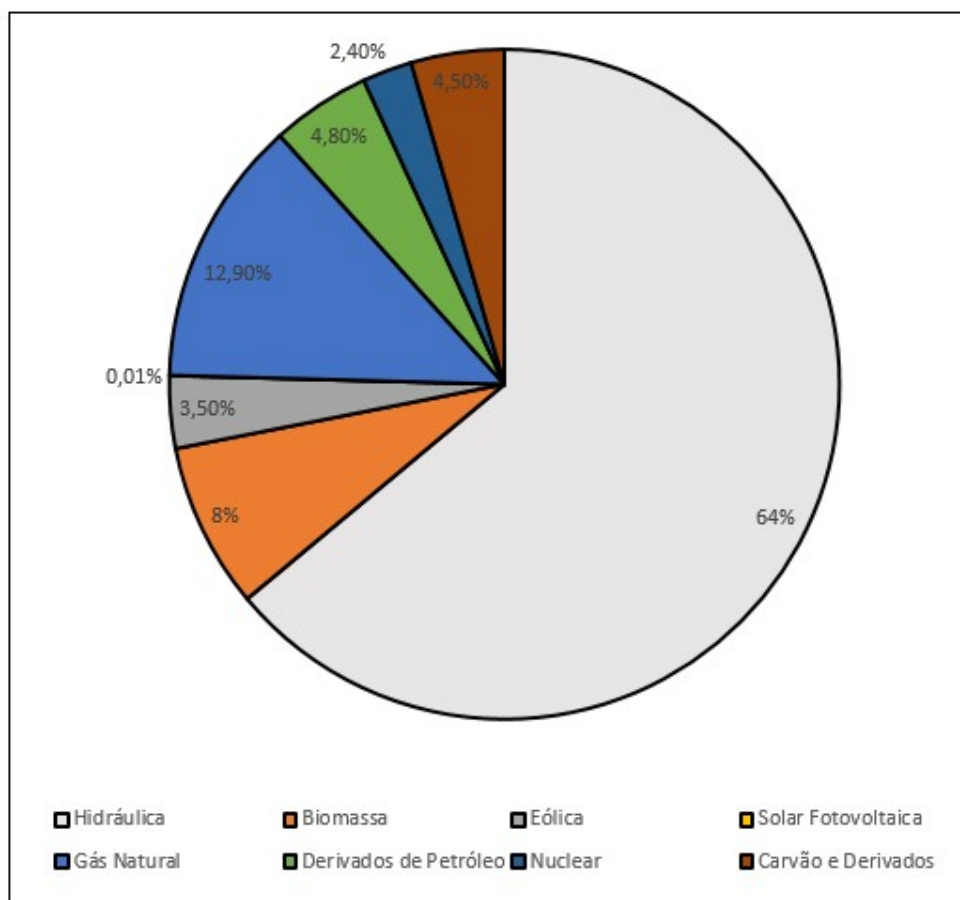
Fonte: Adaptado de INPE(2015)

Com este cenário a energia solar tem se destacado e apresenta um avanço constante, visando melhorar sua eficiência, visto que não causa poluição nem devastação de grandes áreas, sendo considerada uma fonte de energia renovável e sustentável.(GOLDEMBERG; LUCON, 2008)

No Brasil a energia solar cresce exponencialmente. Entre 2017 e 2018 a produção de energia solar aumentou 4.470%. No começo de 2017, eram somente 21 megawatts (MW), que, na virada do ano, estavam perto do primeiro gigawatt (GW). Contudo, como pode ser visto na figura 1, o país ainda engatinha nessa geração de energia continuando na lanterna do sistema nacional com apenas 0,6% de toda a matriz energética brasileira.(ENERGIA, 2018)

Com isto, o objetivo deste trabalho é comparar investimentos em renda fixa e energia solar fotovoltaica.

Figura 1 – Matriz Energética Brasileira.



Fonte: Adaptado de EPE - Empresa de Pesquisa Energética(2016)

O Brasil é líder em exportação do minério de quartzo e exporta todo ano 230 mil toneladas de quartzo extraído de jazidas principalmente em Minas Gerais. No formato de rocha ou apenas com um simplificado processamento, os cristais vão para China, Japão, Coreia do Sul, Estados Unidos e Alemanha para a fabricação de painéis fotovoltaicos. O quartzo é insumo do silício, elemento principal para a fabricação de semicondutores como placas solares, porém não há a fabricação de painéis fotovoltaicos no país, fazendo com que sejam importadas e tenham custo elevado.(MORI; SANTOS; SOBRAL, 2007)

Portanto, o objetivo geral deste trabalho é incentivar a geração de energia limpa e renovável com possibilidade de retorno financeiro, sendo uma maneira eficaz de incentivar o crescimento desta área no país.

A pesquisa apresentada, visa uma análise técnico-financeira de um sistema fotovoltaico cuja destinação são áreas individuais ou centros de geração, suprimindo parte da demanda de energia elétrica consumida nas mesmas. Com base nisso, foi feita a análise de viabilidade financeira, fazendo um quantitativo de custos e tempo de retorno do investimento, analisando preços e qualidade de equipamentos disponíveis nos dias atuais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ENERGIA SOLAR

"A energia solar fotovoltaica é uma alternativa viável para complementar a geração de eletricidade no Brasil. Pode ser usada em qualquer local, gerando eletricidade no próprio ponto de consumo, sem a necessidade de levar a eletricidade através de linhas de transmissão ou redes de distribuição. Pode ser empregada em todo o território nacional, em áreas rurais e urbanas, produzindo eletricidade limpa e renovável a partir da luz do Sol."(VILLALVA, M. G, 2015)

Há diferentes maneiras de se gerar energia solar; a energia solar térmica, que aquece água para chuveiros ou aplicações que utilizam água quente, energia solar advinda de concentradores solares, que também aquecem água, contudo esta água aquecida ativa turbinas à vapor e transformam energia térmica em elétrica, e também a energia solar fotovoltaica, que é o foco deste trabalho, as quais utilizam semicondutores e radiação solar para gerar diretamente corrente elétrica.

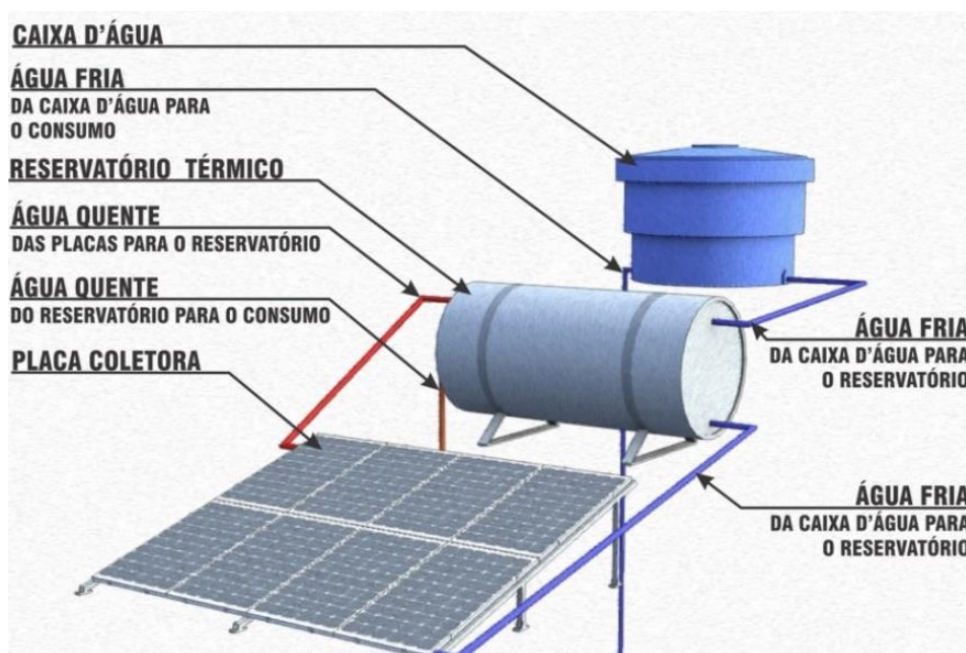
2.2 ENERGIA SOLAR TÉRMICA

A energia Solar Térmica envolve o aproveitamento da luz solar, aquecendo água e a levando para um reservatório chamado *boiler*. Sendo então remanejada para chuveiros, piscinas, entre outras aplicações que utilizam água aquecida.

Quando o sol atinge os coletores, estes aquecem a água que passa pela tubulação com a irradiação do sol, fazendo com que a água quente seja transportada através de circulação natural até o reservatório térmico para que seja armazenada e utilizada quando for necessária.(MENDES; CARDOSO, 2013).

Na figura 2 é apresentado o sistema da geração de energia solar térmica.

Figura 2 – Energia Solar Térmica



Fonte: Solventoenergia

Este sistema deve ser utilizado acompanhado de aquecedores elétricos ou a gás para suprir a demanda da água aquecida, visando diminuir os gastos com energia nestas aplicações, sendo possível também incrementar controladores de temperatura específicas dependendo do objetivo do projeto.(MENDES; CARDOSO, 2013)

2.3 CONCENTRADORES SOLARES

Concentradores solares são em sua maioria de forma parabólica, para o maior aproveitamento da irradiação solar, aquecendo água e transformando-a quase que instantaneamente em vapor devido a alta temperatura da superfície de contato, levando essa água vaporizada para turbinas que são movidas a vapor gerando assim, energia elétrica.

Nas usinas de concentradores solares, normalmente é utilizada uma, ou mais torres, chamadas de coletores Fresnel, o qual consiste em um aparelho plástico transparente que têm a função de concentrar os raios solares ao receptor parabólico para aumentar o calor da superfície de contato.

Tal sistema utiliza o aquecimento de água para gerar energia elétrica, diferentemente da figura 2, na qual a água aquecida é diretamente utilizada.(MENDES; CARDOSO, 2013)

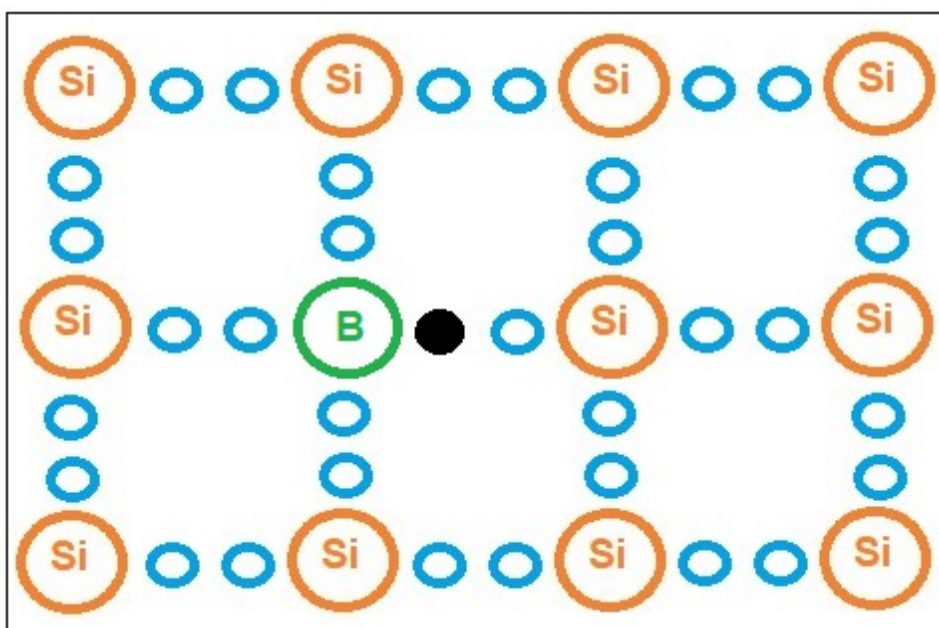
2.4 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Na maioria das vezes são produzidas com base em silício (Si), material semicondutor derivado do quartzo. Ele é composto de átomos que são carregados 26 pelos elétrons. To-

dos os elétrons externos do silício possuem ligações covalentes perfeitas, não permitindo a movimentação entre os átomos, passando pouca corrente sobre ele.

Para haver a produção de energia, são necessárias cargas positivas e negativas, por isso os átomos de silício são dopados com boro (B), chamada de dopagem do tipo P para cargas positivas, nessa dopagem o boro possui três elétrons enquanto o silício quatro. Desta forma, criam as chamadas lacunas ou buracos que conduzem a corrente elétrica, fazendo com que a ausência de um elétron crie uma carga positiva (P). (FARIA et al., 2016a). Este processo é representado na figura 3, onde o círculo cheio representa a ausência de elétrons.

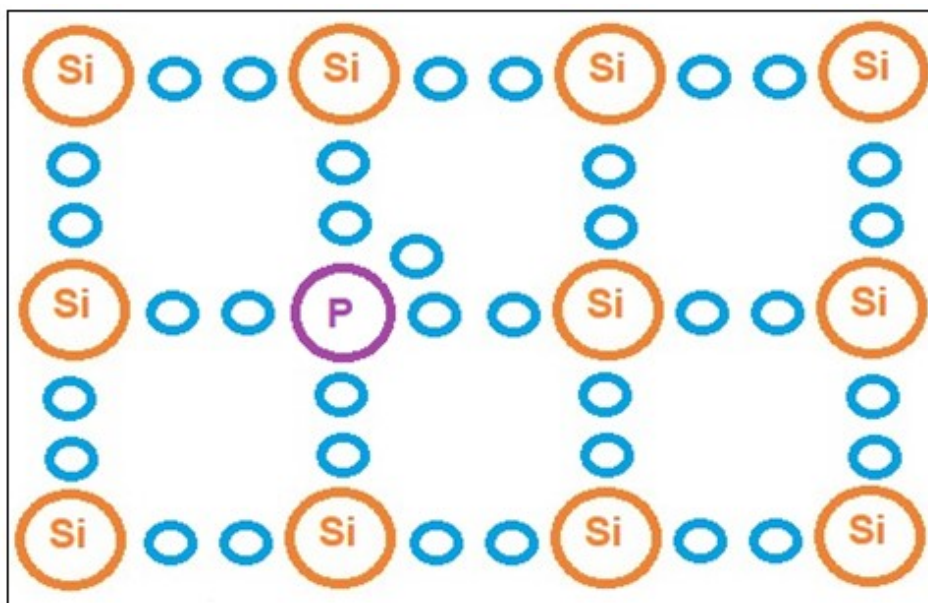
Figura 3 – Semicondutor do tipo P



Fonte: Adaptado de IFSC - Departamento de Engenharia Elétrica

Na figura 4 pode ser vista a dopagem do tipo N, a utiliza normalmente o fósforo (P), para cargas negativas. O fósforo possui 5 elétrons em sua camada de valência ocorrendo a interação entre quatro elétrons, o último é chamado de elétron livre, o qual ganha movimento e gera a corrente elétrica criando uma carga negativa (N).

Figura 4 – Semicondutor do tipo N



Fonte: Adaptado de IFSC - Departamento de Engenharia Elétrica

As células fotovoltaicas são ligadas em série e também em série-paralelo uma à outra, obtendo assim, um circuito elétrico. Após isso, é coberta com uma lâmina de vidro temperado, com substância antiaderente e emoldurado com alumínio.

Há dois condutores que saem do painel solar, esses cabos são utilizados para ligar todas as placas solares em conjunto e módulo, o qual possui corrente contínua é ligado ao inversor de frequência para obter os níveis de tensão desejados para consumo ou então injetar na rede elétrica.(FARIA et al., 2016a)

2.4.1 Conversor de Frequência

O conversor de frequência, ou simplesmente inversor, é utilizado para transformar a tensão gerada pelos painéis fotovoltaicos em níveis utilizáveis. Como as placas solares fornecem energia com nível de tensão em 12 Volts em corrente contínua, precisa-se transformar essa tensão elétrica para 127/220 Volts alternada, podendo assim, consumir essa energia nos aparelhos eletroeletrônicos de residências, motores, ou mesmo injetar na rede elétrica. É válido ressaltar que normalmente são feitas associações em série e paralelo dos painéis solares, a fim de aproximar as tensões dos valores ideais, convertendo de maneira mais fácil para níveis utilizáveis.

Comumente é utilizado o *inversor grid tie*, este é conectado à rede elétrica, tendo como principal objetivo converter a energia para ser utilizada na rede elétrica, mas seu objetivo secundário é, também, proteger o sistema e garantir a segurança dos painéis fotovoltaicos, além de monitorar o desempenho de todo o sistema. Esse tipo de inversor também se encaixa como do tipo *on grid*.

A escolha do inversor apresentado na figura 5 varia com a potência instalada dos

painéis, podendo ser instalado um inversor com maior potência, caso haja planos futuros de ampliação dos painéis, não precisando fazer a sua troca. Na escolha do inversor também é necessário observar outros parâmetros, como a opção de ter ou não um transformador, proteção contra água e poeira, eficiência do inversor e garantia do mesmo, visto que os painéis solares têm vida longa de operação. (BRITO, 2013)

Figura 5 – Conversor de Frequência



Fonte: Ecosolys

2.4.2 Proteção de Sistemas Fotovoltaicos com Diodos

I) DIODOS DE *BY PASS*

Na associação em série dos painéis fotovoltaicos, as placas estão sujeitas a funcionarem como cargas para as demais, nessa situação pode ocorrer uma tensão negativa nos terminais do módulo, o que gera aquecimento excessivo podendo causar danos à célula. Nesse caso, pode-se conectar um diodo em antiparalelo com os extremos da célula, chamado de diodo by-pass, o que o torna diretamente polarizado permitindo que a corrente passe por ele. Este diodo deve conduzir toda a corrente elétrica que passar por ele e sua tensão limiar deve ser a menor possível.

Na prática, o diodo de by-pass é colocado junto à um grupo de células associadas.

II) DIODOS DE BLOQUEIO

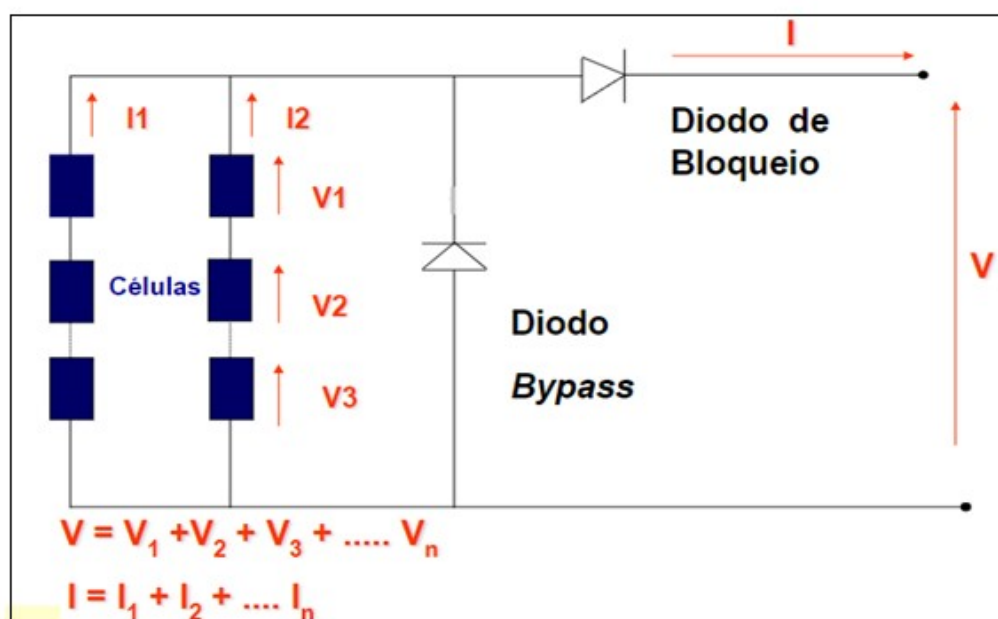
Diodos de bloqueio têm como finalidade proteger módulos fotovoltaicos associados em paralelo, chamados de ramos, normalmente as placas possuem N associações em série e as mesmas são associadas em paralelo. O intuito do diodo de bloqueio é protegê-los contra correntes reversas de outros ramos através destes diodos, que são conectados em série em cada um dos grupos associados.

Quando ocorrem diferenças de tensão, o ramo com menor diferença de potencial está sujeito a se tornar carga do ramo de maior tensão, ocasionando aquecimento no sistema e por consequência uma perda de potência em todo o módulo.

É indicado o uso de fusíveis para proteger o sistema em casos com apenas uma placa, ou sistemas de pequeno porte, pois, o diodo de bloqueio causa queda de tensão aproximada em 1 V, dependendo o material do diodo utilizado, tal queda de tensão pode ser significativa na micro geração de energia. (HECKTHEUER; KRENZINGER, 2000)

Na figura 6 podem ser visualizados tanto o diodo de bloqueio como o diodo de bypass.

Figura 6 – Proteção do sistema com diodos



Fonte: Adaptado de (HECKTHEUER; KRENZINGER, 2000)

2.5 RADIAÇÃO SOLAR NA TERRA

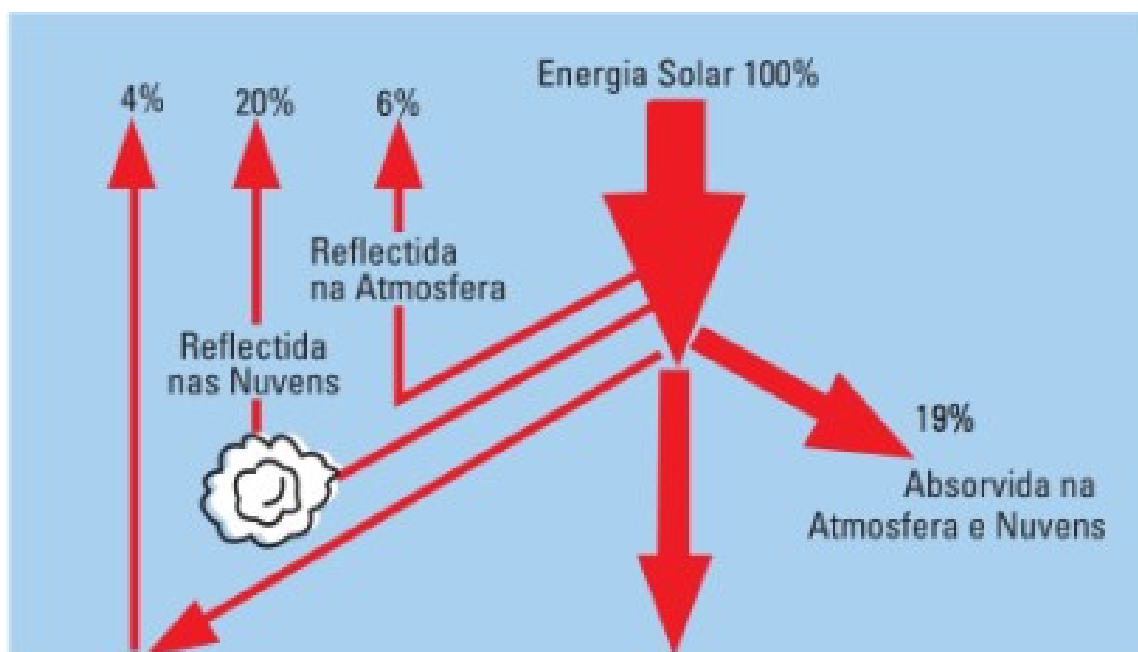
O sol irradia de forma bastante constante. A intensidade dessa irradiação na atmosfera é equivalente a 1.367 kW/m^2 , tal valor é denominado como constante solar. Nem toda essa radiação é absorvida pela Terra, sendo uma parte refletida, outra absorvida em forma de calor e a terceira parte refletida de volta à atmosfera e parte absorvida.

Em média a radiação solar incidente na atmosfera é, segundo a figura 7:

a) 19% perdida por absorção de moléculas de oxigênio e ozônio dos raios UV na estratosfera;

- b) 6% é perdida por difusão solar de comprimento de onda menor que o das luzes do sol, esse fator que faz com que o céu seja azul;
- c) 24% é perdida por reflexão, sendo aproximadamente 20% nas nuvens e o restante na superfície terrestre;
- d) 51% é absorvida pela superfície, sendo grande parte refletida.

Figura 7 – Distribuição da Radiação Solar



Fonte: GreenPro(2004)

Com esses dados, a média mundial radiada é de cerca de 165 W/m^2 , ou seja, mais de 5 mil vezes a necessidade energética da humanidade. (PEREIRA et al., 2006)

2.5.1 Radiação Solar no Brasil

O Brasil possui grande potencial de radiação solar, fato que é facilmente percebido, por se tratar de um país tropical e ser por característica um país quente em relação à Europa.

Incidem no Brasil entre 4444 Wh/m^2 a 5843 Wh/m^2 de irradiação solar. O Brasil demorou muito para evoluir no quesito de energias renováveis, devido ao fato de ser rico em recursos hídricos, facilitando a geração de energia por hidrelétricas.

O Brasil possui uma variação baixa da radiação média, dependendo o local se for levado em consideração a extensão geográfica brasileira, desta forma, todo o território supera a média mundial de radiação solar, o que pode ser observado na figura 8.(PEREIRA et al., 2006)

Figura 8 – Atlas Solarimétrico Brasileiro



Fonte: (HECKTHEUER; KRENZINGER, 2000)

É válido ressaltar que as placas fotovoltaicas são fabricadas para terem o melhor aproveitamento em temperaturas próximas aos 25° C, por este motivo não há grande diferença entre os estados do Nordeste e do Sul em geração de energia solar, visto que o Rio Grande do Sul apresenta temperaturas médias próxima do desejado, enquanto o no Nordeste a temperatura ultrapassa os 25° C com facilidade. Isso faz com que o Nordeste ainda seja mais vantajoso que o Sul, porém não há grande diferença devido aos fatores apresentados.(SOLAR, 2017)

2.6 IMPACTOS AMBIENTAIS E COMPARATIVO ENTRE DIVERSAS FONTES DE ENERGIA

Durante muitos anos, a humanidade utilizou os recursos naturais do planeta para suprir suas necessidades energéticas, sem grandes preocupações em relação aos efeitos que causariam ao meio ambiente.

A atual situação climática no planeta é alarmante. Os efeitos causados pela queima de

combustíveis fósseis estão visíveis a cada dia com o derretimento de geleiras, avanço do mar, temperatura média no planeta se tornando a mais elevada da história e mudanças climáticas em geral.

Com isto, este tópico visa comparar as diferentes formas de geração de energia elétrica e o impacto que cada uma causa, fazendo uma análise de custos, produtividade, eficiência, dependência de outros fatores para o funcionamento, devastação e poluição da área e do planeta como um todo.(GOLDEMBERG; LUCON, 2007)

2.6.1 Usinas Hidrelétricas

Atualmente mais de 60% de toda a energia consumida no Brasil vêm de hidrelétricas. Essa energia é gerada pela queda natural de água dos rios. A água cai de determinada altura nas pás que giram o rotor que possui um eixo gerador acoplado, gerando assim energia elétrica.

Para garantir que sempre haverá água para girar as turbinas são feitas barragens e inunda-se áreas gigantes para a máxima geração de energia elétrica. Os impactos ambientais causados por hidrelétricas são irreversíveis. Apesar de se utilizar um recurso natural e renovável de custo zero, a água, a construção das usina e barragens afetam um ecossistema e a paisagem de lugares gigantescos, provocando prejuízos irreparáveis à fauna e flora, além do possível despovoamento de pessoas no local, área de preservação indígena e custos milionários de construção da obra.

Uma usina hidrelétrica leva em média 10 anos para ser construída e têm grande vida útil se projetada com perfeição. Além disso, as hidrelétricas com barragens são consideradas energias estáveis, pois geram energia o ano todo com variação mínima ou nenhuma, da potência gerada.(OLIVEIRA; ZHOURI, 2007)

O melhor exemplo de usina hidrelétrica é a Itaipu (figura 9), localizada no Rio Paraná e divisa entre Brasil e Paraguai, sendo a usina com maior média anual de produção de energia elétrica do mundo, com 103,1 milhões de MWh em 2016.(BINACIONAL, 2011)

Figura 9 – Usina Hidrelétrica de Itaipu



Fonte: Autoria Própria

2.6.2 Usinas Termelétricas

Usinas termelétricas são instalações com o intuito de gerar energia elétrica com a queima de combustíveis, normalmente carvão, mas também utilizado petróleo, óleo combustível ou gás natural.

Independentemente do combustível utilizado a forma de geração é a mesma. A queima do combustível gera calor aquecendo serpentinas de água que são instaladas ao redor das caldeiras, sendo que o aquecimento transforma água em vapor fazendo com que as turbinas girem. Um rotor gira junto com o próprio eixo do gerador, produzindo assim, energia elétrica.

As usinas termelétricas normalmente são construídas onde há grande consumo de energia, mas também é relevante a localização, pois há a necessidade do transporte de carvão para a geração de energia.

Normalmente são ativadas em períodos de seca, no qual diversas hidrelétricas têm seu volume de água reduzido.

Estas usinas geram grande poluição, principalmente com gases de efeito estufa devido à queima dos combustíveis, que comumente são jogados na atmosfera, na forma de óxidos e dióxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, monóxido e dióxido de carbono, entre outras substâncias, além de fuligem das cinzas que são jogadas nas áreas próximas às chaminés. É considerada uma fonte de energia estável. (BAJAY; BADANHAN, 2002)

Na figura 10 pode ser observada a grande quantidade de fumaça saindo das chaminés

de usinas termelétricas.

Figura 10 – Usina Termelétrica em Operação



Fonte: (ENERGIA, 2018)

2.6.3 Usinas Nucleares

Neste tipo de usina a energia é gerada a partir da fissão nuclear, processo que divide os átomos de substâncias radioativas, normalmente utilizando urânio nas usinas.

A fissão nuclear radioativa gera calor, o qual aquece água, fazendo com que turbinas girem, gerando energia elétrica, com processo semelhante ao de termelétricas. No entanto, é estimado que o Urânio-235 produza 80 mil vezes mais energia que o carvão mineral.

A maior vantagem da geração de energia nuclear é que toda a água utilizada na geração de energia é vinda do mar, não prejudicando o abastecimento de água, contudo, a água é devolvida ao mar aquecida, podendo causar danos à fauna e flora do local. Além disso, a produção de energia nuclear possui rejeitos radioativos, que são nocivos ao ambiente por milhares de anos. Outra vantagem é que a instalação é considerada de pequeno porte, comparando com hidrelétricas, no entanto, por precaução essas usinas são instaladas à grandes distâncias da população para evitar catástrofes, vistos os acidentes com as usinas de Chernobyl (1986) e Fukushima (2015). Tais acidentes criaram grande alerta nesse tipo de geração de energia, devido aos riscos à saúde pela contaminação de materiais radioativos. É considerada uma fonte de energia estável. (HIRSCH et al., 2007)

O Brasil possui duas usinas nucleares chamadas de Angra 1 e 2, que podem ser vistas na figura 11, e com Angra 3 em construção, localizadas na cidade de Angra dos Reis (RJ). Em

2017 o Brasil gerou aproximadamente 15,7 GWh de energia elétrica nas usinas nucleares de Angra dos Reis.(KURAMOTO; APPOLONI, 2002)

Figura 11 – Usinas Nucleares de Angra 1 e Angra 2



Fonte: (KURAMOTO; APPOLONI, 2002)

2.7 FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS

Nesse tópico serão abordadas as três formas de energia renováveis mais comuns atualmente utilizadas, sendo energia eólica, solar e da biomassa.

Há duas grandes dificuldades que se entrelaçam nesses modelos de energia, que são os custos e a instabilidade do sistema elétrico na geração da energia. Além disso aerogeradores causam poluição visual, desvio de rota de aves, além de ruído audível próximo aos mesmos.(PACHECO, 2006)

2.7.1 Energia Eólica

Energia eólica depende dos ventos para rotacionar os aerogeradores e assim gerar a energia elétrica, mas o vento é variável e em determinados momentos o mesmo pode não ocorrer, então esse tipo de energia gera um custo elevado de operação visto que, as pás geradoras de energia não operam 100% do tempo, tornando a instalação inútil até voltar a gerar energia. Por esse fator os parques de geração eólica são instalados em pontos estratégicos do mapa, principalmente em regiões do Nordeste brasileiro como pode ser visto na figura 12,

diminuindo assim, a variação de energia e em grandes áreas ter uma previsão mais precisa de quando a variação de energia será grande.(CASTRO; RENOVÁVEIS; DESCENTRALIZADA, 2007)

Figura 12 – Parque Eólico Chapada do Araripe, divisa entre Pernambuco e Piauí



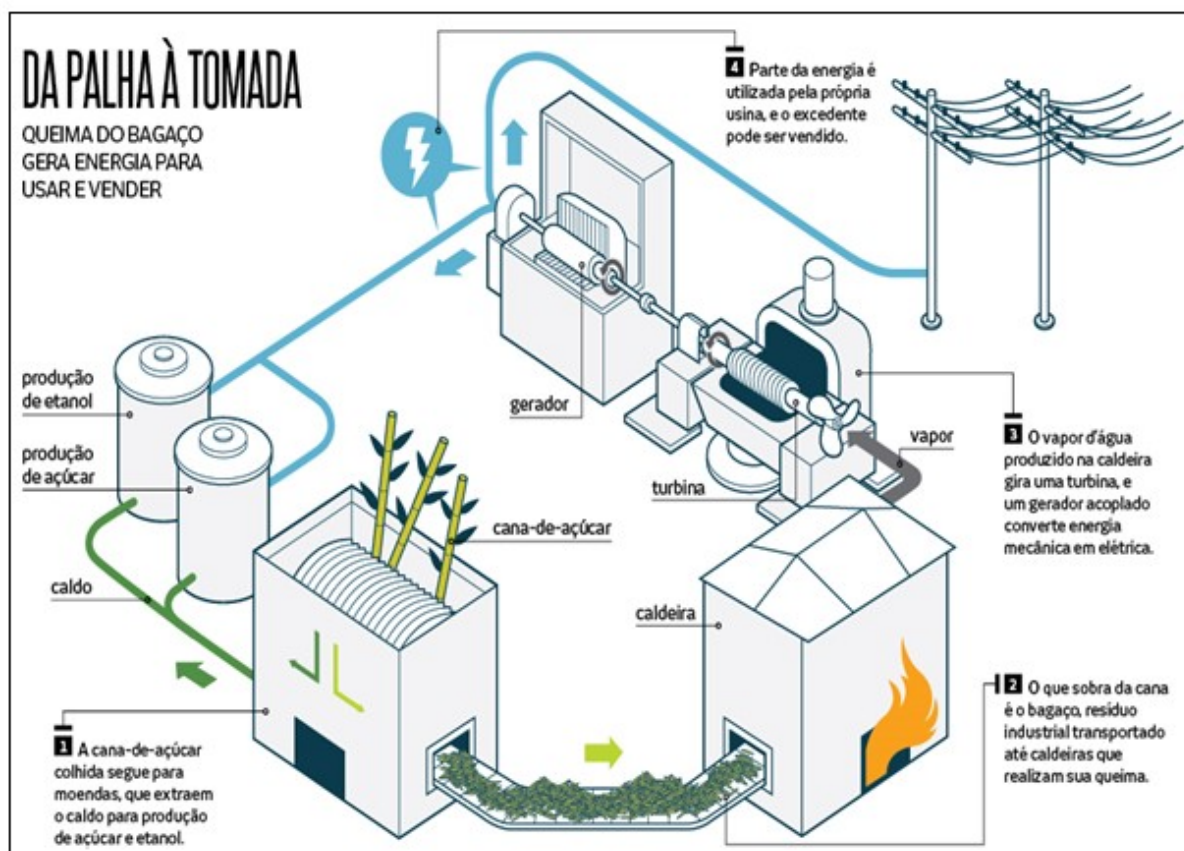
Fonte: Ambiente e Energia (2017)

2.7.2 Energia da Biomassa

O mesmo acontece com as usinas que geram energia da biomassa. Normalmente são queimados carvão vegetal e resíduos agrícolas, como palha, serragem, bagaço de cana, etc. O grande problema desta forma de geração é que estas usinas devem estar próximas às fontes de energia para serem viáveis financeiramente. Porém isso gera a instabilidade do sistema, pois a agricultura é sazonal, deixando as usinas de biomassa sem combustível para geração de energia.(MALICO, 2008).

Na figura 13, apresenta-se um esquema de geração de energia por biomassa.

Figura 13 – Esquema de Geração de Energia por Biomassa



Fonte: Revista Galileu

2.7.3 Energia Solar

Por último resta a energia solar, que possui duas vantagens expressivas sobre as outras formas de energias renováveis.

É utilizada para produzir energia elétrica apenas com a luz do dia, ou seja, é fácil ver-se quando um painel solar está ou não gerando energia elétrica, sendo válido ressaltar que a geração ocorre mesmo em dias nublados, não dependendo do calor para a geração, visto que a produção de energia depende apenas de luz solar.

A segunda grande vantagem é a possibilidade de se gerar energia mesmo em pequenas residências, ocupando pequenos espaços, sendo normalmente instalados os painéis nos telhados das casas, facilidade que não acontece com aerogeradores e usinas de biomassa. (FARIA et al., 2016b).

Na figura 14, uma residência é alimentada por uma usina solar.

Figura 14 – Esquema de Geração de Energia Solar



Fonte: Portal Solar

2.8 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA

A geração distribuída é definida como a energia elétrica em pequena escala gerada no próprio local ou muito próximo ao local de consumo, normalmente por energias renováveis que, em sua maioria são painéis fotovoltaicos, mas também são utilizados aerogeradores eólicos e micro usinas de biomassa.

Algumas das grandes vantagens da geração próxima às cargas são; distribuição de energia com menor perda da mesma; baixo impacto ambiental e uma maior diversificação energética.

Em 17 de abril de 2012 na Resolução Normativa – REN nº 482, a ANEEL estabeleceu as condições para a geração distribuída e criou o sistema de compensação de energia elétrica.(ANEEL, 2014)

2.8.1 Microgeração e Minigeração Distribuída

Microgeração distribuída é formada por sistemas com carga total instalada de até 75 kW, enquanto a minigeração compõe os sistemas de potência entre 75 kW e 3 megawatts (MW) de energia em fontes hídricas e de 5 MW para fontes distintas.

Para se gerar energia distribuída o cliente deve estar ciente de alguns passos;

a) Todo sistema de geração de energia, bem como custos de instalação e equipamentos são responsabilidades do consumidor, sendo também necessário um medidor bidirecional;

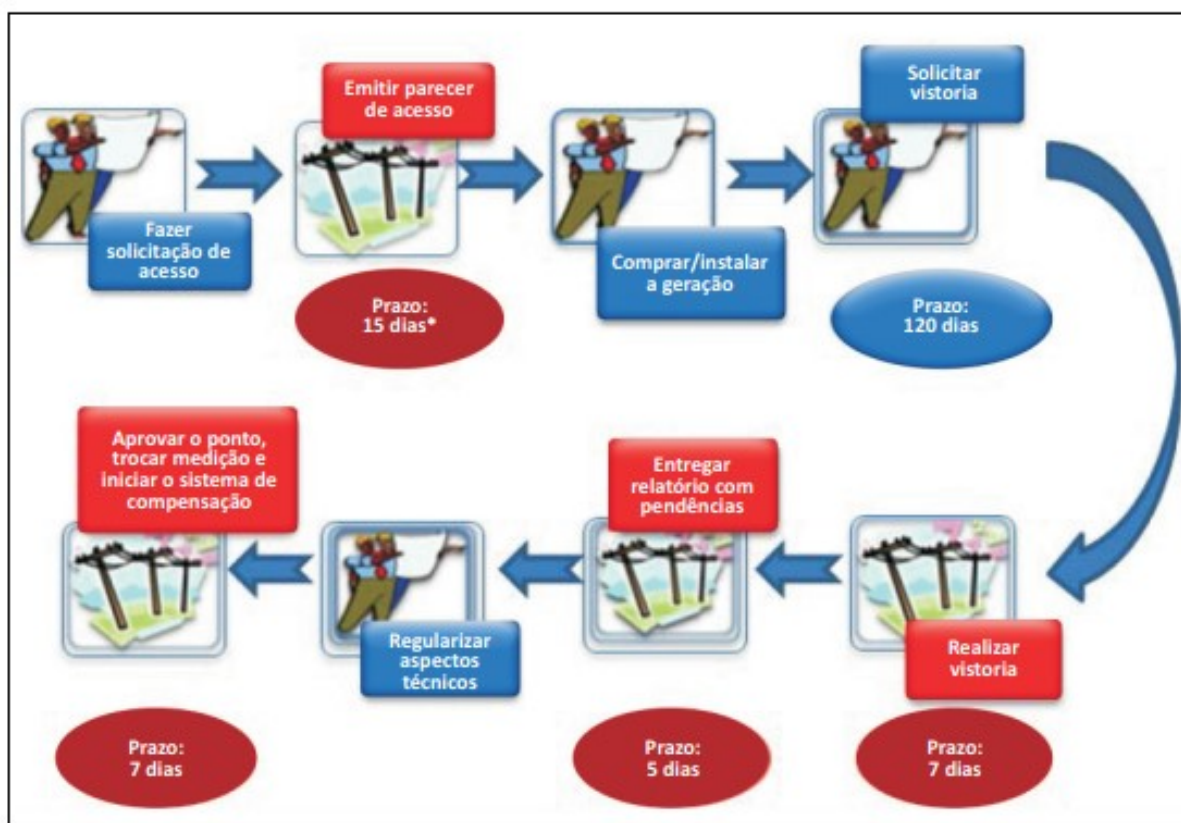
b) Na microgeração a concessionária é responsável por adquirir e instalar o sistema de medição e compensação de energia, bem como operação e manutenção dos mesmos, enquanto

na minigeração isso é responsabilidade do acessante.

(ANEEL, 2014)

Na figura 15 é apresentado o procedimento de solicitação do sistema para injetar energia elétrica na rede.

Figura 15 – Procedimento para Injetar Energia na Rede



Fonte: (ANEEL, 2014)

2.8.2 Impostos Federais e Estaduais sobre a Geração Distribuída

Os impostos federais que são aplicados sobre a energia elétrica são o PIS – Programa de Integração Social e o COFINS – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social, contudo, como o próprio consumidor está gerando sua energia o governo federal decidiu, por enquanto, manter tais cobranças isentas, aumentando assim, o incentivo para a microgeração distribuída.

O imposto estadual aplicado é o ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços, sendo que tal cobrança varia em cada estado brasileiro. Todos os estados brasileiros isentaram o ICMS para a geração de energia renovável. É válido ressaltar que isso é devido ao apelo de consumidores para tornar a geração distribuída mais viável, visto que em 2016, oito estados brasileiros ainda cobravam ICMS para este tipo de geração. (COELHO, 2000)

2.8.3 Consumo Compartilhado de Energia

Existe a possibilidade de se criar uma cooperativa de geração de energia, normalmente em áreas rurais em espaços amplos, ou então, em condomínios com painéis instalados no telhado do edifício, firmando em contrato uma porcentagem de consumo disponível para cada cliente. Ainda existe a possibilidade de ceder energia para uma pessoa com CPF diferente, desde que seja firmado um contrato junto à concessionária.

O consumidor que gerar energia elétrica pode consumir o excedente em lugares remotos, transferindo os créditos de uma propriedade para outra, assim, há a disponibilidade de gerar-se energia em lugares amplos, caso haja necessidade, e consumir a energia excedente em outros lugares.

As modalidades de consumo de energia compartilhado só são possíveis quando o gerador e o consumidor estão vinculados à mesma concessionária de energia elétrica.(ANEEL, 2014)

2.8.4 Custos de Disponibilidade

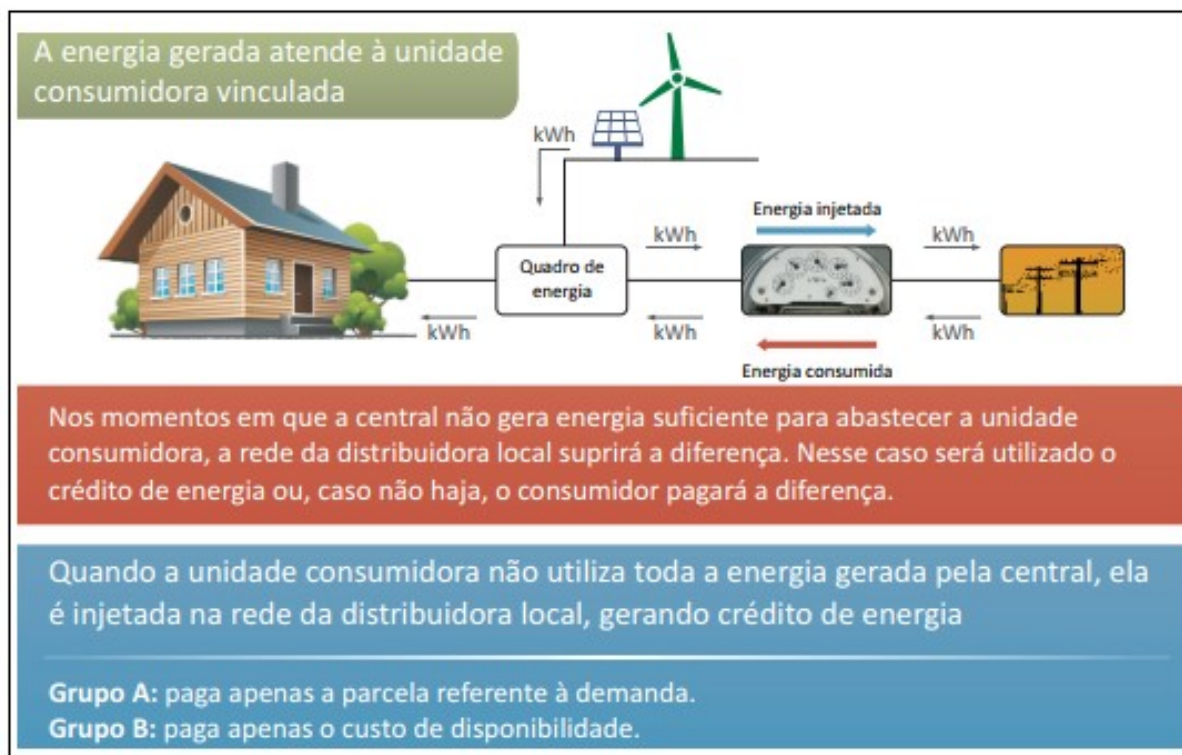
Para consumidores do grupo B os custos de disponibilidade de energia elétrica no Brasil são de 30 kWh para sistemas monofásicos, 50 kWh para sistemas bifásicos e 100 kWh para sistemas trifásicos.

Em unidades do grupo A o custo de disponibilidade é efetuado sobre a demanda do sistema contratado.

Com isso, independentemente de produzir mais energia do que é consumida, será necessário efetuar o pagamento do custo de disponibilidade.(ANEEL, 2014)

Na figura 16 é apresentado um esquema de geração distribuída para melhor compreensão, na qual a sigla G.D. significa Geração Distribuída.

Figura 16 – Esquema de Geração Distribuída



Fonte: ANEEL(2012)

2.8.5 Exemplo de Faturamento pelo Sistema de Compensação de Energia

Segue na figura 17 um exemplo de consumidor de baixa tensão (Grupo B) de uma rede trifásica com custo de disponibilidade de 100 kWh.

Para efeitos de cálculo foi utilizada uma tarifa de 0,51 R\$/kWh.

Figura 17 – Exemplo de Compensação de Energia

Mês	Consumo (kWh)	Injetado (kWh)	Crédito Acumulado (kWh)	Fatura Sem G.D.*	Fatura com G.D.*	Diferença
Jan	330	353	23	R\$ 168,30	R\$ 51,00	R\$ 117,30
Fev	360	360	23	R\$ 183,60	R\$ 51,00	R\$ 132,60
Mar	460	335	0	R\$ 234,60	R\$ 52,02	R\$ 182,58
Abr	440	357	0	R\$ 224,40	R\$ 51,00	R\$ 173,40
Mai	450	333	0	R\$ 229,50	R\$ 59,67	R\$ 169,83
Jun	390	308	0	R\$ 198,90	R\$ 51,00	R\$ 147,90
Jul	350	360	10	R\$ 178,50	R\$ 51,00	R\$ 127,50
Ago	476	370	4	R\$ 242,76	R\$ 51,00	R\$ 193,80
Set	484	380	0	R\$ 246,84	R\$ 51,00	R\$ 183,60
Out	480	378	0	R\$ 244,80	R\$ 52,02	R\$ 192,78
Nov	430	338	0	R\$ 219,30	R\$ 51,00	R\$ 168,30
Dez	390	332	0	R\$ 198,90	R\$ 51,00	R\$ 147,90
Total	5100	4204	-	R\$ 2.560,20	R\$ 622,71	R\$ 1.937,49

Fonte: ANEEL(2012)

No mês de janeiro a quantidade foi maior que a consumida, então acumularam-se 23

kWh de créditos para os meses seguintes. É válido observar o custo de disponibilidade sendo aplicado mesmo em meses que há sobras de energia.

No mês de fevereiro a energia injetada foi igual à consumida, portanto, apenas o custo de disponibilidade foi aplicado, enquanto o crédito que já estava acumulado foi mantido e continuou disponível para o mês seguinte.

Em março o consumo de energia foi de 460 kWh e a energia injetada foi de 335 kWh, portanto um déficit de 125 kWh (460-335), isso faz com que os 23 kWh sejam debitados, (125-23), faltando 102 kWh de energia, os quais serão pagos à concessionária. Ou seja, (102 kWh * 0,51 R\$/kWh) totalizando 52,02 R\$.

Apenas no mês de julho injeta-se mais energia do que consome, com isso, um crédito de 10 kWh foi acumulado.

No mês de agosto o consumo foi de 476 kWh, enquanto a geração foi apenas de 370 kWh, sendo necessário pagar um total de 106 kWh (476-370) e como 100 kWh já são pagos normalmente pelo custo de disponibilidade, basta completar a fatura debitando 6 kWh dos créditos acumulados anteriormente, mantendo a fatura com valor mínimo em 51,00 R\$.

3 ANÁLISE FINANCEIRA

Na análise econômica do projeto, foram determinadas algumas premissas para cálculos financeiros baseados em (ELTON; GRUBER; BROWN, 2012). Estes cálculos levarão em consideração a área instalada do mapa, os custos de equipamentos e instalação, bem como tabelas comparativas com outras formas de investimento de renda fixa mais conhecidas, analisando-se assim, a viabilidade do investimento.

Para este projeto foi escolhido um sistema de geração de aproximadamente 6195 kWh/ano, uma energia consumida por uma empresa de pequeno porte.

3.1 MÉTODOS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTOS

Primeiramente é importante definir um conjunto de princípios e técnicas de engenharia econômica para estudar a viabilidade do presente projeto. Em geral estas técnicas são utilizadas para tomadas de decisões à longo prazo, as quais se adequam perfeitamente ao estudo.

Na geração distribuída com os parâmetros apresentados, o montante final do projeto deverá ser maior que o retorno caso se investisse o mesmo dinheiro na poupança ou no tesouro direto.

Nem todas as análises aqui apresentadas serão expostas com cálculos, visto que a maioria delas será melhor evidenciada nos gráficos.

3.1.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido é um dos métodos mais conhecidos para se realizar a análise de viabilidade econômica de uma empresa. É uma fórmula matemática para calcular o retorno do investimento inicial do projeto, ou seja, o VPL precisa ser maior do que 0 para o investimento “se pagar”. Portanto, quanto maior o VPL maior a viabilidade do projeto em questão. (ELTON; GRUBER; BROWN, 2012)

A fórmula do VPL é evidenciada na equação (1);

$$VPL = FC_o + \frac{FC_1}{(1 + TMA)^1} + \frac{FC_2}{(1 + TMA)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1 + TMA)^n} \quad (1)$$

Na equação FC_o representa o investimento inicial, ou seja, um valor negativo, enquanto a TMA, que será explicada mais adiante é a taxa mínima de rendimento esperado do investimento. O valor FC_1 , FC_2 , FC_n significam o fluxo de caixa do período.

3.1.2 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Este método é um dos mais importantes deste trabalho, visto que é com ele que se comparam outros investimentos de renda fixa, pois, de nada adianta um projeto ser viável sendo que a poupança gera maior renda do que o mesmo.

Por definição, a TMA é o mínimo que um investidor se propõe a ganhar quando investe em determinado projeto ou financiamento.

Na situação em questão a TMA explicita que o investimento em geração distribuída deve trazer de retorno à longo prazo um montante maior do que o investimento no tesouro direto ou na poupança.(ELTON; GRUBER; BROWN, 2012)

A fórmula da TMA é;

$$VPL = \sum \frac{FC_t}{(1+i)^n} \quad (2)$$

onde:

VPL = Valor Presente Líquido;

FC_t = Fluxo de caixa no momento em que ocorreu;

i = Taxa mínima de atratividade;

n = Período de tempo.

3.1.3 Payback

É o método mais simples para se analisar um investimento. O *Payback* é definido como o número de períodos para se recuperar o investimento inicial. Para isto basta calcular o retorno de cada período e descontar do valor inicialmente investido. Quando este valor chegar a zero, o tempo neste determinado ponto é chamado de "tempo de *Payback*".(ELTON; GRUBER; BROWN, 2012)

3.2 COMPARAÇÃO ENTRE INVESTIMENTOS

Serão comparadas três formas de investimento, para analisar o projeto. Também serão apresentadas tabelas e gráficos de cada investimento, bem como um gráfico final, apontando as diferenças entre os mesmos e a viabilidade financeira do projeto.

As formas de investimento serão:

I) Poupança;

II) Tesouro Direto IPCA+2045;

III) Economia com Geração Distribuída;

Para melhor visualização, todos os valores finais serão apresentados descontando-se a eventual cobrança do imposto de renda, bem como, a inflação prevista atualizada.

3.2.1 Parâmetros Utilizados

Foi estipulado uma geração de 5855 kWh/ano, este valor se dá pelo fato de se descontar os 100kWh obrigatório de custo de disponibilidade mensal de energia elétrica, como

está apresentado na tabela 2, e devido a sazonalidade da empresa e também da irradiação solar foi necessário fazer-se um levantamento anual.

Para a coluna que apresenta o consumo em kWh/mês foi utilizada a fatura energética de uma empresa localizada em Irati/Paraná.

Na coluna que apresenta a energia gerada em kWh/mês é apresentada a quantidade gerada segundo a irradiação solar no mês referente.

Tabela 2 – Fluxo de Energia

Mês	Consumo (kWh/mês)	Energia Gerada (kWh/mês)	Crédito	Energia Faturada (kWh)
Mai	314	367	53	100
Jun	385	323	53	100
Jul	437	353	53	100
Ago	410	472	115	100
Set	360	485	240	100
Out	457	556	339	100
Nov	768	664	335	100
Dez	856	684	263	100
Jan	889	656	130	100
Fev	1059	627	0	302
Mar	612	549	0	100
Abr	508	460	0	100
Total	7055	6195	0	1402

Fonte: Aatoria Própria

Para dimensionar o projeto foram utilizadas as equações (3) e (4) (MARINOSKI; SALAMONI; RÜTHER, 2004)

$$P = \frac{(E/G)}{(R)} \quad (3)$$

onde:

P = Potência média necessária (kW);

E= Consumo médio diário durante o ano (kWh/dia);

G= Ganho por radiação solar (kWh/m²/dia);

n = Rendimento do sistema em decimal.

$$A = \frac{P}{E_{ff}} \quad (4)$$

onde:

P = Potência média necessária (kW);

E_{ff} = Eficiência do painel em decimal;

A = Área de painéis (m²);

A média anual de irradiação solar na cidade de Irati/Paraná, a qual a empresa é situada segundo o (CRESESB, 2018) é de 4,35 kWh/m²/dia.

Com isto, foram utilizados os valores médio de um inversor *grid tie* de 5kW de potência, o qual apresenta 97,4% de eficiência e os painéis solares possuem em média 17,1 % de eficiência, sendo estes, valores médios apresentados pelo mercado atual.

Com tais parâmetros verificou-se a necessidade de 23,43 m² de área para se gerar a energia correta.

Portanto, dividindo-se a área necessária pela área de cada painel, que por padrão mede 1,94 m² serão necessários aproximadamente 12 painéis fotovoltaicos.

O orçamento do investimento em consideração é de R\$ 23.000,00, sendo aproximadamente R\$ 8.000 reais em painéis fotovoltaicos; R\$ 5.600,00 reais no inversor de frequência e R\$ 9.400,00 reais em mão de obra, eventuais manutenção e possível troca do inversor, visto que a vida útil do mesmo é aproximada entre 10 e 15 anos. Tais valores, foram baseados na Neosolar para painéis fotovoltaicos e uma média de preços para inversores solares no país.

Para calcular a potência gerada que é apresentada na tabela 2, foi utilizada a equação (5).(MACHADO; MIRANDA, 2014)

$$P = (G)(n)(P_p)(30) \quad (5)$$

onde:

onde:

P = Potência média gerada no mês (kW);

G = Ganho por radiação solar (kWh/m²/dia);

n = número de painéis fotovoltaicos utilizados;

P_p = Potência nominal de cada painel;

E com base na tabela 2, foi criada a tabela 3, que é a economia estimada em reais obtida com este projeto de Geração Distribuída. Para isto, utilizou-se o valor de tarifa de R\$ 0,778719/kW, valor este, cobrado nos últimos meses de fatura pela concessionária.(COPEL, 2018)

Tabela 3 – Fluxo de Caixa

Mês	Fatura sem G.D. (R\$)	Fatura com G.D (R\$)	Custo Evitado (R\$)
Mai	R\$ 244,52	R\$ 77,87	R\$ 166,65
Jun	R\$ 299,81	R\$ 77,87	R\$ 221,93
Jul	R\$ 340,30	R\$ 77,87	R\$ 262,43
Ago	R\$ 319,27	R\$ 77,87	R\$ 241,40
Set	R\$ 280,34	R\$ 77,87	R\$ 202,47
Out	R\$ 355,87	R\$ 77,87	R\$ 278,00
Nov	R\$ 598,06	R\$ 77,87	R\$ 520,18
Dez	R\$ 666,58	R\$ 77,87	R\$ 588,71
Jan	R\$ 692,28	R\$ 77,87	R\$ 614,41
Fev	R\$ 824,66	R\$ 235,17	R\$ 589,49
Mar	R\$ 476,58	R\$ 77,87	R\$ 398,70
Abr	R\$ 395,59	R\$ 77,87	R\$ 317,72
Total	R\$ 5.493,86	R\$ 1.091,76	R\$ 4.402,10

Fonte: Aatoria Própria

3.2.2 Poupança

As cadernetas de poupança são muito conhecidas no Brasil mas, não geram uma boa renda, apesar de permitirem aplicação fácil, visto que pode ser feito diretamente no caixa eletrônico ou, nos dias atuais, até mesmo a partir das residências dos poupadores.

Uma das vantagens da poupança é a segurança. O Banco Central do Brasil, assegura aos investidores um capital de caixa até R\$ 250.000,00 reais. Também é simples pelo fato de não se pagar imposto de renda pelo rendimento.

A inflação trabalha com juros mensais, mas para facilitar os cálculos, os valores serão calculados anualmente com os juros corrigidos.(SOARES; SOBRINHO; MICROFINANÇAS, 2008)

Nas tabelas abaixo será calculado o rendimento da poupança nos próximos 25 anos, com capital investido de R\$ 23.000,00 reais, mesmo valor que seria investido na geração distribuída por painéis fotovoltaicos. O capital de R\$ 23.000,00 reais é semelhante ao valor apresentado pela plataforma Portal Solar. O período de tempo de 25 anos é equivalente à vida útil dos painéis fotovoltaicos

Para fins de cálculos será utilizado a inflação de 3% ao ano, valor similar à 2017.(SILVEIRA, 2018)

Para o rendimento de poupança será utilizado o valor de 4,46% ao ano.(BCB,)

A Poupança trabalha com juros compostos, seguindo a equação (6).(ELTON; GRUBER; BROWN, 2012)

$$M = PV((1 + i)^n) \quad (6)$$

onde:

M = Montante;

PV = Presente Valor, ou capital investido;

i = Taxa de juros em decimal;

n = Período em anos;

Para obter o valor já descontando a previsão de inflação, basta seguir a equação (7). (ELTON; GRUBER; BROWN, 2012)

$$M = PV((1 + (i - i_2))^n) \quad (7)$$

onde:

i_2 = Inflação em decimal;

Portanto, segue na tabela 4, o rendimento da poupança em 25 anos, que é a vida útil estimada dos painéis fotovoltaicos.

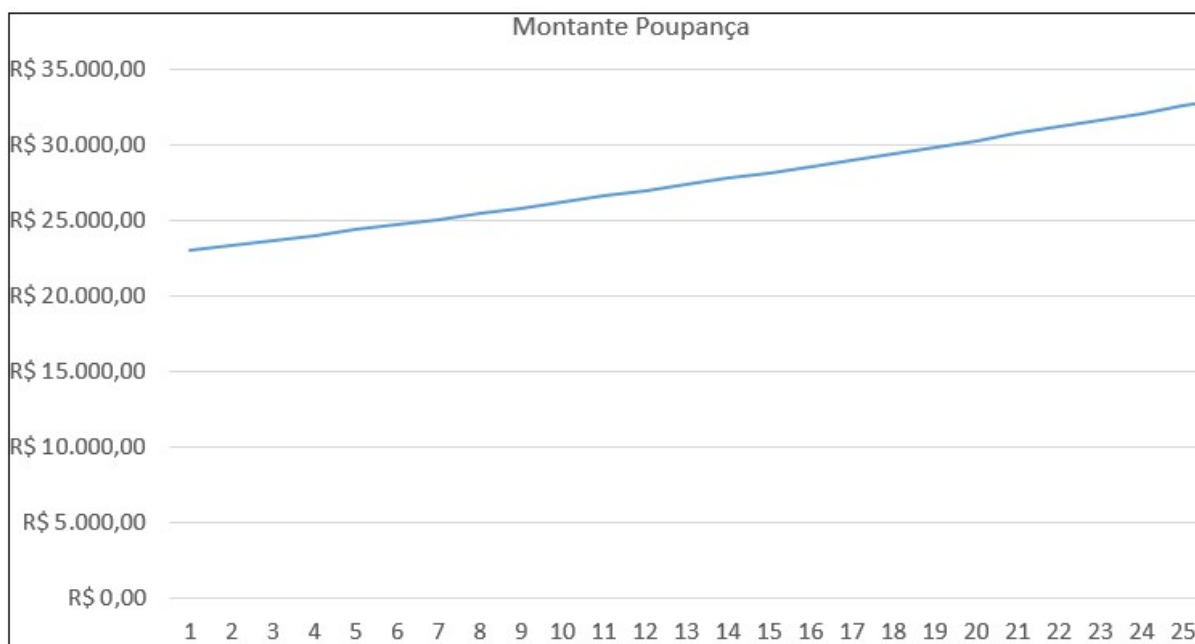
Tabela 4 – Rendimento da Poupança

Ano	Rendimento Real	Montante Poupança
0	R\$ 0,00	R\$ 23.000,00
1	R\$ 335,80	R\$ 23.335,80
2	R\$ 340,70	R\$ 23.676,50
3	R\$ 345,68	R\$ 24.022,18
4	R\$ 350,72	R\$ 24.372,90
5	R\$ 355,84	R\$ 24.728,75
6	R\$ 361,04	R\$ 25.089,79
7	R\$ 366,31	R\$ 25.456,10
8	R\$ 371,66	R\$ 25.827,76
9	R\$ 377,09	R\$ 26.204,84
10	R\$ 382,59	R\$ 26.587,43
11	R\$ 388,18	R\$ 26.975,61
12	R\$ 393,84	R\$ 27.369,45
13	R\$ 399,59	R\$ 27.769,05
14	R\$ 405,43	R\$ 28.174,48
15	R\$ 411,35	R\$ 28.585,82
16	R\$ 417,35	R\$ 29.003,18
17	R\$ 423,45	R\$ 29.426,62
18	R\$ 429,63	R\$ 29.856,25
19	R\$ 435,90	R\$ 30.292,15
20	R\$ 442,27	R\$ 30.734,42
21	R\$ 448,72	R\$ 31.183,14
22	R\$ 455,27	R\$ 31.638,41
23	R\$ 461,92	R\$ 32.100,34
24	R\$ 468,66	R\$ 32.569,00
25	R\$ 475,51	R\$ 33.044,51

Fonte: Autoria Própria

Com a tabela 4, é possível gerar-se o gráfico apresentado na figura 18 que mostra o montante da poupança pelo tempo de investimento em anos. É válido observar que todos os gráficos de investimentos a partir da figura 18 seguirão uma curva com tendência exponencial, como já era de se esperar devido aos juros serem compostos.

Figura 18 – Montante da Poupança



Fonte: Autoria Própria

3.2.3 Tesouro Direto IPCA+2045

O Tesouro Direto é um programa de vendas de títulos públicos, desenvolvido pelo Tesouro Nacional. São investimentos de renda fixa, e o objetivo dos mesmos é ajudar o governo a financiar as dívidas públicas, bem como atividades de educação, saúde e segurança.

Os títulos não são comercializados diretamente com o banco, como ocorre na poupança, pois precisam de um intermediário, por isso existem diversas corretoras de valores que fazem todo processo.

As vantagens deste tipo de investimento são a segurança, as diversas formas de aplicação e rentabilidade, como juros pré ou pós fixados. (FILHO; KOPITTKKE, 1994)

No presente projeto será considerado um juro pré fixado IPCA+2045, que consiste em um investimento inicial, considerado neste projeto, ou também podem-se fazer aportes quando for desejado. As taxas de juros dos títulos variam, e havendo interesse podem ser vendidos antes do tempo, podendo assim receber-se um valor maior ou menor ao proporcional, dependendo das taxas de juros aplicadas no período.

O montante final poderá ser sacado em 2045 exatamente como o título prevê com a taxa pré fixada antes do investimento.

O montante final consiste em um capital investido somado ao rendimento no pe-

ríodo. Este rendimento terá taxaço do imposto de renda, o qual é tabelado da seguinte maneira:

- I) Até 6 meses: 22,5% sobre o lucro;
- II) Entre 6 meses e 1 ano: 20% sobre o lucro;
- III) Entre 1 ano e 2 anos: 17,5% sobre o lucro;
- IV) Mais de 2 anos: 15% sobre o lucro;

O rendimento atual do título IPCA+2045 é de 5,5% ao ano. Este valor é acima da inflação, ou seja, o rendimento bruto total será sempre a inflação somada com os juros pré-fixados do período contratado. (NACIONAL, 2018)

Para os cálculos da tabela 5, foi utilizada a equação (7).

Tabela 5 – Rendimento do Tesouro IPCA+2045

Ano	Montante	Imposto de Renda	Montante IPCA
0	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 23.000,00
1	R\$ 24.943,50	R\$ 437,29	R\$ 23.771,03
2	R\$ 27.051,23	R\$ 911,53	R\$ 24.594,84
3	R\$ 29.337,05	R\$ 1.425,84	R\$ 25.473,81
4	R\$ 31.816,04	R\$ 1.983,61	R\$ 26.410,43
5	R\$ 34.504,49	R\$ 2.588,51	R\$ 27.407,34
6	R\$ 37.420,12	R\$ 3.244,53	R\$ 28.467,31
7	R\$ 40.582,12	R\$ 3.955,98	R\$ 29.593,30
8	R\$ 44.011,31	R\$ 4.727,54	R\$ 30.788,39
9	R\$ 47.730,26	R\$ 5.564,31	R\$ 32.055,87
10	R\$ 51.763,47	R\$ 6.471,78	R\$ 33.399,19
11	R\$ 56.137,49	R\$ 7.455,93	R\$ 34.821,98
12	R\$ 60.881,10	R\$ 8.523,25	R\$ 36.328,10
13	R\$ 66.025,56	R\$ 9.680,75	R\$ 37.921,58
14	R\$ 71.604,72	R\$ 10.936,06	R\$ 39.606,70
15	R\$ 77.655,31	R\$ 12.297,45	R\$ 41.387,95
16	R\$ 84.217,19	R\$ 13.773,87	R\$ 43.270,07
17	R\$ 91.333,54	R\$ 15.375,05	R\$ 45.258,05
18	R\$ 99.051,22	R\$ 17.111,53	R\$ 47.357,15
19	R\$ 107.421,05	R\$ 18.994,74	R\$ 49.572,92
20	R\$ 116.498,13	R\$ 21.037,08	R\$ 51.911,18
21	R\$ 126.342,22	R\$ 23.252,00	R\$ 54.378,08
22	R\$ 137.018,14	R\$ 25.654,08	R\$ 56.980,10
23	R\$ 148.596,18	R\$ 28.259,14	R\$ 59.724,04
24	R\$ 161.152,55	R\$ 31.084,32	R\$ 62.617,09
25	R\$ 174.769,94	R\$ 34.148,24	R\$ 65.666,78

Fonte: Autoria Própria

onde:

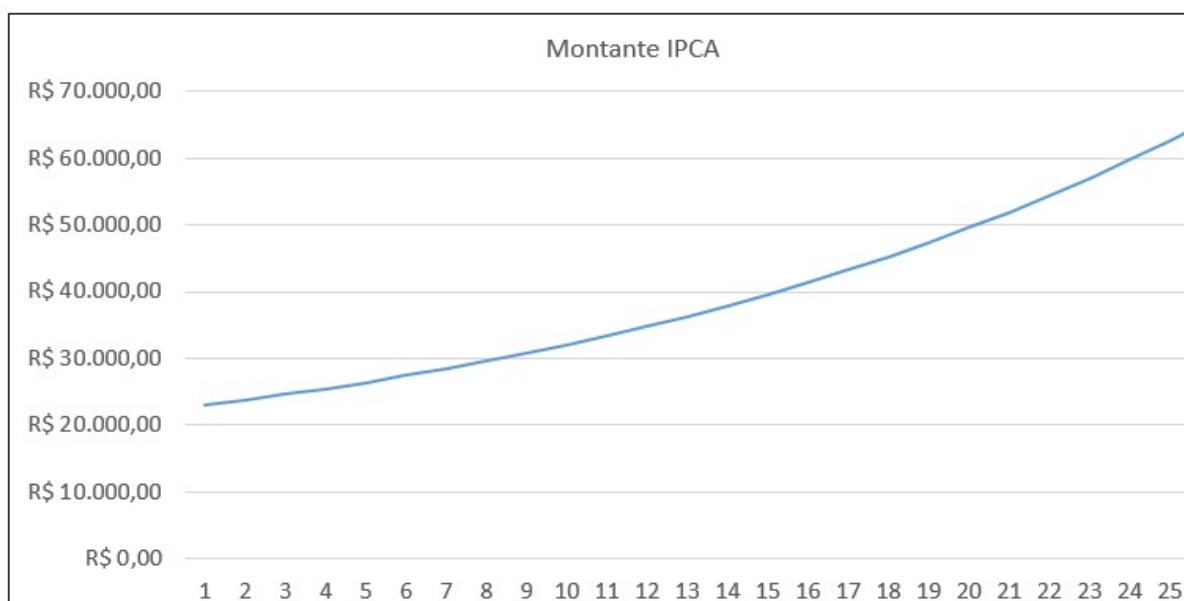
Montante = Valor bruto;

Imposto de Renda = Imposto pago sobre o lucro;

Montante IPCA = Montante real, descontado imposto e com inflação atualizada.

Com base na tabela 3 é possível gerar o gráfico apresentado na figura 18, na qual o montante gerado pelo Tesouro IPCA já está com imposto de renda e inflação descontados pelo tempo de investimento em anos.

Figura 19 – Montante Tesouro IPCA+2045



Fonte: Autoria Própria

3.2.4 Economia de Energia com Geração Distribuída

Na economia será levada em consideração a geração pelos painéis fotovoltaicos anualmente e seu valor monetário respectivo durante um ano. Como não é possível saber o preço da energia daqui 25 anos, foi estimado um aumento de 50% acima da inflação anual, segundo o histórico brasileiro dos últimos 14 anos.(ZANLORENSSI, 2017)

O valor utilizado foi de R\$ 0,778719 por kW já com o ICMS paranaense de 29%,(COPEL, 2018).

Com isto, foi possível gerar a tabela 6.

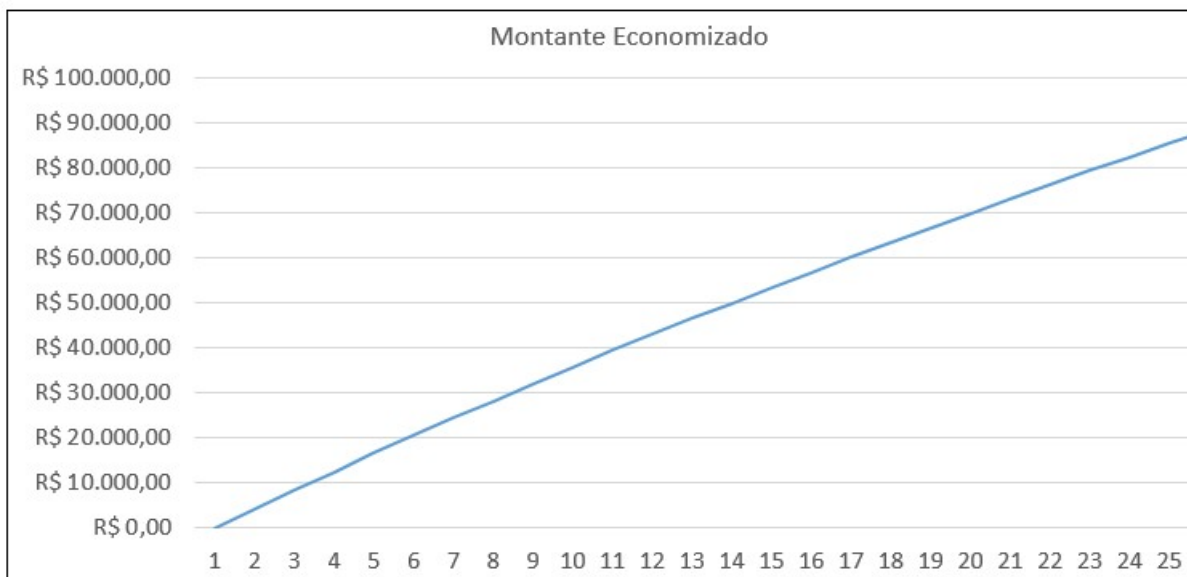
Tabela 6 – Economia Com Geração Distribuída

Ano	Economia	Montante Economizado
0	R\$ 0,00	R\$ 0,00
1	R\$ 4.402,10	R\$ 4.270,04
2	R\$ 4.589,19	R\$ 8.459,90
3	R\$ 4.784,23	R\$ 12.572,54
4	R\$ 4.987,56	R\$ 16.610,82
5	R\$ 5.199,53	R\$ 20.577,51
6	R\$ 5.420,51	R\$ 24.475,32
7	R\$ 5.650,88	R\$ 28.306,87
8	R\$ 5.891,05	R\$ 32.074,73
9	R\$ 6.141,41	R\$ 35.781,39
10	R\$ 6.402,42	R\$ 39.429,25
11	R\$ 6.674,53	R\$ 43.020,67
12	R\$ 6.958,20	R\$ 46.557,94
13	R\$ 7.253,92	R\$ 50.043,29
14	R\$ 7.562,21	R\$ 53.478,87
15	R\$ 7.883,60	R\$ 56.866,81
16	R\$ 8.218,66	R\$ 60.209,14
17	R\$ 8.567,95	R\$ 63.507,88
18	R\$ 8.932,09	R\$ 66.764,95
19	R\$ 9.311,70	R\$ 69.982,26
20	R\$ 9.707,45	R\$ 73.161,65
21	R\$ 10.120,02	R\$ 76.304,91
22	R\$ 10.550,12	R\$ 79.413,79
23	R\$ 10.998,50	R\$ 82.490,00
24	R\$ 11.465,93	R\$ 85.535,20
25	R\$ 11.953,23	R\$ 88.551,00

Fonte: Autoria Própria

Com base na tabela 6 é possível gerar-se o gráfico apresentado na figura 20, no qual, o montante gerado pela economia está somado ano a ano e levado em consideração a previsão de custo energético futura.

Figura 20 – Economia com Geração Distribuída

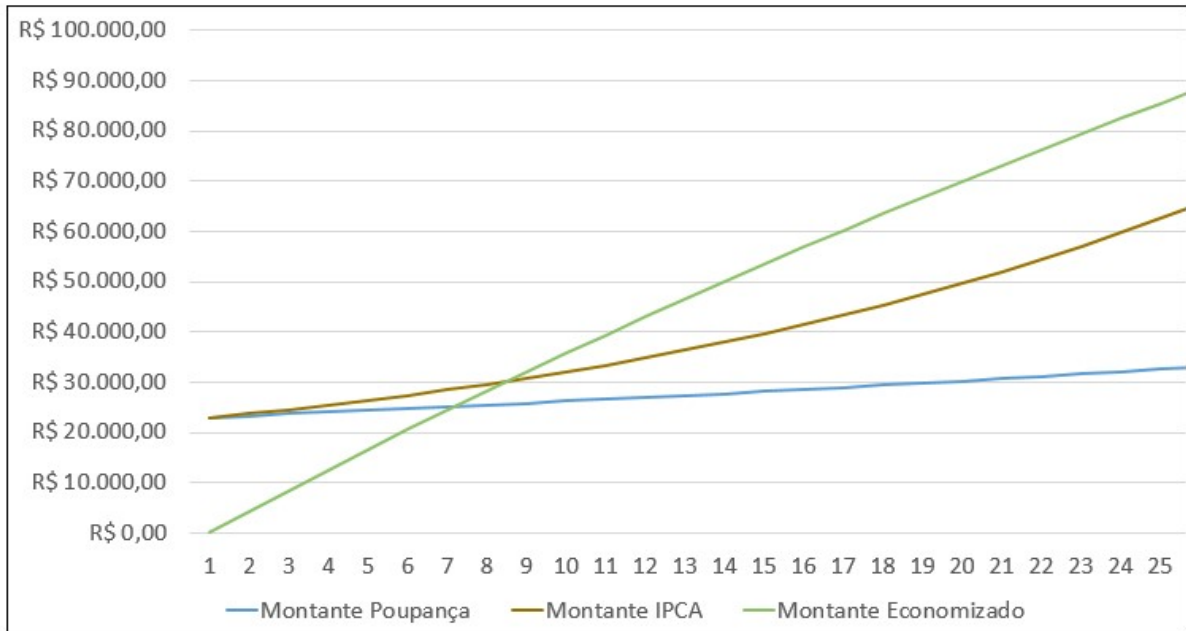


Fonte: Autoria Própria

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A figura 22 apresenta o comparativo entre as quatro maneiras apresentadas de investimento.

Figura 21 – Comparação entre Investimentos



Fonte: Autoria Própria

Os dados obtidos foram de extrema valia e o projeto apresentou-se viável. Visto que o retorno financeiro é interessante, superando facilmente a TMA apresentada na Poupança e no Tesouro Direto.

Na figura 22 é visivelmente grande a diferença quando se utiliza o valor economizado da energia elétrica. Deve-se levar em consideração que a garantia dos painéis fotovoltaicos é de 25 anos, mas continua produzindo energia por mais tempo. (SOLAR, 2016)

É visto facilmente também a pouca rentabilidade de se guardar dinheiro na poupança, a qual rende valores mínimos acima da inflação. Deve-se considerar a poupança como um dinheiro o qual é guardado com segurança, mas desconsiderá-la como uma fonte de renda de um investimento.

O Tesouro Direto IPCA traz alguns benefícios e uma rentabilidade razoável para pessoas que não desejam fazer investimentos de risco, sendo a segurança como grande vantagem desse investimento. Contudo, ainda faltou muito para alcançar o retorno que a economia em energia elétrica traz para quem deseja investir em projetos similares.

5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise da viabilidade financeira de se produzir energia elétrica renovável através de painéis fotovoltaicos. Além disso, também permitiu um melhor estudo de investimentos de renda fixa, o qual foi essencial para se obter dados mais precisos durante todo o processo.

Ao fazer-se o estudo deste projeto, verificou-se que a parte mais desgastante foi o levantamento de dados e custos dos painéis fotovoltaicos, visto que a grande maioria são importados e a variação do dólar complica o estudo, bem como a variação da inflação implica em mudanças nas taxas de rendimento dos investimentos de renda fixa.

As tabelas e gráficos apresentados conseguiram apresentar bem a situação e explicar o inevitável crescimento da energia distribuída no Brasil, visto que os custos tendem a baixar significativamente com o passar dos anos.

Neste sentido, o objetivo do trabalho foi concluído dada a proposta apresentada de incentivar e extrair as dúvidas de quem ainda reluta em investir nessa forma de energia elétrica.

Referências

- ALMEIDA, I. d. S.; CARDOSO, G. S.; SANTORO, R. B. Design of an autonomous photovoltaic system for the supply of electric power from a rural residence in bahia, brazil; projeto de um sistema fotovoltaico autonomo para o abastecimento da energia eletrica de uma residencia rural na bahia. 2008. Citado na página 12.
- ANEEL, C. T. Micro e minigeração distribuída. **Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília, DF, Brasil: Centro de Documentação–Cedoc**, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 29, 30 e 31.
- BAJAY, S. V.; BADANHAN, L. F. Energia no brasil: Os próximos dez anos. **Departamento Nacional de Política Energética–DNPE, Secretaria de Energia–SEM Ministério das Minas e Energia–MME, Brasília**, 2002. Citado na página 24.
- BCB. **Relatório da Poupança**. [S.l.]. Citado na página 38.
- BINACIONAL, I. Disponível em:< [www. itaipu. gov. br](http://www.itaipu.gov.br)>. **Acesso em**, v. 15, 2011. Citado na página 23.
- BRITO, M. A. G. d. Inversores integrados monofásicos e trifásicos para aplicações fotovoltaicas: Técnicas para obtenção de mppt, detecção e proteção de ilhamento, sincronização e paralelismo com a rede de distribuição de energia elétrica. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2013. Citado na página 19.
- CASTRO, R. M.; RENOVÁVEIS, E.; DESCENTRALIZADA, P. Introdução à energia eólica. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada**, 2007. Citado na página 27.
- COÊLHO, S. C. N. **Curso de direito tributário brasileiro**. [S.l.]: Grupo Gen-Editora Forense, 2000. Citado na página 30.
- COPEL. **Taxas e Tarifas**. 2018. [Http://www.copel.com/hpcopel/root/index.jsp](http://www.copel.com/hpcopel/root/index.jsp). Citado 2 vezes nas páginas 37 e 42.
- COSTA, R. A. d.; CASOTTI, B. P.; AZEVEDO, R. L. S. d. Um panorama da indústria de bens de capital relacionados à energia eólica. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2009. Citado na página 12.
- CRESESB. Potencial solar. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>**, 2018. Citado na página 37.
- ELTON, E.; GRUBER, M.; BROWN, S. **Moderna teoria de carteiras e análise de investimentos**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2012. Citado 4 vezes nas páginas 34, 35, 38 e 39.
- ENERGIA, A. e. **Energia que vem do céu**. 2018. Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2018/04/energia-que-vem-ceu/33881#.W88um2hKjIU>>. Acesso em: 23 de outubro de 2018. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 25.
- FARIA, V. I. G. L. de et al. Energia solar fotovoltaica. **Anais dos Ateliers Técnico-Científicos Doctum 2015**, v. 3, n. 1, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 18.

- FARIA, V. I. G. L. de et al. Energia solar fotovoltaica. **Anais dos Ateliers Técnico-Científicos Doctum 2015**, v. 3, n. 1, 2016. Citado na página 28.
- FILHO, N. C.; KOPITTKE, B. H. **Análise de investimentos**. [S.l.]: Atlas, 1994. Citado na página 40.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no brasil. **Estudos avançados**, SciELO Brasil, v. 21, n. 59, p. 7–20, 2007. Citado na página 23.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. [S.l.]: Editora da Universidade de São Paulo São Paulo, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.
- HECKTHEUER, L.; KRENZINGER, A. Uso de diodos de bypass e de bloqueio na proteção de sistemas fotovoltaicos. **Anais do CONEM**, v. 400, 2000. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 22.
- HIRSCH, H. et al. Nuclear reactor hazards: ongoing dangers of operating nuclear technology in the 21st century. **Estudos Avançados**, SciELO Brasil, v. 21, n. 59, p. 253–257, 2007. Citado na página 25.
- KURAMOTO, R. Y. R.; APPOLONI, C. R. Uma breve história da política nuclear brasileira. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 19, n. 3, p. 379–392, 2002. Citado na página 26.
- MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia solar fotovoltaica: uma breve revisão. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 126–143, 2014. Citado na página 37.
- MALICO, I. Energia da biomassa. **Geoboletim**, v. 7, p. 4–5, 2008. Citado na página 27.
- MARINOSKI, D. L.; SALAMONI, I. T.; RÜTHER, R. Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do crea-sc. In: **Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. São Paulo, Brasil**. [S.l.: s.n.], 2004. Citado na página 36.
- MENDES, J. F.; CARDOSO, J. P. Energia solar térmica. In: **III Congresso de Energias Renováveis, Ambiente, Eficiência Energética**. [S.l.: s.n.], 2013. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.
- MORI, V.; SANTOS, R. L. C. d.; SOBRAL, L. G. S. Metalurgia do silício: processos de obtenção e impactos ambientais. CETEM, 2007. Citado na página 14.
- NACIONAL, T. **Tesouro Direto**. 2018. [Http://www.tesouro.fazenda.gov.br/tesouro-direto-calculadora](http://www.tesouro.fazenda.gov.br/tesouro-direto-calculadora). Citado na página 41.
- OLIVEIRA, R.; ZHOURI, A. Desenvolvimento, conflitos sociais e violência no brasil rural: o caso das usinas hidrelétricas. **Ambiente & sociedade**, SciELO Brasil, v. 10, n. 2, p. 119–135, 2007. Citado na página 23.
- PACHECO, F. Energias renováveis: breves conceitos. **Conjuntura e Planejamento**, v. 149, p. 4–11, 2006. Citado na página 26.
- PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. [S.l.]: Inpe São José dos Campos, 2006. v. 1. Citado na página 21.
- SILVEIRA, G. Anay Cury e D. **Inflação Oficial de 2017**. [S.l.]: <https://g1.globo.com/economia/noticia/inflacao-oficial-fecha-2017-em-295.ghtml>, 2018. Citado na página 38.

SOARES, M. M.; SOBRINHO, M.; MICROFINANÇAS, A. O papel do banco central do brasil e a importância do cooperativismo de crédito. **Brasília: BCB**, 2008. Citado na página 38.

SOLAR, E. **Energia Solar**. [S.l.]: Obtenido de Controlador de carga: <https://solar-energia.net/definiciones/controlador-de-carga.html>, 2017. Citado na página 22.

SOLAR, P. **Como Funciona o Pannel Solar**. 2016. <https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-pannel-solar-fotovoltaico.html>. Citado na página 45.

VIEIRA, K. R. C. F.; BAZZO, W. A. Discussões acerca do aquecimento global: uma proposta cts para abordar esse tema controverso em sala de aula. **Ciência & Ensino (ISSN 1980-8631)**, v. 1, 2008. Citado na página 12.

ZANLORENSSI, V. O. e. R. A. G. **Trajetória das tarifas de energia nos últimos 14 anos**. 2017. Nexo Jornal. Citado na página 42.