

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO
Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária

Curso de Ciências Econômicas

IMPACTOS SUSTENTÁVEIS DA ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Antonio Augusto Adrega De Moura E Palhares

São Paulo

2025

Antonio Augusto Adrega De Moura E Palhares

**IMPACTOS SUSTENTÁVEIS DA ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA**

Monografia apresentada ao Curso de
Ciências Econômicas da Pontifícia
Universidade Católica de São Paulo como
um pré-requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciências Econômicas, sob a
orientação do Prof. Dr. Áquilas Nogueira
Mendes.

São Paulo

2025

Palhares, Antonio Augusto Adrega De Moura

Impactos sustentáveis da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica Brasileira/ Antonio Augusto Adrega De Moura E Palhares. – São Paulo: [sn], 2025
63p.; 12,5 x 7,5 cm

Orientador: Prof. Dr. Áquilas Nogueira Mendes.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Graduação em Ciências Econômicas, 2025.

1. Energia solar fotovoltaica 2. Desenvolvimento sustentável 3. Produção sustentável
4. Matriz energética. I. Mendes, Áquilas Nogueira. II. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Trabalho de Conclusão de Curso para Graduação em Ciências Econômicas. III. Impactos da energia solar fotovoltaica na matriz energética Brasileira

Banca Examinadora

Dedico esta monografia ao Deus pai todo poderoso e seu filho Jesus Cristo, a meus pais, ao meu irmão, e aos colegas e professores por terem me apoiado para a conclusão deste trabalho.

Agradecimentos

Meus agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para o resultado deste trabalho.

Primeiramente gostaria de agradecer ao único digno de todos os aplausos, aquele que se sacrificou para que hoje nós conseguíssemos usufruir do dom da vida, muito obrigado Jesus Cristo

Agradeço a toda minha família, por sempre me apoiar em todos os momentos de minha vida, sem os quais seria impossível concluir este trabalho.

A todos os meus colegas que sempre contribuíram de forma positiva para a realização deste trabalho.

A esta universidade, a todo corpo docente, direção e colaboradores que oportunizaram fazer o curso.

*"Eu posso fazer todas as coisas que Deus
me pede com a força que Cristo me dá"*

Filipenses 4:13

RESUMO

A busca por fontes de energias sustentáveis e renováveis e uma tendência mundial, não sendo diferente no Brasil. Neste contexto a energia solar fotovoltaica surge como uma das principais saídas para a obtenção de energia elétrica limpa, barata, renovável e infinita. Este estudo analisa a viabilidade da produção de energia solar fotovoltaica na matriz energética do Brasil e de seus impactos sustentáveis, sociais e econômicos no país. O objetivo deste trabalho é explorar o tema do desenvolvimento sustentável, tendo como foco a questão energética, colocando como base principal do desenvolvimento sustentável a produção da energia solar fotovoltaica. A metodologia envolve uma revisão bibliográfica de estudos sobre a viabilidade da energia solar fotovoltaica no Brasil e estudos a respeito do desenvolvimento sustentável no Brasil. O estudo apresenta como resultado uma relação positiva entre desenvolvimento sustentável e produção de energia solar fotovoltaica no Brasil, chegando a confirmação de que a energia solar fotovoltaica pode ser a base principal para o desenvolvimento sustentável no Brasil.

Palavras – Chave: Energia solar fotovoltaica, desenvolvimento sustentável, produção sustentável, matriz energética.

ABSTRACT

The search for sustainable and renewable energy sources is a global trend, and Brazil is no exception. In this context, photovoltaic solar energy emerges as one of the main solutions for obtaining clean, affordable, renewable, and infinite electrical energy. This study analyzes the feasibility of photovoltaic solar energy production within Brazil's energy matrix and its sustainable, social, and economic impacts on the country. The objective of this research is to explore the topic of sustainable development, focusing on energy issues, with photovoltaic solar energy production as the main foundation for sustainable development. The methodology involves a literature review of studies on the feasibility of photovoltaic solar energy in Brazil and research on sustainable development in the country. The study presents a positive relationship between sustainable development and photovoltaic solar energy production in Brazil, confirming that photovoltaic solar energy can be the main foundation for sustainable development in the country.

Keywords: Photovoltaic solar energy, sustainable development, sustainable production, energy matrix.

Sumario

INTRODUÇÃO.....	13
1 O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL E A ENERGIA SOLAR	14
1.1 Bases conceituais do desenvolvimento econômico sustentável	14
1.1.1-Pilar Ambiental.....	15
1.1.2-Pilar Social	17
1.1.3-Pilar Econômico	18
1.2 A energia fotovoltaica como base principal para a sustentabilidade	20
1.2.1- Meio Ambiente.....	22
1.2.2-Economia.....	24
1.2.3-Sociedade.....	25
2 TRAJETÓRIA HISTÓRICA DO DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	27
2.1 Descoberta da energia solar e criação da produção fotovoltaica.....	27
2.1.1 – Descoberta da energia emitida pelo sol	27
2.1.2 – A conquista do Sol: Uma breve história sobre a origem e desenvolvimento da energia Fotovoltaica.	28
2.2 – Introdução da energia fotovoltaica no Brasil.....	34
2.2.1 – Trajetória da energia solar fotovoltaica no Brasil.....	35
2.2.2 – Avanços no Século XXI	37
2.2.3 – Aceleração do crescimento Fotovoltaico.....	38
2.2.4 – Outras utilidades da energia fotovoltaica no Brasil.....	40
3 ANÁLISE DOS EFEITOS DA PRODUÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	42
3.1 – Três Pilares e um Desafio	42

3.2 – Análise dos Efeitos Ambientais	43
3.3 – Análise dos efeitos econômicos	45
3.4 – Análise dos efeitos sociais	49
3.5 – Desafios, Sazonalidade e Mudanças Climáticas.....	52
CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS	57

LISTA DE GRÁFICOS E IMAGENS

Gráfico 1: CO2 Evitado

Gráfico 2: Custo dos sistemas Fotovoltaicos

Gráfico 3: Preço por Watt de energia em relação as células

Imagem 1: Regiões do Brasil sem acesso à energia elétrica

Imagem 2: Potencial de geração de energia fotovoltaica por região do Brasil

Imagem 3: Dissipação dos raios solares

Imagem 4: Movimentos da terra

INTRODUÇÃO

O cenário global atual apresenta muitas incertezas a respeito do futuro da vida humana no planeta terra, cada vez mais é possível se observar uma constante e avançada degradação do meio ambiente e da natureza pelo homem. No Brasil este cenário não é diferente, pois a busca pelo progresso exige um processo gradativo que também esbarra nas questões ambientais, o que levará a problemas futuros se propostas não forem tomadas.

Neste contexto é evidente que para se obter o progresso o uso de energia elétrica é fundamental, sendo que a busca por uma fonte energética sustentável é essencial para minimizar os impactos causados no meio ambiente. Portanto o progresso é indispensável para que a humanidade continue evoluindo em processo gradativo, porém é necessário desenvolver o processo de forma sustentável, neste contexto a fonte de energia solar fotovoltaica é a saída para se atingir o desenvolvimento de forma sustentável gerando energia limpa que pode ser utilizada para o processo gradativo de desenvolvimento com respeito ao meio ambiente.

Nesta perspectiva, o objetivo deste trabalho é analisar o panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil, se estudando a possibilidade de uma saída energética limpa com base nos conceitos de desenvolvimento sustentável.

Este trabalho está estruturado em três capítulos. O primeiro capítulo tratou-se de definir o termo de desenvolvimento sustentável a partir da origem do conceito até suas mudanças nos dias atuais e também introduz a energia solar fotovoltaica dentro do conceito de desenvolvimento sustentável, foi realizado no mesmo capítulo uma justificativa evidenciando a possibilidade de se produzir energia solar fotovoltaica no Brasil sendo está posta como base para o desenvolvimento sustentável no país. O segundo capítulo foi uma análise da trajetória histórica da energia solar fotovoltaica, desde o surgimento das primeiras células e módulos no século dezenove passando pelo século vinte e chegando aos dias atuais, dentro desta trajetória histórica o capítulo descreve a chegada da energia solar fotovoltaica no Brasil. O terceiro capítulo teve como foco de estudo uma análise dos efeitos da produção de energia solar fotovoltaica no Brasil e de análises de projetos usados em outros países.

CAPÍTULO 1: O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL E A ENERGIA SOLAR

O objetivo deste capítulo é de introduzir o conceito de desenvolvimento econômico sustentável a partir da origem deste conceito e suas mudanças até o presente momento. O outro objetivo deste capítulo é de introduzir a energia solar fotovoltaico como base para o desenvolvimento econômico sustentável.

O capítulo está dividido em duas partes, a primeira parte tem como objetivo a definição do termo desenvolvimento sustentável a partir de suas origens na comissão mundial de 1987, e sua importância nos dias de hoje enfatizando seus três pilares. A segunda parte do capítulo tem como objetivo inicial, justificar a viabilidade da utilização da energia solar fotovoltaica no Brasil, posteriormente o objetivo é de colocar a energia solar fotovoltaica como base principal para o desenvolvimento econômico sustentável.

1.1 Bases conceituais do desenvolvimento econômico sustentável

As questões de sustentabilidade vêm ganhando cada vez mais importância nos debates atuais, esta importância se deu porque o ser humano percebeu que ao destruir a natureza ele acaba prejudicando a si mesmo. A adoção de práticas que visam preservar o meio ambiente e utilizar os recursos naturais de forma consciente é uma tendência, visto que muitas pessoas adquiriram e praticam o desenvolvimento sustentável.

O conceito de desenvolvimento sustentável surgiu durante a comissão de Brundland no ano de 1987, ela foi apresentada e definida pela primeira-ministra norueguesa Gro Harlem Brundland como:

“É a forma como as atuais gerações satisfazem as suas necessidades sem, no entanto, comprometer a capacidade de gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades” (Brundtland, 1987).

A partir da década de 1980 o conceito de desenvolvimento sustentável incluiu em seu debate a preservação ambiental caminhando junto do desenvolvimento econômico. Neste contexto muitas empresas incorporaram em suas estruturas estes conceitos, surgindo assim novas possibilidades de negócios, uma vez que a cada dia o mercado está mais competitivo e aberto a novas ideias e possibilidades.

O caminho mais evidente para a sobrevivência de uma empresa no mercado é a melhoria da gestão ambiental de forma sistêmica e sólida. É necessário planejar, analisar e organizar corretamente cada passo dado, para que a empresa possa atingir a excelência ambiental e

competir no mercado. É necessário investir em processos e tecnologias de produção mais limpa e praticamente sem resíduos. (Zanatta, 2017)

Com o passar dos anos o tema do desenvolvimento sustentável foi sendo mais debatido ganhando novas definições com a inclusão de novas pautas:

Neste contexto, o desenvolvimento começa a ser compreendido como um processo complexo de transformações e mudanças intensas, que abarcam os aspectos econômicos, sociais, ambientais e políticos. Caracterizado pela necessidade de suprir as necessidades básicas da humanidade, de perpetuar o direito à cidadania, em prol da construção de uma sociedade mais justa e igualitária e do crescimento econômico sustentado, surge o Desenvolvimento Sustentável como alternativa as demandas da contemporaneidade. (Molina,2019)

No conceito também foram incluídos bases práticas e políticas que promovem o uso responsável dos recursos naturais, a proteção do meio ambiente e o desenvolvimento econômico de forma sustentável e equitativo, o que também inclui a adoção de tecnologias limpas, eficiência energética e a conservação ambiental. Assim durante a conferência ECO-92 foi apresentado o plano de sustentabilidade da agenda 21 que definiu os três pilares centrais do desenvolvimento sustentável: Social, Econômica e Ambiental.

1.1.1-Pilar Ambiental

O pilar ambiental se refere a proteção e conservação do meio ambiente e dos recursos naturais, o que inclui biodiversidade e ecossistemas. Também inclui a adoção de práticas de uso sustentável dos recursos naturais, combate as mudanças climáticas, redução da poluição, educação ambiental e a preservação da biodiversidade com a garantia da conservação do planeta para as gerações futuras.

O uso sustentável dos recursos naturais pode ser definido pela lei nº. 9.985/2000, o uso sustentável é a exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável.

O combate as mudanças climáticas é uma pauta muito importante, estas mudanças são causadas pelo aumento da emissão de gases de efeito estufa de maneira descontrolada, especialmente pelo desmatamento, queimadas ilegais e a queima de combustíveis fósseis. Tais mudanças na temperatura do planeta Terra tem grande impacto na biodiversidade e nos ecossistemas do planeta. O combate as emissões de CO₂ é uma das medidas do combate as mudanças climáticas.

Diante de todos esses impactos há maior preocupação com a população mais vulnerável, pois a desigualdade, conflitos, pobreza, governança ineficiente e acesso limitado à saúde e

saneamento básico, além de expor a comunidade aos riscos, diminui a possibilidade de adaptação às mudanças do clima (IPCC, 2022).

Outra pauta importante do pilar ambiental é a redução de poluição, poluição pode ser definida de acordo com a lei a lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, é a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas. A poluição existe de várias formas sendo as principais: atmosférica, hídrica, do solo, térmica, sonora, visual e radioativa.

O fato de haver muitos tipos de poluição torna complexo o seu combate, porém a educação e a conscientização, de que pequenos atos de mudança individual podem fazer a diferença, ajudam em seu combate.

Portanto para se reduzir a poluição é necessário um conjunto de ações por meio da conscientização das empresas, das pessoas e de ações governamentais com medidas que visem o combate efetivo da redução da poluição.

De fato, meios já existem, mas falta, evidentemente, mais educação: educação do empresário, para que não despeje o resíduo industrial nos rios; educação dos investidores imobiliários, para que respeitem as leis de zoneamento e orientem os projetos de modo a preservar a qualidade de vida do povo; educação dos comerciantes, para que não se estabeleçam onde a lei não permite e comprovem a convivência de autoridades públicas para a continuação de suas práticas ilegais, educação do político, para que não venda leis e decisões administrativas, para que não estimule nem acoberte ilegalidades, para que não faça barganhas contra os interesses do povo; educação do povo, para que tome consciência de que cada situação danosa para o meio ambiente é uma agressão aos seus direitos comunitários e agressão aos direitos de cada um. (Phillip Jr, 2002)

A educação ambiental é um processo de aprendizado que visa a compreensão de temas ambientais, além de desenvolver habilidades e atitudes que promovam a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais. O principal objetivo da educação ambiental é a conscientização sobre a importância de se preservar e proteger o meio ambiente. Essa forma de educação não se limita apenas ao ambiente escolar, mas pode se estender a universidades, empresas e organizações não governamentais, podendo abranger uma gama de temas relacionados a proteção do meio ambiente.

A preservação da biodiversidade constitui de ações para proteger e conservar as formas de vida no planeta terra incluindo, animais, fungos, plantas, micro-organismos e ecossistemas

dos quais fazem parte. A biodiversidade é imprescindível para o bem-estar do ser humano e para o funcionamento saudável dos ecossistemas.

Sendo assim, quando se fala em Preservação da Biodiversidade está se falando, em última análise, da preservação de todo o patrimônio genético vivo do planeta. Então a perda de Biodiversidade é a perda de genes e a perda de genes implica na impossibilidade da formação e da organização das características condicionadas por esses genes. Em outras palavras, certas características genéticas são totalmente perdidas quando alguma espécie viva é extinta e, lamentavelmente, o nosso conhecimento ainda não consegue prever todas as consequências possíveis, mas certamente estas serão na sua maioria mais danosas do que benéficas. (Lima, Online)

1.1.2-Pilar Social

O pilar social diz respeito a preocupação com o capital humano e com a sociedade de maneira geral. Este pilar também inclui a promoção do bem-estar social, equidade e justiça social. Mas o foco do pilar social trata de atividades desenvolvidas por empresas, que não incluem apenas seus funcionários, mas também toda a comunidade a seu entorno, para assim garantir um ambiente de trabalho mais saudável.

Atualmente o termo de Responsabilidade Socioambiental vem ganhando muito espaço dentro do mercado empresarial, esse termo trata de duas responsabilidades que a empresa deve ter, com a sociedade e com o meio ambiente, tendo como foco o desenvolvimento sustentável. É, portanto, um compromisso com as políticas da corporação e a cultura da empresa, pensando na preservação do meio ambiente e no desenvolvimento da sociedade de forma sustentável.

“Uma empresa socialmente responsável é uma organização cuja administração faz um balanço entre os diversos interesses. Essa empresa leva em conta não somente o interesse em maximizar os lucros para os acionistas, mas também os interesses dos empregados, fornecedores, da comunidade local e da nação” (Johnson, 1971).

O conceito de Responsabilidade Socioambiental empresarial deve uma grande evolução com o passar dos anos. O termo surge no século XX, tendo como base princípios religiosos que poderiam ser aplicados nas atividades empresariais como: o princípio da caridade, onde uma pessoa com melhores condições financeiras ajuda outra pessoa necessitada, e o princípio do gerenciamento, onde os indivíduos responsáveis pelos negócios eram responsáveis não só pelos recursos dos acionistas, mas também pelos recursos da sociedade em geral.

Foi na década de 1960 em que se surgiu a teoria dos Stakeholders, Stakeholders são definidos como grupos ou indivíduos que foi afetado ou pode afetar as operações dos objetivos das empresas, o que leva a cada empresa deve adotar uma estratégia socioambiental diferente.

Na teoria dos Stakeholders de Freeman de 1984, segundo seu modelo teórico os principais Stakeholders que podem afetar as operações de uma empresa são: Clientes, Funcionários, Fornecedores, Comunidade Local, Consumidores, Governo e organizações sociais e ambientais não governamentais.

Todos os stakeholders são igualmente importantes. O administrador de empresas deve realizar um balanço entre os interesses dos stakeholders diversos, procurando satisfazer mais que um stakeholder. Deve-se mencionar que nem sempre o mesmo grupo de stakeholders será beneficiado todas as vezes (FREEMAN; McVEA, 2001).

Nos dias de hoje a Responsabilidade Socioambiental já é uma realidade em muitos países no Brasil não é diferente, ações promovidas pelo governo mais especificamente pelo ministério do meio ambiente visam promover e difundir uma cultura educacional da importância da Responsabilidade Socioambiental para as empresas.

1.1.3-Pilar Econômico

O pilar econômico do desenvolvimento sustentável tem como seu principal objetivo, a busca pelo crescimento econômico compatível com a preservação do meio ambiente e o bem-estar social a longo prazo. Os principais princípios e bases do desenvolvimento econômico sustentável são: inovação tecnológica e limpa, uso responsável e eficiente dos recursos naturais, inclusão social e Resistencia econômica.

Inovação de Tecnologias limpas: O desenvolvimento de tecnologias limpas já é uma realidade em muitos setores industriais e sociais. A busca por maximizar a produtividade e desperdiçar a menor quantidade possível de recursos fez com que setores da indústria investissem cada vez mais em pesquisas para o desenvolvimento de Tecnologias que busquem maior produtividade e menor desperdício. Vale se destacar as inovações do setor energético que a cada dia inova na criação de novas fontes de energia sustentáveis.

Estratégias de inovação tecnológica concebidas dentro dos princípios do Desenvolvimento Sustentável e de tecnologias apropriadas (TA) poderá ser de importante peso na definição de tecnologias-chaves em que o país deva investir, tanto para a resolução dos seus problemas ambientais básicos, como para uma política de exportação de tecnologias, principalmente a países em desenvolvimento que contam com pouco capital para importar tecnologias caras de países industrializados. (Casagrande, 2003)

Uso responsável e eficiente dos recursos naturais: Os recursos naturais são todos os elementos extraídos da natureza, e são utilizados para suprir a necessidade humana. Dentro dos recursos naturais existem os recursos renováveis, são aqueles que podem ser utilizados por mais

de uma vez e se renovam constantemente como: a água, o solo, os ventos e o sol. E existem os recursos não renováveis, são aqueles que podem ser aproveitados uma única vez pois eles não se renovam ou demoram um longo período para se renovar como: petróleo, carvão mineral, gás natural e materiais radioativos. Promover o uso responsável destes recursos é fundamental para o equilíbrio e futuro da humanidade visto a finitude de muitos recursos, portanto neste cenário de escassez iniciativas de reciclagem e reutilizam de recursos também são formas de usar recursos naturais de forma eficiente.

Uma teoria muito importante para o desenvolvimento econômico sustentável é a curva ambiental de Kuznets. A curva ambiental de Kuznets cria uma relação gráfica entre renda e emissões de poluentes em uma curva em formato de U invertido. Ou seja, à medida que a renda chega a um patamar mais alto, as emissões tendem a ter trajetória decrescente, isto ocorre devido, pessoas com maior renda estão disposta a buscar melhor qualidade de vida, portanto buscam crescimento associado a um meio ambiente mais preservado.

O conceito de Curva Ambiental de Kuznets surgiu no começo da década de 1990 para descrever os impactos que o desenvolvimento econômico exerce sobre os níveis de emissões de poluentes, uma vez que estes estão intimamente relacionados com a produção de um país. O crescimento econômico em um país pobre vem acompanhado por emissões em níveis crescentes associadas ao crescimento da atividade produtiva. Devido à condição de pobreza do país, é dada uma prioridade menor sobre a qualidade ambiental, o que implica menos controle e poucas políticas ambientais sobre os níveis de emissões. (Ávila, Diniz, 2015)

Podemos concluir que o pilar econômico está ligado a como se desenvolver economicamente sem agredir o meio ambiente, tendo como base o desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitem o ganho de produtividade de forma sustentável, e o uso de recursos naturais de forma responsável, respeitando os limites da natureza e inovando sempre que necessário. Outra pauta importante é que o desenvolvimento econômico sustentável não pode ficar restrito apenas a países e empresas, mas deve ser distribuído para a sociedade, visto que, uma sociedade com um patamar de renda mais elevado tende a se preocupar mais com a qualidade de vida, levando a busca do crescimento associado a preservação do maio ambiente.

1.2 A energia fotovoltaica como base principal para a sustentabilidade

Para se alcançar o desenvolvimento sustentável é necessário se construir uma base produtiva que respeite o meio ambiente, para se iniciar a construção desta base é necessário a constituição de uma matriz elétrica limpa, visto que, a questão energética é a base das cadeias de produção, tendo relação direta com a qualidade de vida da sociedade.

A questão energética constitui um dos grandes desafios da atualidade, tendo em conta a finitude dos recursos naturais, impondo-se fortes preocupações ambientais, no sentido de se buscar fontes alternativas de energia que contribui para o meio ambiente e para o desenvolvimento social e econômico (COELHO, 2014).

Atualmente a demanda energética de abastecimento é cada vez maior, principalmente, quando falamos no aumento populacional e na ampla utilização dos recursos tecnológicos. Observando esse cenário, a necessidade de se investir em novas formas de energia e tecnologia torna-se cada vez mais indispensável, visto que a adoção da geração alternativa possibilite um baixo impacto ambiental e que apresente uma boa solução. Assim, ainda que as hidrelétricas sejam uma fonte limpa e renovável, a geração é influenciada pelo nível dos reservatórios e ocorrência de chuvas ao longo dos anos, tornando a geração dependente desse fator climático (GALDINO, 2016, P.14).

A matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes utilizados apenas para geração de energia elétrica. No Brasil esta matriz é formada em sua maioria por fontes renováveis como: Cinética, Eólica, Biomassa e Solar. As energias que são geradas de forma renováveis são consideradas sustentáveis, ou seja, são geradas de recursos que não acabam são exemplos: o sol, a força das águas e o vento. Também se destacam por terem impactos ambientais nulos pois não poluem e não agredem o meio ambiente. Dentre as opções de energias sustentáveis a que mais vem ganhando espaço é a solar.

De acordo com INPE (2017), a energia solar é uma fonte inesgotável, uma vez que a escala de tempo da vida no planeta Terra deve ser considerada. O sol é uma estrela média que irradia energia devido às reações de fusão nuclear dos átomos de Hidrogênios para formar Hélio e, por este motivo, o sol é uma das possibilidades energéticas mais vantajosas para a humanidade.

A origem da maioria das fontes de energia existentes vem desta estrela (o Sol) para a Terra, podendo ser citada a geração de hidroelétrica, que se dá por meio da evaporação, responsável pelo ciclo das águas e que possibilita, assim, o represamento de rios para a conseqüente geração. Já a energia eólica advém dos ventos, por meio da radiação solar que

induz a circulação atmosférica em larga escala. Assim, também, a energia da biomassa (lenha, carvão vegetal, álcool etc.) depende da radiação solar para o processo de fotossíntese, em que é diretamente absorvida e armazenada nas ligações químicas de moléculas orgânicas e que serve para sustentar toda a cadeia alimentar do planeta. (Alves, 2019)

A energia solar gerada a partir da radiação solar sobre a terra, uma energia renovável. É gerada a partir do aquecimento de placas fotovoltaicas convertendo a radiação solar em energia elétrica, também pode ser utilizada para aquecer água. Sua principal vantagem além de não emitir carbono é a acessibilidade, placas fotovoltaicas podem ser instaladas em vários locais como telhados de casas e fabricas e imóveis rurais, sua desvantagem são as condições meteorológicas desfavoráveis pois sem incidência solar não é possível a geração de energia solar. (GALDINO, 2016)

Dessa forma a Célula Fotovoltaica consiste em um dispositivo que tem por função transformar a radiação eletromagnética emitida pelo Sol em energia elétrica por meio do efeito fotovoltaico. O efeito fotoelétrico é o fenômeno físico que permite a conversão da luz em eletricidade. Esse fenômeno ocorre quando a luz, ou radiação eletromagnética do Sol, incide sobre uma célula composta por materiais semicondutores com propriedades específicas (VILLALVA, et al 2012).

Com relação a sua classificação os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos de acordo com a forma de distribuição da energia elétrica. Sendo assim, estes sistemas são classificados em dois grupos: Sistemas Isolados (off grid) e Sistemas Conectados à Rede (on grid). Esse último apresenta duas configurações distintas: os sistemas fotovoltaicos distribuídos e os sistemas fotovoltaicos centralizados (RUTHER et al, 2005, P.34).

Dentre as formas de aproveitamento da luz solar, a conversão fotovoltaica tem se difundido devido ao avanço tecnológico na fabricação dos equipamentos e pela versatilidade na construção de sistemas integrados em unidades consumidoras ou de usinas de produção em larga escala, podendo ser um dos elementos essenciais para o futuro do uso energético sustentável (PINHO; GALDINO, 2014).

No contexto de um país de grande dimensão territorial como o Brasil, é quase impossível universalizar uma única maneira de se produzir energia, visto que, as condições de clima, relevo e hidrografia mudam de forma significativa em cada região do país. Porém é possível em um país com grande extensão territorial e diferentes características geológicas em suas dimensões, se utilizar a energia obtida através do sol em uma porção dominante de seu território.

No Brasil, a energia elétrica gerada a partir da geração solar fotovoltaica pode ser uma das soluções para a demanda de energia, sendo que o país possui uma localização privilegiada,

o qual fornece uma grande incidência solar. Espera-se que nos próximos anos o Brasil apresente um grande acréscimo nesse tipo de geração e que no futuro possa configurar entre os países considerados como referência. (Rezende, 2019).

O Brasil é um dos países com maior potencial para geração de energia solar fotovoltaica, isso por que a maior parte de seu território é localizado próximo a linha do equador o que faz com que o tempo de incidência de luz solar não varie muito e a média anual pode variar entre 5 a 8 horas diárias (ANEEL, 2005).

O índice de radiação solar do Brasil é muito bom quando comparado à Europa por exemplo. A menor irradiação do país é verificada na região do litoral norte do Estado de Santa Catarina, sendo da ordem de 1500 kWh/m² de irradiação global anual na superfície horizontal. A maior irradiação é verificada no norte do Estado da Bahia sendo da ordem de 2350 kWh/m² de irradiação global horizontal anual. Com isso, a média diária de irradiação ao longo de um ano que incide em qualquer parte do território brasileiro irá variar de 4,1 a 6,5 kWh/m². Uma comparação interessante é com outros países que são lideranças na geração de energia através da fonte solar, por exemplo, a Alemanha, que possui uma incidência entre 900 a 1.250 kWh/m² ao ano, ou seja, entre 2,5 e 3,5 kWh/m² de média diária e a Espanha que varia de 1.200 a 1.950 kWh/m² ao ano, correspondendo a 3,28 e 5,3 kWh/m² de média diária. (SolarGis, 2015)

Embora o Brasil possua bons resultados no que concerne aos níveis de radiação solar, foi somente com a entrada em vigor da Resolução Normativa nº 482 de 2012 da ANEEL que os sistemas conectados à rede se tornaram realidade no país. Esses sistemas passaram a funcionar como compensadores de crédito, onde se sistematizou sobre a microgeração e minigeração alimentados por fontes renováveis de energia, conectados com sistemas de distribuição em baixa e média tensão (VILLALVA et al, 2012).

Visto a possibilidade da ampliação na utilização da energia fotovoltaica na matriz elétrica brasileira, pode ser citado suas vantagens com relação ao meio ambiente, economia e social.

1.2.1- Meio Ambiente

Vale evidenciar que a utilização da energia vinda do sol tem ganhado mais força, no que diz respeito à geração de energia elétrica de forma sustentável. A principal forma de utilização da energia solar para geração de energia elétrica é através dos sistemas fotovoltaicos. Esta importância se dá pelo fato de esses sistemas serem silenciosos, por não emitirem poluentes ao meio ambiente, além de não prejudicarem o ecossistema. Outra grande relevância em se utilizar os sistemas fotovoltaicos é a redução do custo de produção de energia e economia com a conta de luz, além de uma possível não dependência do fornecimento de energia elétrica pela

distribuidora de energia elétrica - sistema OFF-Grid; o consumidor também ganha em autonomia energética. (Alves, 2019)

Grandes vantagens de utilização deste tipo de energia são apresentadas pelo grau de poluição que é insignificante em termos químicos, térmicos e, inclusive, acústicos. Não possui partes móveis, não possui resíduos e sobras, economiza combustíveis e a vida média de cada aparelho corresponde a 30 anos. O sistema de energia solar usa uma fonte inesgotável; modularidade completa; alta confiabilidade; seu funcionamento é automático; manutenção limitada; possibilidade de utilizar superfícies marginais não utilizadas, coberturas e telhados de prédios... (Vieira, Santos, 2014, P.132)

Outra grande vantagem sustentável na produção da energia fotovoltaica, é que, não a danos ao ar, solo e água. Ao contrário de outras fontes de energia que necessitam da inundação de áreas para se criar barragens e o desvio de cursos de rio a energia fotovoltaica não causa danos aos cursos de água. Em termos de danos ao solo o impacto é nulo, pois em sua produção energética não há geração de resíduos. Na produção fotovoltaica não existe a queima de combustíveis fósseis ou de carvão mineral tornando a produção livre da emissão de gases poluentes como o dióxido de carbono (CO₂).

Ao contrário de outras fontes de energia os painéis fotovoltaicos são constituídos de materiais de alta durabilidade e recicláveis, cerca de 95% dos materiais utilizados em sua confecção podem ser reciclados após a vida útil do painel que é de cerca de 30 anos. Portanto após o esgotamento de sua vida útil o impacto ambiental com o descarte do painel solar é mínimo.

Além da contribuição de redução da utilização de recursos derivados do petróleo, a energia solar fotovoltaica também pode ser utilizada em sistemas de irrigação de culturas, de refrigeração de alimentos, vacinas e remédios, aquecimento e iluminação artificial, conforto térmico e iluminação natural em projetos de construção civil entre outros (MARTINS et al, 2004), logo fica claro a importância da energia solar fotovoltaica ser estudada e de ser ampliada nos diversos tipos de setores contribuindo com o meio ambiente e a economia do país (OLIVEIRA, 2017).

1.2.2-Economia

A geração distribuída no Brasil é incentivada ao consumidor através de vários benefícios que fazem com que este modelo de geração de energia tenha grande expansão no mercado brasileiro nos últimos anos (CBIE, 2019). Em 2015 a ANEEL projetava que em 2019 a geração distribuída alcançasse 500 MW de capacidade instalada, sendo que em outubro de 2019 atingiu-se a marca de 1,611 MW (CBIE, 2019). A previsão é que o Brasil atingirá 11 GW de capacidade instalada do micro e mini geração distribuída no ano de 2029, com 1,3 milhão de clientes em todo país (SERODIO, 2020).

Esse crescimento em sua utilização tem impacto positivo na economia, pois além da geração da energia também são gerados empregos com a fabricação, transporte, instalação e manutenção das placas solares. Além disso vale ser ressaltado a valorização dos imóveis que possuem placas fotovoltaicas, propriedades deste tipo dentem a ter maior valor de mercado e maior liquidez, visto que, a procura por estes tipos de imóveis tende a ser cada vez maior.

Quanto mais um país cresce industrialmente, urbanamente maior a necessidade energética e, muitas vezes, torna-se difícil suprir toda a demanda, o que pode ocasionar em um aumento do preço da energia elétrica, que por sua vez desencadeia uma crescente nos preços de todos os produtos e serviços que dependem da mesma, por isso as fontes de energia que tornam casas e empresas quase, independentes vem tornando-se cada vez mais comuns, com adesão especial às empresas que utilizam a energia fotovoltaica, pois com a atenuação do empecilho decorrente da transmutação dos preços energéticos as empresas podem manter seu preços mais estáveis e, assim, ficarem mais hábeis à competição no mercado (HENRIQUE, 2019,P.16).

Os impactos econômicos também podem ser vistos dentro das residências com a utilização dos sistemas on grid. Nas cidades, o uso mais comum é o sistema On Grid, conectado à rede elétrica; com este tipo de sistema pode obter-se uma redução de até 95% na conta de luz (PORTAL SOLAR, 2016), além de ser possível transformar o excedente energético em créditos, que tem validade de até 60 meses (MÓDULO DE ENERGIA, 2017) e transferi-lo a outro local. Assim é possível transferir a energia a outros locais ou para o próprio imóvel em lugares, dias ou épocas em que a produção de energia pelos painéis fotovoltaicos não é suficiente e se ainda assim a produção de energia não for suficiente a energia é adquirida da maneira convencional, pela rede elétrica comum.

A implantação da energia limpa e sustentável nos diversos setores, principalmente nas empresas, vem se tornando cada vez mais necessária e executável, visto que, atualmente a exigência, tanto por parte dos colaboradores, quanto por parte dos clientes, por este tipo de energia vem apenas aumentando e ainda, a mesma, foi eleita como a maneira mais barata de gerar eletricidade atualmente; diante deste cenário a energia solar vem com grande força, em

questão de aprovação, como sendo uma energia limpa, sustentável, que garante um futuro retorno econômico, enfim, cada vez mais viável. (SANTOS, CEZAR, 2021)

Outro ponto importante a ser destacado da utilização de painéis solares é a não dependência de empresas de energia. Em algumas regiões do país pessoas ficam dependentes de empresas de energia, onde algumas destas empresas prestam serviços ineficientes que podem resultar na falta de energia por longos períodos, e estão sujeitas a uma volatilidade de preços maior no fornecimento de energia elétrica. A introdução autônoma de painéis fotovoltaicos garante a segurança e independência energética a imóveis que podem ser afetados por uma eventual falha de empresas elétricas. Também é possível a instalação destes sistemas em regiões mais isoladas onde o acesso de energia através de uma rede elétrica é impossível, sendo assim este tipo de sistema pode possibilitar de forma sustentável o acesso à energia elétrica a famílias de regiões isoladas que não tem acesso a nenhuma rede elétrica.

1.2.3-Sociedade

Além de tornar os usuários dos sistemas fotovoltaicos mais independentes as oscilações de energia da rede e os possíveis aumentos de preço, os sistemas fotovoltaicos podem ser utilizados com outras finalidades, ao invés de gerar energia ele pode ser utilizado na forma de aquecimento, nestes tipos de sistema é possível aquecer fluidos como água com o objetivo de aquecer o imóvel, dando assim segurança térmica aos usuários.

O crescimento da utilização da energia fotovoltaica vem com que a demanda por mão de obra neste setor aumentasse, assim aumentando o número de postos de trabalho, neste setor a pesquisa, desenvolvimento e inovação são fundamentais o que requisita de mão de obra qualificada levando oportunidades a quem almeja entrar nesta área.

Neste tipo de empreendimento é importante, e tem sido praxe, buscar contratação de mão-de-obra local ou regional, possibilitando melhorias na qualidade de vida das comunidades próximas e em populações da região. Esta melhoria é tanto financeira/material quanto emocional. De acordo com a ABINEE184, estudos apontam para uma média de estabelecimento de 30 empregos (diretos e indiretos) por MW instalado, em todo o ciclo de vida de usinas fotovoltaicas. (GEOCONSULT, 2012)

O volume de trabalhadores empregados no empreendimento tende a movimentar as operações comerciais locais e regionais, justamente pelo aumento da renda e do poder de compra dos grupos familiares, gerando certo dinamismo no mercado local, devido a maior circulação de moeda. Há ainda uma série de operações comerciais derivadas das necessidades do próprio empreendimento. Com o crescimento do comércio, espera-se aumento de arrecadação tributária. (BARBOSA, et al, 2015)

Podemos concluir que o desenvolvimento econômico sustentável, só é possível tendo como base uma matriz elétrica limpa e renovável, podendo assim andar ao lado dos três pilares do desenvolvimento sustentável. Estabelecendo uma economia forte e com alto grau tecnológico, o desenvolvimento social levando melhores condições de trabalho e maior renda aos trabalhadores e garantindo um meio ambiente preservado sempre pensando nas gerações futuras.

No diálogo entre o ser humano e a natureza, é necessário que a humanidade esteja em conexão com o meio ambiente para que o trabalho humano possa ser entendido e executado. Sendo assim, para que a sociedade se torne altruísta, é essencial que sejam desenvolvidas atividades produtivas conscientes unindo as esferas humana e ambiental. (SCHMIED-KOWARZIK, 2019).

Capítulo II: Trajetória histórica do desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica

O objetivo deste capítulo é de fazer uma análise histórica do processo de desenvolvimento gradativo da Energia solar fotovoltaica, tendo como ponto de partida a descoberta da possibilidade de se aproveitar a energia proveniente do Sol e avançando até os dias atuais onde está energia e cada vez mais bem aproveitada. O outro objetivo é trazer a energia fotovoltaica no contexto nacional do Brasil.

O capítulo está dividido em duas partes, a primeira parte tem como objetivo trazer a trajetória histórica da energia solar fotovoltaica no contexto global, partindo da descoberta do efeito fotovoltaico caminhando sob uma gradativa evolução e finalizando nos tempos atuais com tecnologias modernas. A segunda parte do capítulo tem como objetivo analisar o contexto histórico da energia fotovoltaica no Brasil e seus diferentes usos no país.

2.1 Descoberta da energia solar e criação da produção fotovoltaica

Desde os primórdios da humanidade a descoberta é algo que acompanha a evolução do homem, a partir da busca pelo desconhecido é possível evoluir cada vez mais sendo este um processo gradativo e lento, porém necessário. Durante o início da jornada do homem na terra é notável que a criatividade humana e a busca por inovações aceleraram o desenvolvimento da humanidade partindo de simples descobertas como a roda que é primordial até nos dias de hoje sendo o círculo a forma geométrica mais importante do universo até `` Um pequeno passo para um homem, um salto gigante para a humanidade`` frase essa dita pelo astronauta norte americano Neil Armstrong ao pisar pela primeira vez em solo lunar no ano de 1969.

2.1.1 – Descoberta da energia emitida pelo sol

É notável que cada vez mais a humanidade busca novos caminhos e que o planeta terra ``ficou pequeno para o homem`` que busca cada vez mais novas fronteiras. Ao expandir suas fronteiras e observar o universo o ser humano pode descobrir seu passado por meio da física e astronomia foi possível descobrir nossa origem, não só como o planeta terra foi criado, mas sim todo o universo e evidenciar a perfeição de nosso planeta, para ser possível a vida é necessário uma série de fatores condições quase que perfeitas, podendo ser reduzidas em três elementos água, oxigênio e temperatura. A água que cobre aproximadamente 71% da terra, o oxigênio que compõe 21% e a temperatura que é proveniente do Sol estrela mais próxima da terra.

Desde a antiguidade, o Sol (do latim Solis) desperta curiosidade e admiração do ser humano. Na civilização egípcia o Sol era relacionado ao Deus Rá, nos nórdicos era Sigel e na grega era Hélio. A personificação desta estrela como uma entidade divina era devido ao fato da compreensão da importância que ela tinha para a vida na Terra, mas a incompreensão de como e porque ele estava ali, resultava em explicações livres de contestação científicas. (SOARES, 2012)

A terra faz parte de um sistema de planetas chamado sistema solar, por muito tempo se acreditou que a terra fosse o centro do universo e que todos os planetas incluindo a estrela sol girassem em torno da terra chamada teoria geocêntrica. Somente no século XVI que o modelo conhecido como heliocentrismo onde a terra gira em torno do sol, foi sistematizado por Nicolau Copérnico e posteriormente defendido por Galileu Galilei.

Com o passar dos anos a importância pelo estudo do sol aumentou, tendo como hipótese principal de sua origem, um colapso de uma nuvem de gases interestelar dando origem ao sol e demais planetas, essa hipótese foi baseada pelo matemático Pierre Simon Laplace em 1796. Mas foi em 1929 que se descobriu que o hidrogênio era o principal componente da atmosfera solar. Sendo assim o sol é considerado uma estrela constituída de gás incandescente que em sua grande maioria são Hélio e Hidrogênio.

A grande questão é que sem o sol não é possível a vida na terra. A energia emitida pelo sol é tão grande que mesmo a 150 milhões de quilômetros da terra (número esse que pode ser simplificado por 1 unidade astronômica) seus raios podem garantir a vida na terra, sendo que, eles levam cerca de 8 minutos e 18 segundos para chegar, o que levanta uma questão muito interessante onde podemos afirmar que vivemos nosso presente graças a energia do passado.

2.1.2 – A conquista do Sol: Uma breve história sobre a origem e desenvolvimento da energia Fotovoltaica.

O desenvolvimento da humanidade sempre teve relação com a capacidade do homem de captar e utilizar da melhor forma possível os recursos que necessitava. Como exemplo disso, sua capacidade de dominar o fogo e domesticar animais selvagens foi essencial para a transição de sua existência nômade, estabelecendo assim as sociedades. A energia foi utilizada durante muito tempo para cozinhar, aquecer e criar materiais. O aspecto que define a riqueza das civilizações tem relação com sua capacidade de acesso, controle e captação da energia que tinha disponível (FAPESP, 2007).

Com o passar dos anos o ser humano passou a otimizar e aproveitar da melhor maneira possível a energia (em forma de calor) vinda do sol. A humanidade está ligada à energia solar desde muitos séculos, quando se utilizava o sol para secar peles e alimentos, achados históricos de arqueólogos comprovam que, já no século VII antes de Cristo se utilizavam simples lentes de vidro para concentrar a luz solar e desta forma queimar pequenos pedaços de madeira e assim se obter fogo (SOUZA, 2005).

Após muitos anos de gradativa evolução o desenvolvimento e busca pelo conhecimento fez com que o homem pudesse canalizar esta energia proveniente da radiação solar, podendo a transformar esta energia térmica em elétrica.

A radiação solar disponível à superfície da Terra divide-se em direta, difusa e refletida. A primeira atinge diretamente a superfície, não sendo refletida por nuvens ou qualquer outro objeto. A segunda, é proveniente da radiação refratada nas nuvens e poeiras em suspensão. Por último a radiação refletida é aquela que resulta da reflexão da radiação em edifícios e objetos circundantes à superfície onde incide a radiação. (CARVALHUÇO,2017, P 24)

Foi no ano de 1839 que o físico francês Alexandre Edmond Becquerel descobriu a possibilidade de que alguns materiais ao serem atingidos pela radiação solar terem a capacidade de produzir energia, ``o experimento consistia em dois eletrodos imersos em uma solução ácida que quando era exposta a iluminação ocorria geração de eletricidade, e depois de diversas análises Alexandre concluiu que a era devida à luz que incidia na célula``(DAMIANI,2023). Sendo este o princípio fundamental para a produção da energia fotovoltaica.

No entanto, já naquela época ainda era vista com uma tecnologia para o futuro e devido aos seus altos custos ainda era utilizado apenas por cientistas, havendo muito ceticismo com relação à possibilidade de que esta matriz energética pudesse um dia ser disponibilizada para a sociedade. (SOUZA, OLIVEIRA, 2019)

Em 1883 foi criada pelo cientista norte americano Charles Fritts a primeira célula fotovoltaica, para a constituição desta célula foram utilizados selênio revestido em ouro onde era possível a conversão de apenas 0,5% da radiação absorvida o que é pouco comparado as células construídas na atualidade, porém foi o ponto de partida para que novos estudos fossem realizados.

Foi no século passado que grandes contribuições foram feitas para o avanço nas pesquisas fossem possíveis, Albert Einstein foi um dos colaboradores, com sua teoria do efeito fotoelétrico teoria esta que lhe rendeu um prêmio Nobel.

Einstein mostrou que a expressão para dependência volumétrica da entropia da radiação, dentro dos limites de uma determinada frequência, tem forma similar à entropia de um gás ideal, concluindo então que a radiação monocromática de baixa densidade se comporta, termodinamicamente, como sendo constituída de quantum de energia de magnitude (BARROS, SOARES,2016)

A partir da contribuição de Einstein o engenheiro norte americano Russell Ohl no ano de 1954, desenvolveu a primeira célula solar a base de silício, no mesmo ano o químico Calvin Fuller criou a dopagem do silício processo que é constituído a partir da mistura de uma pequena quantidade de impureza (neste processo a impureza por ser constituída por dois elementos fósforo ou arsênico) a um cristal de silício. A combinação do uso de silício após o processo de dopagem a uma célula solar foi capaz de alimentar um aparelho eletrônico por muitas horas, sendo que esta célula apresentava uma eficiência de apenas 4%.

Inicialmente o desenvolvimento da energia fotovoltaica era feito para o uso das empresas de telecomunicação que precisavam de fonte de geração para seus equipamentos que eram instalados em locais distantes. Outra indústria que contribuiu para o avanço dessa tecnologia foi a aeroespacial devido à corrida espacial, pois consideravam que a energia fotovoltaica o melhor método de fornecimento de energia para os equipamentos que estavam no espaço (PINHO e GALDINO, 2014, P 52)

No ano de 1973 devido à crise do petróleo, onde países árabes exportadores de petróleo proclamaram um embargo petrolífero as nações que apoiassem Israel durante a guerra do Yom Kippur, afetando diretamente os Estados Unidos, com isso o preço do petróleo subiu de 3 dólares o barril para 12 dólares no mundo inteiro. Foi então que se notou uma necessidade de se buscar novas fontes de energia.

Aumentou-se a busca pela energia solar fotovoltaica como alternativa para alimentação dos equipamentos terrestres. Porém, o custo para a implementação ainda era muito elevado, além disso, as células ainda não possuíam uma boa eficiência energética (PINHO; GALDINO, 2014).

Alguns anos depois em 1979 o engenheiro aeronáutico norte americano Paul MacCready desenvolveu a primeira aeronave movida a energia fotovoltaica que recebeu o nome de Gossamer Penguin e possuía sobre suas asas duas células solares capazes de gerar 541 watts que eram suficientes para o funcionamento do único motor da aeronave, mesmo sendo apenas um protótipo com capacidade limitada apenas para uma única pessoa (o piloto), sucesso em poder voar poucos quilômetros alimentava ainda mais a possibilidade do desenvolvimento das células fotovoltaicas.

No início dos anos 90 muitos avanços científicos colaboraram para maior eficácia dos sistemas fotovoltaicos. Novos estudos aprimoraram os semicondutores, que são fundamentais para as células fotovoltaicas, o que elevou a eficiência das células agora se utilizando silício monocristalino a eficiência subiu para 24,7% um aumento significativo, visto que as células anteriores tinham uma eficiência de apenas 4%. Porém o custo de produção ainda era muito alto devido à grande complexidade de se produzir o silício monocristalino.

Em 1998 a produção de energia aumentou, atingindo a produção de 150 mWp por célula, a nova célula tinha o silício como material principal de sua produção, além disso começou um forte interesse da China em produzir as células fotovoltaica (PINHO; GALDINO, 2014).

No ano seguinte com a entrada da China no mercado a produção da energia fotovoltaica atingiu seu primeiro GWH (Giga Whatt Hora), o que abriu o ainda mais o caminho para o crescimento da produção e em apenas três anos está quantidade foi dobrada chegando a 2 GWH no ano de 2002. Ao mesmo tempo as pesquisas para o desenvolvimento de semicondutores foram sendo aceleradas, com o objetivo de aumentar a eficiência e diminuir os custos.

Silício monocristalino não é o único material a ser utilizado em células fotovoltaicas. Em uma tentativa de diminuir custos de produção, visto que produzir silício monocristalino é um processo de alto custo, silício policristalino também é utilizado, apesar das células resultantes não apresentarem eficiências tão boas quanto as de silício monocristalino. Silício amorfo (sem estrutura cristalina organizada) também é uma outra opção, novamente na tentativa de baixar custos. (ALDOUS, 2000).

Nos anos seguintes da década as pesquisas para o desenvolvimento de novas células fotovoltaicas continuaram fortes. Foram introduzidas as células chamadas da terceira geração. O principal objetivo destas novas células foi, de melhorar a eficiência tecnológica e a eficiência de potencial fotovoltaico. Além disso surge uma nova proposta na construção destas células,

que é a utilização de materiais de maior abundância no planeta terra podendo assim ter a construção em maior escala e menor custo.

Dentro da terceira geração de células fotovoltaicas, foram criadas células em muitos materiais diferentes sendo as principais células: Orgânicas, Pontos quânticos, sensibilizadas por corante e multijunção.

As células orgânicas usam, ao invés de junções p-n, pigmentos orgânicos como doadores e receptores de elétrons e lacunas. A sua eficiência é calculada entre 7 e 8%. A principal vantagem da utilização destas células é o fato de utilizarem materiais economicamente atrativos e a principal desvantagem é a necessidade de uma área maior de espaço físico para atingir níveis de potência de saída aceitáveis. (CORREIA, 2018)

Já as células de pontos quânticos, usam suas propriedades físicas para controlar a quantidade de energia necessária para que um elétron efetue uma transição, passando para a banda de condução este fenômeno é chamado gap de energia que vem do inglês ``Band Gap''. A sua eficiência máxima atingida através deste efeito foi de 13,4%

As células sensibilizadas por corantes (Dye Sensitized solar cells), também chamadas de células de Gratzel, pertencem ao grupo das células de filmes finos e têm como principal vantagem, o baixo custo de produção. Estas células são compostas por um eletrodo de dióxido de titânio (TiO₂), com corante, obtido a partir de um complexo metálico de rutênio (Ru) ou ósmio (Os), sobre um vidro coberto por óxido de estanho (SnO₂), dopado com flúor (F), um eletrólito e um eletrodo de platina (Pt). (CORREIA, 2018)

Porém estas células de sensibilidade por corantes apresentam grande dificuldade de manter o eletrólito isolado do ar, o que dificulta sua comercialização e desenvolvimento, mesmo ela sendo uma das opções de mais baixo custo no mercado de células fotovoltaicas.

As células de multijunção foram as de maior sucesso desta geração, seu grande diferencial foi na utilização de elementos dos grupos três e cinco da tabela periódica e a utilização de concentradores óticos que levaram a eficiência destas células fotovoltaicas para valores superiores a 34%.

Descendente desta terceira geração foi criada a partir da evolução de células desta geração, a célula denominada célula solar de tripla junção, está por sua vez além de ser usada

de maneira normal no planeta terra, pode ser operada acima da atmosfera terrestre como por exemplo em satélites artificiais, sendo usada para fornecer energia a partir do sol aos mesmos.

Aproveitamento melhor do espectro da radiação solar é possível, utilizando um dispositivo que tenha várias janelas espectrais que absorvem partes seletivas da radiação solar. Uma célula solar de multijunção corresponde a esta nova tecnologia onde cada janela é uma junção semicondutora. Atualmente células solares de tripla junção alcançam eficiências de conversão de 30% no espectro AM0, que é o espectro solar encontrado acima da atmosfera terrestre. Este dispositivo apresenta um grande potencial tecnológico e, através da escolha de ligas semicondutoras adequadas, a eficiência de conversão solar poderá em breve alcançar valores superiores a 40%. (VEISSID et al, 2018)

A partir do sucesso da terceira geração de células fotovoltaicas, a energia solar passou a ser mais usada em países como Estados Unidos e China, na década seguinte os módulos a base de células de silício dominavam cerca de 87% do mercado solar, sendo que, se expandia as buscas e pesquisas pelos módulos chamados de filme fino.

Os painéis solares de filme fino são mais baratos, se utilizam de semicondutores e são construídos a partir de um substrato podendo ser este plástico, vidro ou metal. A sua principal vantagem em relação aos painéis tradicionais são seu custo de fabricação, sua flexibilidade e acima de tudo sua eficiência em dias pouco luminosos. Porém em condições normais de luminosidade sua eficiência é bem menor comparada aos módulos tradicionais outro fato que também pesa contra seu uso é a menor durabilidade em relação aos outros.

Aproximadamente 12% da produção mundial corresponde a dispositivos fotovoltaicos de filmes finos. A alta absorção óptica destes materiais, se comparado com o c-Si, permite fabricar células fotovoltaicas bastante finas, nas quais camadas de poucos micrometros de diferentes materiais semicondutores são depositadas sucessivamente, por técnicas de produção em larga escala sobre superfícies rígidas ou flexíveis. Desta maneira, o consumo de energia e de materiais semicondutores para produção das células é reduzido, em menores custos. (PINHO e GALDINO, 2014, P.113-114)

A partir da década passada é possível observar uma grande demanda por energia fotovoltaica. Com o aumento do consumo de energia no mundo inteiro e o encarecimento de fontes de energia não renováveis como o petróleo, além dos crescentes debates sobre a questão do meio ambiente e aquecimento global. A saída para se produzir energia limpa e de fontes inesgotáveis, elevou consideravelmente a produção global de energia fotovoltaica.

Em países mais desenvolvidos é possível observar um crescimento mais consistente da energia fotovoltaica, com a produção e instalação de painéis solares tendo crescimentos significativos ano após ano.

A china é o maior mercado fotovoltaico do mundo e devera novamente liderar a expansão de energia solar em 2020. Enquanto isso nos EUA a energia solar deve crescer em torno dos 20% e consolidar o segundo maior mercado do mundo. Entre os estados americanos de destaque estão Califórnia, Texas, Flórida, Carolina do Norte e Nova York. Enquanto na Europa as instalações fotovoltaicas deverão crescer mais de 24 GW este ano, 5% a mais que em 2019. Novos mercados irão surgir na América Latina, Oriente Médio e Sudeste asiático nesta década. (SEGUNDO et al, 2021)

Os países da América Latina, mesmo não utilizando tanto a energia fotovoltaica, comparado a países mais desenvolvidos, apresenta um grande potencial para a utilização desta fonte de energia, devido à grande incidência solar nesta região, com destaque para países com território no paralelo do equador. A tendência é de crescimento no mercado de energia solar nestes países, porém este crescimento é bem menor comparado aos países mais desenvolvidos.

2.2 – Introdução da energia fotovoltaica no Brasil

O Brasil é um país de grandes porções territoriais, sendo o quinto maior país do mundo em território, dentro de seu território é possível observar grandes diferenças em relação ao clima, relevo, hidrografia e temperatura. Devido a estes fatores é possível em um país como o Brasil, se obter uma matriz energética altamente diversificada.

Historicamente o Brasil se utilizou de seus vastos rios para a geração de energia hidráulica por meio de suas usinas hidrelétricas, sendo a mais importante a usina de Itaipu localizada nas Cataratas do Iguaçu, sendo esta responsável pela geração de energia a uma boa parte do Brasil e ao país vizinho Paraguai, visto que, esta usina é binacional foram construídas por ambos os países.

Outra fonte que é muito utilizada no Brasil é a energia proveniente da queima de combustível fóssil, por mais que seja uma energia cara, poluente e finita, ela continua sendo fundamental para o Brasil e para o mundo. Em tempos em que as condições climáticas não favorecem as outras fontes de energia como secas prolongadas, as usinas termoeletricas podem ser ligadas assim podendo suprir a necessidade por energia elétrica.

O Brasil também utiliza como fonte de energia não renovável a energia nuclear, atualmente existem duas usinas deste tipo de energia no Brasil, ambas localizadas na cidade de Angra dos Reis no Rio de Janeiro. E uma fonte de cara implementação, a tecnologia utilizada para a produção é extremamente cara, além de seu combustível, que são materiais radioativos que passam por um processo de enriquecimento, sendo o Brasil um dos poucos países no mundo que realizam este processo, serem extremamente tóxicos e necessitam um descarte especial para não degradar o meio ambiente.

Outras modalidades energéticas que se destacam são a eólica, que a partir dos ventos pode gerar energia em regiões onde a incidência das rajadas de vento é mais constante durante o ano, se destacando a região nordeste do país. E a Biomassa que utiliza o que seria descartado e perdido para a geração de energia, neste caso é comum que se utilize o bagaço da cana de açúcar (esse que antes da criação deste tipo de energia era descartado nos rios).

Por fim a energia solar fotovoltaica o foco deste estudo, ao se observar tamanhas as possibilidades e diversidade em nossa matriz elétrica, a energia solar fotovoltaica vem para somar. O grande diferencial desta está em seu acesso, a possibilidade de se instalar este tipo de energia em casas e prédios vem revolucionando a distribuição de energia pelo país. Locais isolados sem acesso a rede elétrica, podem obter a independência energética a partir da instalação de células fotovoltaicas ligados a um sistema fora da rede elétrica (off grid).

2.2.1 – Trajetória da energia solar fotovoltaica no Brasil

Comparado a outros países da América Latina e mundo o Brasil iniciou as pesquisas acerca da energia fotovoltaica relativamente cedo, devido à alta taxa de incidência solar sobre território nacional se observou logo cedo a possibilidade de aproveitamento deste tipo de energia.

Diariamente incide sobre a superfície da terra mais energia vinda do sol do que a demanda total de todos os habitantes de nosso planeta em todo um ano. Dentre as diversas aplicações da energia solar, a geração direta de eletricidade através do efeito fotovoltaico se apresenta como uma das mais significativas formas de gerar potência elétrica. (RÜTHER, 2004, p. 08).

Os primeiros estudos sobre módulos fotovoltaicos no Brasil se iniciaram nos anos 50 no Instituto Nacional de Tecnologia e no Centro Tecnológico da Aeronáutica, porém, a primeira

célula desenvolvida no Brasil foi criada na Universidade de São Paulo (USP), sendo esta, desenvolvida a base de silício cristalino.

Nos anos 70 durante a crise do petróleo o Brasil seguiu o mesmo caminho dos países afetados pela crise e passou a desenvolver novas células fotovoltaicas. No Instituto Militar de Engenharia (IME) a partir de colaborações internacionais foram desenvolvidas tecnologias de células de filme fino, na época com eficiência de 5%.

Nesta mesma década duas empresas que produziam células de silício cristalino se estabeleceram no Brasil, porém por falta de incentivo, ambas tiveram de direcionar suas pesquisas para outras áreas. Mas no início dos anos 80 a empresa Heliodinâmica iniciou suas operações com o objetivo de ingressar na produção de células fotovoltaicas.

Inicialmente, esta empresa fabricava coletores solares planos para aquecimento de água de uso residencial e industrial. Em 1982, a Heliodinâmica começou a produzir tarugos cilíndricos e lâmina de silício monocristalino, de 5 polegadas de diâmetro. Em 1985, tinha uma capacidade instalada de produção de módulos fotovoltaicos de 1 Mega Watt por ano, escala de produção típica de fabricas instaladas no exterior e um capital de 10 milhões de dólares, empregando 100 pessoas. Além de fabricar células e módulos fotovoltaicos a Heliodinâmica desenvolveu componentes para sistemas de eletrificação rural, como por exemplo, motores de corrente contínua para sistemas de bombeamento de água superficiais e profundas, sistemas de telecomunicações e cercas elétricas. (BRAGA,2008, P. 9)

Entre os anos 80 e 90 o foco dos estudos foi na área de tecnologias voltadas para a purificação do silício para uso em células fotovoltaicas. Também no início dos anos 90 foram utilizadas células fotovoltaicas fabricadas no Brasil para serem testadas no primeiro satélite brasileiro o SCD-1 (Satélite de Coleta de Dados 1), sendo estas células de Tripla Junção.

Porém nesta década os avanços do Brasil no desenvolvimento fotovoltaico foram bem menores quando comparado a países europeus, devido ao baixo incentivo e as crises econômicas que abalaram o país durante esta década. Mesmo assim se obtiveram pesquisas importantes possibilitando o desenvolvimento de silício amorfo hidrogenado em muitos laboratórios no país.

2.2.2 – Avanços no Século XXI

No início do século XXI, com o avanço industrial na fabricação de células e módulos fotovoltaicos, pode observado principalmente na China, e no aumento de instalações de sistemas fotovoltaicos interligados a rede elétrica, o Brasil não conseguiu acompanhar a evolução que estava ocorrendo ao redor do mundo. Em 2001, entretanto, uma iniciativa do Governo Federal, caracterizada pela criação do Fundo Setorial de Energia (CT – ENERG), resultou no crescimento das atividades de pesquisa e desenvolvimento em energia solar fotovoltaica e na formação de grupos de pesquisa e programas de pós-graduação em universidades brasileiras. (PINHO, GALDINO, 2014).

O incentivo a pesquisas foi fundamental para estudos que viabilizaram a instalação de sistemas fotovoltaicos autônomos fora de rede (off grid), em comunidades e regiões onde era impossível a chegada da rede elétrica, o que levou o governo federal a criar um programa para levar energia elétrica a estas pessoas.

Sistemas fotovoltaicos autônomos são muito importantes na eletrificação de propriedades rurais, comunidades isoladas, bombeamento de água e sistemas de telecomunicações, por exemplo. Inúmeras residências brasileiras foram eletrificadas com sistemas fotovoltaicos autônomos pelo programa Luz Para Todos, criado pelo Governo Federal em 2003. (GAZOLI, et al, 2016)

Após estes dois marcos que incentivaram pesquisas e demonstraram resultados de como a energia solar fotovoltaica pode incentivar a produção acadêmica e tecnologia além de melhorar o bem-estar de populações menos favorecidas. Em 2004 foi criado na cidade de Porto Alegre o Centro Brasileiro Para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica (CB-Solar), visando uma cooperação científica entre entidades dos governos Federal, Estadual e Municipal, em conjunto com a Companhia Estadual de Energia elétrica e a Pontifícia Universidade Católica Do Rio Grande do Sul (PUC-RS).

Duas ações importantes do CB-Solar devem ser destacadas: A promoção do I e II Simpósio Nacional de Energia Solar Fotovoltaica (SNESF), realizados, respectivamente, em 2004 e 2005 em parceria com o Cresesb, universidades, centros de pesquisas, órgãos governamentais e empresas. E o desenvolvimento de tecnologias em escala piloto para fabricação de células fotovoltaicas de silício cristalino e de módulos fotovoltaicos, incluindo uma análise técnico-econômica da sua produção em escala industrial. (PINHO E GALDINO, 2014, P. 63)

Em 2009 outro passo importante foi dado com a publicação da Lei número 12.111: A lei nº 12.111 dispõe sobre os serviços de energia elétrica nos Sistemas Isolados. No custo total de geração de energia elétrica nos sistemas solar fotovoltaicos isolados, deverão ser incluídos os custos relativos à prestação do serviço de energia elétrica em regiões isoladas e remotas, caracterizadas por grande dispersão de consumidores e ausência de economia de escala. Deverão ser previstos mecanismos que induzam à eficiência econômica e energética, à valorização do meio ambiente e à utilização de recursos energéticos locais, visando a atingir a sustentabilidade econômica na geração de energia elétrica nos sistemas isolados. (PENHA 2019).

Ou seja, o estado passou a subsidiar o custo de instalação e manutenção de qualquer sistema elétrico, com isso o acesso a sistemas fotovoltaicos pode ser universalizado o que gerou um aumento na utilização de módulos.

2.2.3 – Aceleração do crescimento Fotovoltaico

No ano de 2012 a Agência Nacional De Energia Elétrica (ANEEL) por meio da resolução número 482, esta resolução consistia em um marco regulatório, este marco beneficiou os usuários de sistemas fotovoltaicos residenciais ligados a rede (On grid), foi obrigado que as concessionárias de energia aceitassem a entrada de sistemas particulares de geração fotovoltaica em suas redes. Assim qualquer cidadão brasileiro pode ter sua própria usina fotovoltaica seja está para consumo próprio ou transferência para rede em troca de créditos de energia, assim a energia produzida que não é utilizada não é desperdiçada podendo ser usada de outra maneira, visto que, ela é transferida dela rede.

Além da publicação da resolução nº 482 da Aneel, outro importante passo para a inserção da energia solar fotovoltaica em nossa matriz energética foi o projeto estratégico “Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”, lançado pela Aneel em 2011 em conjunto com empresas concessionárias de energia elétrica de todo o país. O projeto teve o objetivo de promover a criação e implementação de pequenas usinas experimentais de energia fotovoltaica interligadas ao sistema elétrico nacional, que deverão somar quase 25 MW de capacidade instalada de geração. (GAZOLI, et al ,2016).

Foi também no ano de 2011 que foi instalada a primeira usina fotovoltaica no Brasil, o parque solar de Tauá está localizado no município de Tauá no estado do Ceara é considerada a

primeira usina de energia solar comercial do Brasil e da América Latina, tem capacidade de geração de 1 Mega Watt contando com cerca de 4680 painéis fotovoltaicos em uma área de 12 mil metros quadrados.

No ano de 2014 foi realizado o leilão nacional de energia de reserva, e foram concedidas condições especiais para produção de energia limpa o que beneficiou a produção fotovoltaica, dentre estas condições podem ser citadas, o financiamento pelo Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES) com baixas taxas de juros e amortização de até 20 anos, o que apoio a produção dos equipamentos fotovoltaicos no Brasil.

No mesmo ano a Caixa Econômica Federal liberou condições especiais a pessoas físicas para a aquisição de células fotovoltaicas com o objetivo da microgeração de energia, as condições de financiamento também eram favoráveis podendo serem pagos em até 240 parcelas mensais a uma taxa de juros baixa.

Mas foi no ano de 2016 que ocorreu um grande crescimento na geração de energia solar fotovoltaica, neste ano o Brasil assinou no acordo de Paris. Com as negociações em Paris, destacou-se a necessidade de se rever a dependência da atividade produtiva mundial dos combustíveis fósseis, principal causador dos danos ao meio ambiente, ressaltando a promoção de investimentos expressivos em fontes energéticas sustentáveis. (NUNES,2022). Isso beneficiou não só a energia fotovoltaica, mas também outras fontes sustentáveis. A capacidade instalada de energia fotovoltaica no Brasil era de 93 megawatt no ano de 2016 e passou para 1127 megawatt no ano de 2017 aumentando gradativamente nos anos seguintes, chegando em 2020 com uma capacidade instalada de 7979 megawatt.

O Brasil avança nesse setor de energia com a preocupação de estar presente no compromisso assumido no Acordo de Paris em diminuir a emissão de gases de efeito estufa. O país fez uso de instrumentos importantes de promoção da demanda para mobilizar a implantação da energia solar, seja por meio da geração distribuída ou centralizada. Para que os leilões públicos da venda de energia sejam efetivamente consolidados, é importante o suporte do BNDES, apoiando a iniciativa no setor energético (BRASIL –BNDES, 2020).

O primeiro projeto financiado pelo BNDES foi o complexo solar de Pirapora localizado no município de Pirapora no estado de Minas Gerais, é composto por 11 usinas em uma área

de 1500 hectares com capacidade instalada de 321 megawatt que é suficiente para fornecer energia para 420.000 casas, sendo está a maior usina solar da América Latina.

O investimento para implementação do projeto da usina ficou sob a responsabilidade da empresa de origem francesa EDF Energies Nouvelles, com 80% do total investido para implantação do parque. Os 20% restantes, foi incorporado pela Canadian Solar, líder em fabricação de painéis solares. (BRASIL –BNDES, 2020).

Mesmo no ano de 2020 onde ocorreu a pandemia mundial por conto do vírus Covid – 19 afetando a economia brasileira e mundial, os números de instalações e geração de energia fotovoltaica continuaram subindo no brasil com o brasil saltando para a 16 colocação entre os países que mais produzem energia fotovoltaica.

Dados publicados no ano de 2024 pela Absolar (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica) indicam que no ano de 2023 o Brasil passou a ser o sexto país no mundo que mais produz energia solar fotovoltaica com uma produção de 37 gigawatts de energia sendo esta capacidade suficiente para fornecer energia elétrica para cerca de 16 milhões de residências.

Sendo que a expectativa para o ano de 2024 é que o Brasil suba mais duas posições, entre o final do ano de 2023 e o primeiro semestre do ano de 2024 foram instalados a capacidade nacional de energia mais 11,9 gigawatts.

2.2.4 – Outras utilidades da energia fotovoltaica no Brasil

Além de gerar energia elétrica os sistemas fotovoltaicos possuem outras utilidades, em regiões do brasil onde o acesso a água é restrito, devido à ausência de companhias de encanamento e tratamento de água, sistemas fotovoltaicos são utilizados para o bombeamento de água do subsolo. Outro uso importante é no aquecimento de água por meio de um sistema de um encanamento que passa por dentro do sistema fotovoltaico gerando água aquecida.

O bombeamento de água por meio de sistema fotovoltaicos é muito importante em algumas regiões pois além de água para consumo, ele fornece água para outras atividades. O bombeamento da água encontrada é uma solução que racionaliza seu uso nas atividades domésticas, na criação de animais e nos sistemas de irrigação de áreas cultivadas. Viabilizar alternativas energéticas locais, renováveis e não-poluentes é a meta perseguida para essas regiões que geralmente estão distantes das redes públicas de energia elétrica. Utilizar a energia solar fotovoltaica é a alternativa agora proposta. (MOREIRA, 2009, P. 29)

Em pequenas propriedades de agricultura familiar é muito importante este tipo de tecnologia, muitas destas propriedades estão localizadas em regiões onde não a atendimento de concessionárias de energia e água sendo necessário a utilização de sistemas autônomos para a subsistência.

Muitas propriedades e comunidades rurais no Brasil, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, não são atendidas com energia elétrica, pois estão em regiões isoladas distantes das centrais de geração e de distribuição de eletricidade. Nesses casos, a energização em sua forma convencional de rede elétrica, se torna inviável pela grande dispersão geográfica dessa população, baixo nível de consumo, alto investimento necessário por consumidor e elevado custo operacional. Estudos comparativos com a eletrificação urbana apontam baixo retorno ou até mesmo prejuízo financeiro para a concessionária de energia elétrica (FEDRIZZI, 2003).

O sistema de bombeamento fotovoltaico funciona através de uma motobomba elétrica que é acionada a partir de um sistema fotovoltaico e retira a água de um rio ou de um lençol subterrâneo, essa água é levada a um reservatório onde pode ser usada conforme a necessidade.

“um sistema fotovoltaico de bombeamento diretamente acoplado é constituído de três componentes principais: um conjunto fotovoltaico, um motor de corrente contínua e uma bomba-d’água. O painel fotovoltaico converte energia solar em corrente elétrica que alimenta o motor, o qual é acoplado à bomba d’água. Quando o painel supre o motor com potência elétrica suficiente, ele produz torque mecânico e a bomba começa a trabalhar” (KOLLING, et al 2004, P.529)

O uso de sistemas solar com o objetivo de aquecer água é chamando de energia solar térmica, A energia solar térmica consiste na absorção da radiação solar incidente e sua transformação em energia térmica por meio de superfícies projetadas para este fim, permitindo seu uso como fonte de aquecimento de fluidos como a água (SANTOS, 2018). Os sistemas de aquecimento solar de água são basicamente constituídos por coletores solares, reservatório térmico, fonte auxiliar de energia, sistemas de controle e rede de distribuição de água aquecida (LAMBERTS et al., 2010).

Podemos concluir que o uso da energia fotovoltaica representa uma necessidade em muitas regiões do Brasil. E que além de levar energia, que pode ser considerada uma necessidade básica no século 21, pode contribuir a pessoas mais vulneráveis ao garantir o abastecimento de água, para consumo e subsistência, podendo também proporcionar conforto térmico nessas regiões mais vulneráveis.

Capítulo III – Análise dos Efeitos da Produção de Energia Solar Fotovoltaica

O objetivo do capítulo é analisar os efeitos da produção energética fotovoltaica sobre os três pilares do desenvolvimento sustentável e introduzir os principais desafios da produção energética fotovoltaica.

O capítulo está dividido em cinco partes, a primeira parte tem o objetivo de introduzir as questões a serem analisadas e sua relação com o desenvolvimento sustentável. A segunda parte tem como objetivo fazer uma análise dos efeitos sustentáveis da energia solar fotovoltaica, a terceira parte tem como objetivo fazer uma análise dos efeitos econômicos da energia solar fotovoltaica, a quarta parte tem como objetivo analisar os efeitos sociais da energia solar fotovoltaica, por fim a quinta parte tem como objetivo evidenciar os desafios da produção de energia solar fotovoltaica com as mudanças climáticas atuais.

3.1 – Três Pilares e um Desafio

A incidência solar sob o planeta terra proporcionou a humanidade, após anos de estudos e gradativa evolução, o aproveitamento desta luz para a conversão fotovoltaica, gerando energia limpa e infinita usada em prol da humanidade, podendo esta energia ser usada em casas e edifícios ou até mesmo em laboratórios de pesquisas e indústrias.

A produção de energia fotovoltaica não apresenta somente impactos na produção de energia, outras áreas da sociedade também são impactadas de maneira positiva com o ganho da produção de energia fotovoltaica.

Estes impactos podem ser observados em três setores muito importantes, sendo eles impactos ambientais, econômicos e sociais, sendo esses os três pilares do desenvolvimento sustentável o que demonstra a grande ligação entre a produção fotovoltaica com o desenvolvimento sustentável. Evidentemente que para se conciliar isso existem muitos desafios.

Uma das questões fundamentais para o desenvolvimento sustentável está na inovação e desenvolvimento de tecnologias de conversão e aproveitamento de recursos energéticos naturais. A necessidade de energia para o desenvolvimento de um país é inquestionável, porém a aplicação de tecnologias que buscam o incremento da eficiência energética e a sustentabilidade da produção asseguram e possibilitam um desenvolvimento com impactos ambientais reduzidos. (PEREIRA et al, 2017)

3.2 – Análise dos Efeitos Ambientais

Ao se analisar os efeitos ambientais de qualquer forma de se gerar energia, sendo ela renovável ou não, o impacto inicial é sempre negativo. Por exemplo, para se construir uma célula fotovoltaica é necessário silício, o processo de mineração de qualquer elemento ou mineral é por muitas vezes degradante ao meio ambiente, por meio da produção de gases poluentes do maquinário de mineração, da degradação do solo e destruição de mata nativa. Este processo não é diferente em outras formas de se produzir energia.

Porém uma grande questão é a compensação ambiental gerada a partir do início da produção. A partir da produção de uma placa solar e do início de sua utilização ela pode gerar energia sem impactar o meio ambiente por mais de 25 anos, o que gera uma compensação em relação aos danos causados ao meio ambiente para a sua confecção.

Quando se fala em durabilidade dos equipamentos de uma usina fotovoltaica, não encontramos com facilidade na internet e nem na literatura, e quando encontramos muitas vezes são a garantia, o que faz muita gente pensar que é a sua durabilidade, e não é, hoje a maioria das marcas de inversores têm basicamente o mesmo tempo de garantia, já as placas varia bastante, e o que muita gente não sabe é que as placas possuem duas garantias, a primeira que fica em média de 12 anos contra defeitos de fabricação e a segunda fica de 20 a 25 anos, essa segunda garantia é de que as placas perderá no máximo 20% da sua eficiência, e mesmo depois desse tempo não quer dizer que vão parar de funcionar, temos como exemplo disso os satélites que usa esse modo de produção de energia para funcionar, alguns deles já passam dos 35 anos e ainda estão em pleno funcionamento. (PORTAL SOLAR, 2022)

Um ponto muito importante da energia fotovoltaica, é a baixa emissão de dióxido de carbono em seu processo de produção de energia. As únicas etapas de seu processo produtivo que emitem carbono, e na confecção das células e no transporte delas, o processo de geração de energia não emite dióxido de carbono, gás que é o principal responsável pelo efeito estufa.

Para cada duplicação da capacidade fotovoltaica instalada, há uma diminuição no uso de energia de 13% e 12% e na pegada de gases de efeito estufa da produção de 17 e 24%, para sistemas fotovoltaicos baseados em poli e monocristalino, respectivamente. Como resultado, há um ponto de equilíbrio desde 2011 entre os prejuízos acumulados e os benefícios do polimento fotovoltaico, em termos de uso de energia e emissões de gases de efeito estufa para

um cenário que leva em consideração a localização de produção fotovoltaica ao longo do tempo e um cenário realista de desempenho fotovoltaico. (FAUSTINO, OLIVEIRA, 2022).

Outra grande vantagem do ponto de vista ambiental são as instalações de sistemas fotovoltaicos, em sua grande maioria as células são instaladas em imóveis residenciais, sendo aproveitado parte do telhado da casa para sua fixação, em indústrias o processo também é o mesmo, muitas fabricas optam por utilizar sua cobertura para a instalação de células fotovoltaicas. Para a construção de uma usina de regeneração fotovoltaica é necessário a remoção da cobertura vegetal para instalação dos modulo, porém essa perda é facilmente compensada com o replantio em outras áreas, todavia, as áreas escolhidas para a construção de usinas são por muitas vezes áreas com baixa cobertura vegetal e solos onde dificilmente é possível o cultivo de alimentos, fazendo com que estas áreas possam ser aproveitadas para geração de energia.

Um caso a ser estudado é o da primeira micro usina de geração de energia fotovoltaica do brasil enquadrada na lei número 482, esta micro usina que foi construída pela empresa PGM Sistemas foi construída em 2012 instalada no telhado de um prédio com capacidade instalada de 6,58 kWh composta por 28 células fotovoltaicas, o objetivo foi desenvolver um estudo durante 4 anos sobre a produção desta micro usina.

Gráfico 1: CO2 Evitado



Fonte: BUIATTI et al, 2016

No gráfico acima desenvolvido pela empresa PGM Sistemas é calculado nos períodos de 2012 a 2015 as taxas de CO₂ que foram evitadas de ser emitidas com a utilização do sistema fotovoltaico, a medição foi iniciada no período de outubro de 2012 o que levou a uma quantidade anual menor comparado com os três anos posteriores, notasse uma boa regularidade

entre as taxas deixadas de serem emitidas nos três anos completos da série, levando a um bom equilíbrio entre produção energética e a não emissão de CO₂.

A partir deste modelo apresentado podemos concluir que a ampliação da geração de energia fotovoltaica em grande escala, trará benefícios não só aos usuários dos sistemas mas principalmente para o meio ambiente, uma redução significativa na emissão de CO₂ é de fundamental importância ao se pensar no futuro, visto que, este é um dos principais causadores do efeito estufa, sendo necessário a redução do mesmo para a garantia de um futuro sustentável, com a possibilidade de se desacelerar os aumentos de temperatura da terra.

3.3 – Análise dos efeitos econômicos

Na questão econômica a energia solar fotovoltaica beneficia a economia em muitos setores, começando com a fabricação das células que gera empregos de forma direta e indireta, até na produção de energia barateando o custo dela além disso é importante citar o progresso tecnológico e científico, que mesmo distante de países desenvolvidos, vem evoluindo gradativamente a partir de estudos acerca do desenvolvimento fotovoltaico.

Atualmente, no Brasil há laboratórios e equipes de especialistas em universidades públicas e privadas, centro de pesquisa e empresas, atuando no desenvolvimento de tecnologias de purificação de silício, células e módulos fotovoltaicos, inversores e controladores de carga, bem como no estudo de aplicações dessas tecnologias, porém, ainda não foi atingido o nível de aperfeiçoamento tecnológico dos países desenvolvidos nesta área e, esforços devem ainda ser realizados por todos os atores do setor (TAVARES, ANTONIO, 2014, p.60).

Um dado importante de ser analisado é a queda dos preços de produção por Mega Watt de energia gerada:

Gráfico 2: Custo dos sistemas Fotovoltaicos



Fonte: Absolar 2024

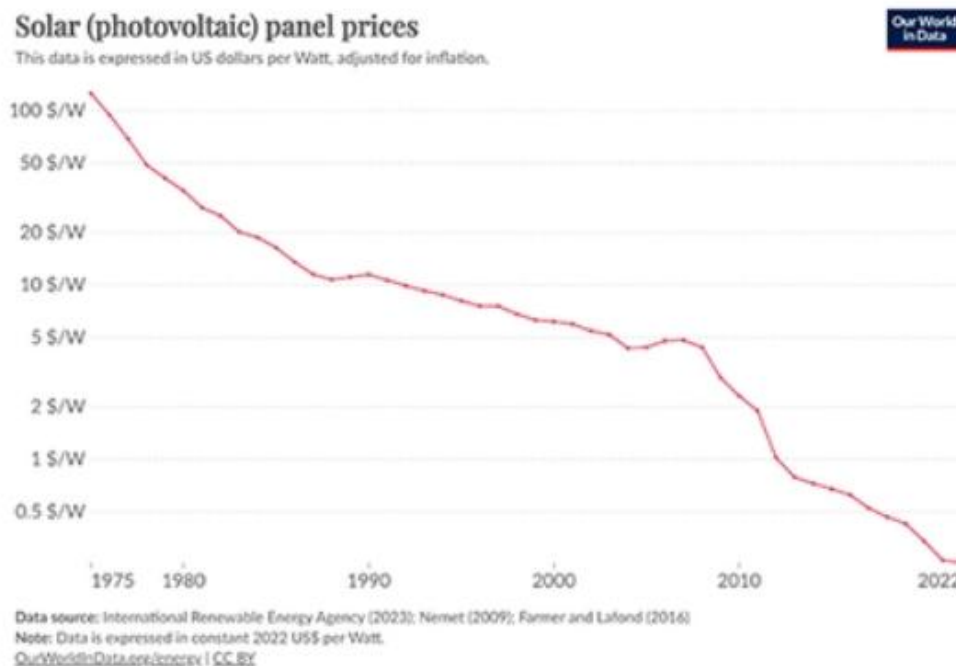
O gráfico acima desenvolvido pela (Absolar) evidencia a queda de preços no mercado regulado de energia fotovoltaica no Brasil. Inicialmente é possível observar um elevado preço por Mega Watt de energia fotovoltaica, resultado de uma baixa difusão e um custo elevado para a obtenção e instalação de células fotovoltaicas o que tornavam no início da década passada a energia fotovoltaica inviável no Brasil.

Duas observações que também devem ser feitas a respeito do gráfico desenvolvido pelo (Absolar), são a importância da resolução de número 482 da Aneel no ano de 2012, resolução esta que foi mais bem aprofundada no capítulo 2, e a realização do leilão nacional de energia de reserva realizado no ano de 2014. Após estas duas medidas se observam no gráfico uma grande queda a partir do ano de 2015 resultado destas duas políticas que favoreceram o acesso à energia fotovoltaica.

Alguns fatores ajudam a explicar essa curva exponencial de adoção. Há seis anos, uma resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) autorizou a produção própria de energia elétrica de fontes renováveis e possibilitou o repasse do excedente à rede pública de distribuição de energia em troca de desconto na conta de luz. Em 2015, outras facilidades foram incorporadas à norma. Os créditos gerados pelos consumidores passaram a valer durante cinco anos — e não apenas por três, como determinava a primeira regra. Os modelos também se diversificaram. Agora são permitidos sistemas de consumo coletivo, como condomínios e shoppings, e de consumo remoto — quando a energia é produzida num local e consumida em outro dentro da área de concessão de uma distribuidora (REVISTA EXAME, 2018, P.3).

Além dos custos de geração de energia fotovoltaica caírem, o preço das células e painéis também demonstraram quedas de preço nas últimas décadas em que pode ser demonstrado no gráfico a seguir:

Gráfico 3: Preço por Watt de energia em relação as células



Fonte: International Renewable Energy Agency (2023), Our World in Data

No gráfico é representado o preço de um painel solar por watt de energia, observasse uma queda acentuada com os anos, resultado de avanços técnicos e científicos para melhor desenvolvimento de células fotovoltaicas, estes avanços resultaram em um custo menor de produção e uma maior eficiência das células.

Como pode ser observado no início dos anos 70 além de uma produção de custo elevado a eficiência das células era muito baixa sendo assim a junção destes dois fatores inviabilizavam a utilização da energia fotovoltaica. Porém com a crise do petróleo no ano de 1973, se evidenciou a necessidade de se produzir energia sem o uso de petróleo, alavancando as pesquisas na área da energia fotovoltaica.

O pânico criado pela crise petrolífera de 1973 levou a um súbito investimento em programas de investigação para reduzir o custo de produção das células solares. Algumas das tecnologias financiadas por estes programas revolucionaram as ideias sobre o processamento das células solares. É o caso da utilização de novos materiais, em particular o silício

multicristalino (em vez de cristais únicos de silício, monocristais, muito mais caros de produzir) ou de métodos de produção de silício diretamente em fita (VALLÊRA; BRITO, 2006, p.6)

A partir do desenvolvimento científico e da aplicação de novos materiais na confecção de células é possível observar a queda no preço como demonstrado no gráfico. Quedas significativas são observadas em duas etapas importantes deste processo de evolução, com a introdução da terceira geração de células no período do final dos anos 90 e começo dos anos 2000. E durante a década passada com o maior desenvolvimento das células de filme fino.

Além dos avanços técnicos é preciso citar a entrada de países desenvolvidos como Estados Unidos, Japão e China no mercado de energia fotovoltaica, o que acelerou este desenvolvimento e difundiu ainda mais a energia fotovoltaica pelo mundo.

A taxa de crescimento da energia solar fotovoltaico aumentou rapidamente quando a produção de células solares e módulos começou a crescer nos Estados Unidos com o projeto MILLION SOLAR ROOFS, e quando as energias renováveis foram adicionadas ao plano quinquenal de 2011 para a produção de energia. Desde então, as instalações de energia fotovoltaica ganharam força em escala mundial, particularmente pelos asiáticos, mas também pelos norte-americanos bem como de outras regiões, onde a energia solar fotovoltaica está competindo cada vez mais com fontes convencionais de energia. (PEREIRA, 2019)

O projeto MILLION SOLAR ROOFS tem um grau de importância muito elevado para o crescimento da produção de energia fotovoltaica nos Estados Unidos, o projeto que foi assinado no ano de 2006 pelo então governador do estado da Califórnia Arnold Schwarzenegger com o objetivo de construir e instalar um milhão de células fotovoltaicas em casas, escolas e propriedades rurais. O projeto foi concluído no ano de 2019 e teve impactos positivos na economia gerando neste período mais de 77.000 empregos diretos e indiretos sendo muito positivo para os pequenos negócios que se formaram ao redor das fabricas, além disso o programa criou uma capacidade instalada de energia fotovoltaica de 9 giga watts calculasse que esta quantidade de energia gerada evita que 22 milhões de toneladas de CO2 sejam emitidas por ano.

Projetos como estes demonstram a importância de se promover o desenvolvimento econômico de forma sustentável, demonstrando a possibilidade de se promover a geração de empregos e impactos significativos na economia local além de contribuir positivamente para o

meio ambiente possibilitando o aumento da capacidade instalada de energia sem a emissão de gases poluentes.

No Brasil a possibilidade de se executar um projeto como este é bem clara, visto a crescente necessidade da produção de energia e a possibilidade de desenvolver economicamente regiões com baixos níveis de emprego e renda, de forma a caminhar ao lado da preservação ambiental se utilizando dos conceitos do desenvolvimento sustentável, com o foco de defesa da natureza preservando para as gerações futuras.

3.4 – Análise dos efeitos sociais

Na questão social pode ser destacado a utilização de sistemas do tipo off grid (que não são conectados à rede) que levam energia elétrica a comunidades isoladas, além de benefícios na questão da geração de empregos e maior segurança energética a os usuários de sistemas residenciais.

E importante destacar que em muitas regiões do Brasil muitas pessoas não tem acesso a energia elétrica por motivos logísticos, em muitos locais do Brasil sobretudo nas regiões norte, centro oeste e nordeste, mais especificamente na região da Amazonia Legal que engloba estados destas três regiões, é impossível se levar energia elétrica através de uma rede elétrica, em outras regiões existe a possibilidade de se levar energia através da rede elétrica porém o alto custo de implementação e a impossibilidade da obtenção de lucro faz com que as concessionárias de energia não atendam estas regiões, o que leva a um desafio diário aos habitantes destas regiões que muitas vezes necessitam utilizar geradores de energia movidos a combustível fóssil para se obter energia, um processo caro e inviável, porém a partir de sistemas fotovoltaicos isolados é possível levar energia elétrica a estes locais.

Nas regiões isoladas, onde a baixa densidade populacional e as restrições geográficas e ambientais impedem a extensão da rede, as comunidades não têm energia elétrica fornecida pelas concessionárias de energia ou possuem pequenos geradores movidos a combustível fóssil como diesel ou gasolina. São pequenas, custosas e precárias unidades de geração não reguladas pelo setor elétrico e que não contam com mecanismos institucionais de subsídio desse setor. Devido a renda familiar nessas comunidades ser muito baixa, os impactos econômicos, bem como na qualidade de vida, podem ser consideráveis. Não há previsão de expansão da rede elétrica para estas regiões remotas, assim, a oferta de serviços públicos de energia elétrica

deverá ser viabilizada por meio de geração por sistemas isolados da rede elétrica. (FERREIRA, SILVA, 2021)

Devido aos elevados custos uma saída para levar energia de forma sustentável para estas comunidades isoladas que vivem sem o acesso de energia elétrica está na produção de energia fotovoltaica através de sistemas isolados, inicialmente o custo de instalação seria levado tendo em vista a baixa renda da população nesta situação.

Entretanto, essa fonte fotovoltaica de pequena capacidade introduz a iluminação elétrica, a qual contribui positivamente porque melhora as condições da educação, possibilita o pequeno bombeamento de água, permite a estocagem de vacinas e medicamentos, e outros usos muito úteis no dia a dia do habitante de comunidades isoladas. Recentemente, as telecomunicações foram beneficiadas com a evolução da tecnologia, que aumentou a eficiência e reduziu o consumo de energia, tornando o acesso dela praticamente universal, inclusive oferecendo internet nos sítios mais remotos. Desse modo, o uso de painéis fotovoltaicos viabiliza algum conforto e melhora em parte a qualidade de vida dos habitantes, mas pouco contribui para incrementar o perfil da produção e da renda local. (PENHA,2019, P.21)

Ou seja, se a energia for obtida a partir de sistemas fotovoltaicos descentralizados, todas as regiões passam a ter igual acesso à eletricidade, permitindo que diversas áreas rurais prosperem, aumentando a necessidade de mão-de-obra e, conseqüentemente, reduzindo os problemas sociais das regiões isoladas. (SHAYANI et al, 2006)

Imagem 1: Regiões do Brasil sem acesso à energia elétrica



Fonte: IBGE (2022)

Na imagem acima é apontado o número de pontos sem energia elétrica nos respectivos estados, como pode ser observado os estados do norte do país são os mais afetados pelo não acesso à energia sendo os estados do Amazonas e do Pará ambos com maior número de pontos sem energia, porém é notável que todos os estados da chamada Amazonia legal apresentam muitos pontos sem acesso energia elétrica.

Outro ponto importante que dificulta a geração de energia nesta região é a vulnerabilidade do meio ambiente onde qualquer erro na produção de energia pode trazer impactos irreversíveis ao meio ambiente. A Amazônia legal é classificada como um local privilegiado, com intensa insolação e grande produção de biomassa. Porém, também é classificada como uma área ecologicamente sensível, onde há necessidade de toda a tecnologia adotada ser limpa, e nem sempre uma energia é totalmente aceitável. (PENHA,2019)

Imagem 2: Potencial de geração de energia fotovoltaica por região do Brasil



Fonte: INMET 2023

Na imagem acima produzida pelo Instituto nacional de meteorologia (INMET), é calculado a radiação solar média nas cinco regiões do Brasil onde pode ser observado o grande potencial de geração de energia fotovoltaica no Brasil como um todo, mas especialmente nas regiões norte, nordeste e centro oeste, regiões estas que mais sobrem com a falta do acesso à energia elétrica.

A quantidade de energia solar no Nordeste do Brasil é abundante e sua conversão em energia elétrica pode e deve ser estimulada. Essa opção, certamente, poderá contribuir para poupar a água armazenada nos reservatórios das usinas hidroelétricas, permitindo o seu uso para fins de abastecimento público de água, que essa região tanto necessita. (DE ALMEIDA 2022)

É notável que as regiões da Amazônia legal e do nordeste brasileiro apresentam as maiores incidências solares no território nacional, antagonizando com esta grande incidência solar, ambas as regiões apresentam os maiores números de pessoas sem acesso à energia elétrica, mesmo sendo uma região sensível do ponto de vista ambiental, iniciativas para a promoção do desenvolvimento sustentável nestas regiões são de fundamental importância, o que possibilitaria levar energia elétrica a quem mais necessita.

3.5 – Desafios, Sazonalidade e Mudanças Climáticas

De maneira geral todas as fontes de energia renováveis sofrem da mesma dificuldade, a sazonalidade, em determinados períodos de um ano elas assim como seu principal “combustível” para geração de sofrem alterações, estas alterações podem afetar negativamente ou positivamente em sua produção. Atualmente em um processo avançado e acelerado de mudanças climáticas e com um iminente progresso elevado do aquecimento global é possível ser observado mudanças no meio ambiente que além de afetar a vida do ser humano e da fauna ambiental de forma direta, afeta também a produção de energia renovável.

Nos três últimos séculos, os efeitos dos humanos no ambiente global se intensificaram. Por causa dessas emissões antropogênicas de dióxido de carbono, o clima global poderá distanciar-se significativamente do comportamento natural por muitos milênios. Parece apropriado aplicar o termo “Antropoceno” à época geológica presente, dominada por humanos, que complementa o Holoceno - o período quente dos últimos dez a doze milênios. Poder-se-ia considerar que o Antropoceno começou na parte final do século XVIII, quando análises do ar preso em gelo polar evidenciaram o início das crescentes concentrações globais de dióxido de carbono e metano. (CRUTZEN 2002, P.23)

No Brasil não é diferente no presente ano de 2024 mudanças climáticas afetaram o país como queimadas que estão afetando as regiões nortes centro oeste e sudeste, e principalmente as secas severas que estão afetando o norte do país e em contraste a esta seca ocorreu neste ano de 2024 inúmeras atividades pluviométricas em um curto período que afetou de forma

gravíssima o estado do Rio Grande do Sul, causando grandes enchentes tirando a vida e a moradia de muitas pessoas.

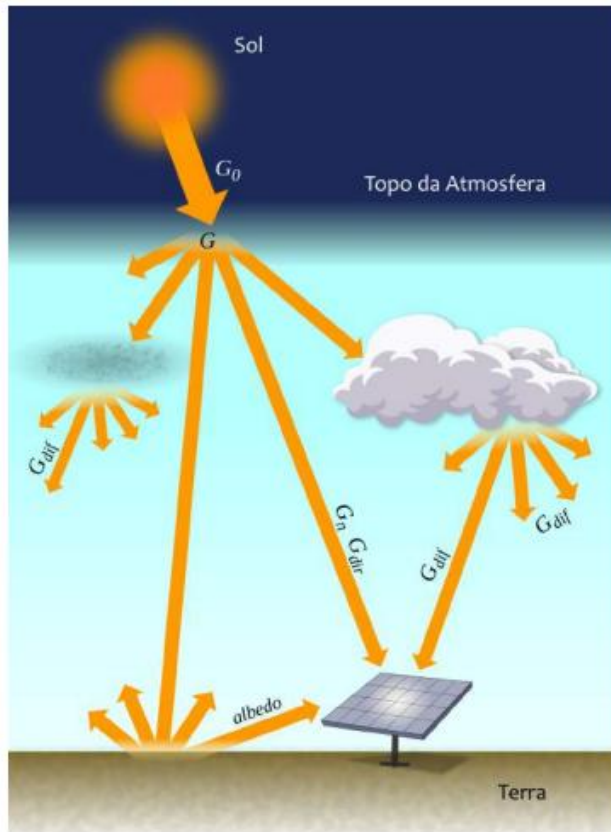
Entre as consequências das emissões de poluentes na escala local e as queimadas, a poluição do ar é uma das mais graves. Essa gera um aumento de internações de doentes por problemas respiratórios em períodos de estiagem, em especial no inverno nas cidades das Regiões Sudeste e Sul, quando se verifica com maior frequência a chamada inversão térmica. (RIBEIRO, 2008)

O aumento das chuvas intensas pode acarretar o agravamento de problemas já conhecidos para os brasileiros: alagamentos e escorregamentos de encostas. Os que vivem em fundos de vale, em geral junto a córregos, ou mesmo em áreas de expansão natural dos corpos d'água são alvos potenciais de alagamentos. (RIBEIRO, 2008)

Evidentemente estas mudanças climáticas afetam a geração de energia em curto prazo, já pode ser observado um aumento substancial na conta de energia elétrica no atual cenário nacional com muitas companhias de energia adotando a bandeira tarifária vermelha, onde o custo da energia é maior. Devido a matriz elétrica Brasileira ser em sua maior parte hidrelétrica, devido as secas a produção de energia hidrelétrica deve ser afetada nos próximos meses deste ano podendo afetar também o ano de 2025, sendo o futuro elétrico uma incógnita.

A energia Solar Fotovoltaica não escapa destas mudanças, as mudanças repentinas de temperatura e insolação solar afetam diretamente na produção fotovoltaica derrubando as medias de produção consideravelmente. Outro fator que afeta a produção são as queimadas que além de gerar uma nuvem de fumaça poluente que impede a incidência solar, pode com a rápida propagação do fogo destruir uma usina fotovoltaica por inteira em minutos.

Imagem 3: Dissipação dos raios solares



Fonte: Pereira et al,2017

Como pode ser observado na figura acima as nuvens dificultam a incidência de raios solares na superfície terrestre, na figura os raios solares são representados pela letra G e ao passar sobre uma nuvem sofrem desvios e até mesmo são repelidos sem mesmo chegar à superfície terrestre, estas nuvens podem ser geradas de forma natural ou por ação humana como é o caso de uma nuvem de poluição ou por efeito de queimadas.

As nuvens são o principal fator modulador da radiação solar que incide na superfície em razão de suas propriedades óticas que produzem um espalhamento eficiente da radiação solar. O espalhamento da radiação solar por nuvens depende de sua espessura ótica, da distribuição de tamanhos das gotículas, do conteúdo e do estado físico da água, características estas que variam de acordo com o tipo de nuvem. (PEREIRA et al, 2017)

Outro desafio importante que é enfrentado pelas fontes de energia renováveis é a sazonalidade, no caso da energia solar fotovoltaica o principal desafio está em relação as estações do ano.

Imagem 4: Movimentos da terra



Fonte: Pereira et al, 2017

Como pode ser observado na imagem acima o Brasil por ser localizado no hemisfério sul do planeta terra tem em suas estações de outono e inverno dias mais curtos e mais frios, pelo fato da terra ter uma inclinação que oscila entre 22 graus e 24 graus e 30 minutos sobre seu eixo (porém a inclinação predominante é de 23 graus e 26 minutos). Durante estes meses mais frios o hemisfério sul fica mais distante do sol o que conseqüentemente afeta a incidência solar no brasil afetando diretamente a produção de energia solar fotovoltaica, em compensação nos períodos de primavera e verão o hemisfério sul fica mais próximo ao sol o que conseqüentemente proporciona dias mais quentes e longos, o que leva a uma maior incidência solar no Brasil levando a uma maior produção de energia Solar fotovoltaica no território nacional.

Mesmo com a sazonalidade da produção energética, a eficiência da energia solar fotovoltaica representa uma saída sustentável para o desenvolvimento econômico, tendo em vistas as constantes mudanças climáticas e a degradação acelerada do meio ambiente, é necessário se promover o desenvolvimento de forma sustentável onde a energia solar fotovoltaica deve ser incluída como uma das principais bases energéticas tendo em vista a proteção e preservação do meio ambiente.

CONCLUSÃO

Se pensando em um futuro mais justo e sustentável é fundamental que as políticas de desenvolvimento econômico passem a adotar a sustentabilidade como base para a continuação do processo gradativo de evolução. Diante das constantes mudanças climáticas e do processo gradativo da destruição do meio ambiente, é necessário assegurar um futuro mais sustentável é uma necessidade ao se observar os acontecimentos globais atuais, sendo que, para se promover um futuro com mais dignidade é necessário adotar como política central o desenvolvimento sustentável.

Dentro do conceito de desenvolvimento sustentável é necessário adotar os três pilares como tema central das políticas econômicas, buscando soluções para a resolução dos problemas ambientais. A energia solar fotovoltaica une todos os pilares do desenvolvimento sustentável para uma saída econômica e social necessária. Dentro deste contexto a busca por aprimorar a energia solar fotovoltaica é necessária visando construir células mais eficientes e mais baratas podendo ser acessíveis a grande parte de população, além do processo de construção das células deve buscar ser mais sustentável, criando células mais duráveis e que após o fim de sua vida útil possam ser recicladas.

De modo geral a energia solar fotovoltaica vem para somar com os processos evolutivos sustentáveis, sendo que em breve será possível no Brasil se obter um país mais iluminado com acesso à energia mais igualitário. Populações que vivem em comunidades isoladas poderão usufruir do acesso à energia elétrica o que acarretará o aumento de bem-estar social possibilitando o crescimento econômico em áreas que carecem do mais básico e essencial.

Em relação ao meio ambiente a geração de energia sem a emissão de CO₂ contribui muito para frear o aquecimento global e a poluição do ar, assim como para a diminuição do efeito estufa, a possibilidade de se usar o sol para a geração de energia é muito positiva pois é uma fonte inesgotável e está disponível a todos.

Portanto no contexto atual é fundamental a utilização de meios que desenvolvam a humanidade e preservem o futuro, buscando cada vez mais a preservação ambiental e principalmente ajudando no desenvolvimento das populações mais necessitadas, possibilitando um futuro mais seguro do ponto de vista econômico, sustentável e social para as gerações futuras.

Referências

ABSOLAR: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/> acessado em 27 de setembro de 2024

ALDOUS S.T.J. **How Solar Cells Work**. Howstuff works 2000

ALVES L.O.M, **ENERGIA SOLAR: ESTUDO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ON-GRID E OFF-GRID**, 2019

ÁVILA S. Ednilson, DINIZ M. Eliezer, **Evidencias sobre a curva ambiental de Kuznets e convergência das emissões**, Escola Superior de Agricultura 2015

BARBOSA, W. P. F., AZEVEDO, A. C. S. d., COSTA, A. L. & PINHEIRO, R. B., 2015. **Estudo para penetração de investimentos em Energia Solar Fotovoltaica no Estado de Minas Gerais**. Energia e Direito. Rio de Janeiro

BARROS A. M, SOARES S.M. J: **Contribuições teóricas e abordagens históricas do Efeito Fotoelétrico**, Rio de Janeiro 2016

BRAGA P.R: **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações**. Universidade Federal do Rio de Janeiro – 2008

BRASIL, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). **Energia: Infraestrutura**. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/imprensa/noticias/conteudo/bndes-aprova-1-financiamento-para-gera-o-solar-de-r-529-mi> Acesso em: 23 de agosto de 2024

BRUNDLAND G.H, **Comissão mundial sobre meio ambiente e desenvolvimento: Nosso futuro comum**, 1987

BUIATTI, G.M; ANDRADE, R.L; AMARAL, P.C.; RYMER, J.V.; FIORANELLI, C.O. S. **Metodologia para estimativa de redução de emissões de CO₂ aplicada a sistemas de microgeração fotovoltaica**. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar – Belo Horizonte, 04 a 07 de abril de 2016

CARVALHO L. N, KERSTING C, GILVAN R, LUMAR F, AFONSO L.: **DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL X DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO**, UFSM 2015

CARVALHUÇO J. “Análise da influência do produtor-consumidor doméstico numa rede elétrica inteligente,” 2017.

CASAGRANDE F. Eloy, **Inovação tecnológica e Sustentabilidade: Integrando as partes para proteger o todo.** Universidade de tecnologia do Paraná 2003

CBIE. **O que é a Geração Distribuída?** CBIE - Centro Brasileiro de Infraestrutura, 2019.

COELHO, F.L.N.A. **O incentivo à moradia ambientalmente correta: o uso da energia renovável.** 2014.

CORREIA S.L.R.J: **Estudo e aplicação de um sistema de Concentração Fotovoltaica (CPV) com utilização de células Multijunção** – Instituto superior de engenharia de Lisboa 2018

CRUTZEN, Paul J. **Geology of mankind.** Nature, v. 415, n. 6867, 2002.

DAMIANI FILHO, J. A. **Geração fotovoltaica no setor elétrico brasileiro: situação atual e tendências.** Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, 2023.

DE ALMEIDA, H. A; DE ALMEIDA, E. C V: **Potencial da energia solar fotovoltaica no Semiárido nordestino.** Universidade Federal da Paraíba v. 22, n. 2, p. 197-210, 2022.

FAPESP. **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho.** Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo: FAPESP, InterAcademy Council, 2007.

FAUSTINO, M.E.B, Oliveira F.V: **ENERGIA FOTOVOLTAICA E SUAS CONTRIBUIÇÕES PARA REDUÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL** – Ufersa 2022

FEDRIZZI, M. C: **Sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário: lições aprendidas e procedimentos para potencializar sua difusão.** USP São Paulo, 2003.

FERREIRA, A.L; SILVA, F.B. **Universalização do acesso ao serviço público de energia elétrica no Brasil: evolução recente e desafios para a Amazônia Legal.** Revista Brasileira de Energia, v. 27, n. 3, p. 135-154, 2021.

FREEMAN, R. E; MCVEA, J. A **stakeholder approach to strategic management**. **Darden Business School Working Paper, Charlottesville**, n.01-02, 2001.

GALDINO, J. C. **Análise crítica entre dois softwares de dimensionamentos e simulações fotovoltaicos**. Universidade Federal de Campina Grande 2016.

GEOCONSULT, C. G. e. M. A. L. **Relatório de Impacto Ambiental -RIMA -Central Geradora Solar Fotovoltaica** Tauá, Fortaleza: 2012.

HENRIQUE, V. Eco. Energ., 2019: **Por que a energia incentivada varia tanto de preço no mercado?**

INMET: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/inverno-2024-confirma-a-previs%C3%A3o-para-a-esta%C3%A7%C3%A3o> acessado em 02 de outubro de 2024

IPCC, Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (2022). **Mudanças Climáticas 2022: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade**.

JONHSON, H. L. *Business in contemporary society: Framework and issues*. Belmont, CA: Wadsworth. 1971.

KOLLING, E. M.; SOUZA, S. N. M., RICIERY, Reinaldo P., SAMPAIO, Silvio C., DALLACORT, R. **Análise operacional de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.3, p.527-535. 2004

LAMBERTS, R et al: **Casa Eficiente: consumo e geração de energia**. Florianópolis: UFSC, 2010.

LA VALLE, B: **ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DE PAINÉIS SOLARES EM SILÍCIO MONOCRISTALINO**. São Paulo 2019

LIMA C.E L, **A Importância da Preservação da Biodiversidade para o Planeta**, <https://www.recantodasletras.com.br/artigos/1230435> (Acessado em 15/05/2024)

MARTINS R. F., et al **Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário - o Projeto Swera**. São Paulo, 2004.

MÓDULO ENERGIA: **Créditos de energia solar: o que é e como funciona?** 2017

MOLINA G.C C, **Desenvolvimento Sustentável: do conceito de desenvolvimento aos indicadores de sustentabilidade**. RMGC –Revista Metropolitana de Governança Corporativa Volume 4, número 1–2019

MOREIRA, C.A.M. **Avaliação do desempenho hidro energético de sistemas fotovoltaicos utilizados no bombeamento de água.** Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, 2009.

NEVES, G.; DUARTE, C. **A evolução da energia solar na matriz elétrica Brasileira.** 2017

NUNES, M. S: **O Brasil no Acordo de Paris sobre Mudanças Climáticas um estudo sobre o cumprimento das metas de redução de emissões no setor de energia.** Campina Grande: Editora Licuri, 2022.

OLIVEIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. H.; GOMES, R. O. **Energia solar: um passo para o crescimento. REGRAD-Revista Eletrônica de Graduação do UNIVEM-ISSN 1984-7866,** v. 10, n. 01, p. 377-389, 2017.

OUR WORLD IN DATE: <https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices>

PENHA, S.C.A. **PROJETO DE GERAÇÃO ELÉTRICA RENOVÁVEL PARA ATENDIMENTO ENERGÉTICO DA COMUNIDADE DE MARAUÁ NA RESERVA EXTRATIVISTA DE JUTAÍ.** Universidade do Estado do Amazonas.2019

PEREIRA, E.B; MARTINS, F.R; GONÇALVES, A.R; COSTA, R.S; LIMA, F. J. L; RÜTHER, R; ABREU, S.L; TIEPOLO, G.M; PEREIRA, S.V; SOUZA, J.G. **Atlas brasileiro de energia solar.** 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

PHILIPPI JR, Arlindo; ALVES, Alaôr Caffé; ROMÉRO, Marcelo de Andrade; BRUNA, Gilda Collet (ed.). **Meio ambiente, direito e cidadania.** São Paulo: Signus Editora, 2002.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Brasil, 2014.

PORTAL SOLAR, 2016: **História e origem da Energia Solar.**

REVISTA EXAME: **Quando o Sol virá dinheiro**,2018 disponível em: <https://exame.com/revista-exame/quando-o-sol-vira-dinheiro/> acessado em 25 de setembro de 2024

REZENDE, J.O. **A importância da energia solar para o desenvolvimento sustentável.** 2019

RIBEIRO, C.W: **Impactos das mudanças climáticas em cidades no Brasil**. Brasília, 2008

RUTHER, R. et al. **Avaliação do impacto da geração distribuída utilizando sistemas solares fotovoltaicos integrados à rede de distribuição**. 2005.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos**. Florianópolis: UFSC / Lab. solar, 2004.

SANTOS, A. J. L. **Análise da complementaridade entre sistemas fotovoltaicos e sistemas de aquecimento solar de água em unidades prosumidoras do sul de Santa Catarina**. Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2019.

SCHMIED-KOWARZIK, W. **A relação dialética do homem com a natureza: Estudos histórico-filosóficos sobre o problema da natureza em Karl Marx**. Cascavel, 2019

SHAYANI, R.A; OLIVEIRA, M. A. G. de; CAMARGO, I. M. de T. **Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 5., 2006, Brasília. [s.n.], 2006.

SEGUNDO D.S, M., R. LANA, T., SILVA J., J. A., & G. TALLARICO, M. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: REVISÃO BIBLIOGRAFICA**. 2021

SERODIO, G. **Geração distribuída atingirá 11 GW de capacidade instalada em 2029**. 2020

SILVA, H.M.F; ARAÚJO, F.J.C. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 859–869, 2022.

SOARES, J. A. Z. **ESTRELAS: NASCIMENTO E MORTE—QUAL O FUTURO DO SOL?** Maringá 2012

SOLAR, Portal. **Energia Fotovoltaica**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-fotovoltaica.html>. acessado em 28 de agosto de 2024.

SOLARGIS –**Poster maps for solar energy**, 2015.

SOUZA, A. B. de; OLIVEIRA, A. L. **BENEFÍCIOS AMBIENTAIS DA ENERGIA FOTOVOLTAICA**. Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 287–298, 2019.

VALLÊRA, A M.; BRITO, M C. **Meio século de história fotovoltaica**. Gazeta de Física, Lisboa, v. 29, n. 1-2, p. 1-15, set. 2006.

VASCONCELLOS, G.A. **O mercado solar e impactos de energias sustentáveis**. Insper 2019

VEIGA, J **Economia Brasileira: Perspectivas do Desenvolvimento**, 2005, pp. 243 – 266

VEISSID, N. VILELA, A.W, PASIN G.D **ESTUDO DOS PARÂMETROS DE SAÍDA DE UMACÉLULA SOLAR DE TRIPLA JUNÇÃO**- VII Congresso Brasileiro de Energia Solar –Gramado, 17 a 20 de abril de 2018

VILLALVA, M.; GRADELLA, M.; GAZOLI, J. **Energia Solar Fotovoltaica Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2012.

VIEIRA, M.; SANTOS, A. **O meio ambiente sustentável e a energia solar**. 2014

ZANATTA, Paula: **Gestão ambiental e o desenvolvimento sustentável**, Universidade Federal de Pelotas, 2017

