

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA AMBIENTAL**

**Análise de viabilidade econômica e ambiental para a implantação de
sistema de geração de energia renovável em uma residência unifamiliar**

Luciano Gonçalves De Souza

São Carlos – SP

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA AMBIENTAL

Análise de viabilidade econômica e ambiental para a implantação de sistema de geração de energia renovável em uma residência unifamiliar

Luciano Gonçalves De Souza

Trabalho de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador:

Prof. Maria Carolina Chaves de Sousa

São Carlos – SP

2021

Banca Examinadora

Trabalho de Graduação apresentado no dia 23 de Janeiro de 2021 perante a seguinte banca examinadora:

Orientador:

Profa. Maria Carolina Chaves de Souza

Convidado:

Profa. Dra. Natália de Souza Pelinson

Professor da Disciplina:

Profa. Dra. Fernanda Perpétua Casciotori

Profa. Dra. Janaina Fernandes Gomes

Profa. Dra. Alice Medeiros de Lima

“ Os ideais que iluminaram o meu caminho são a bondade, a beleza e a verdade”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora, Maria Carolina Chaves de Souza, que me guiou durante o período de estágio e elaboração deste trabalho. Agradeço à UFSCar pelo curso oferecido. Agradeço à empresa ASCENDE - INSTALAÇÃO DE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS e ao supervisor do meu estágio, Eng. Mateus Ribeiro Daniel, pela oportunidade concedida.

Agradeço às professoras da disciplina de Trabalho de Graduação, Dra. Janaína Fernandes Gomes, Dra. Fernanda Perpétua Casciatori, Dra. Alice Medeiros de Lima e Dra. Natália de Souza Pelinson. Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Ambiental da UFSCar.

Agradeço ao tutor Marcos Simão que nos acompanhou em quase todo curso, minha eterna gratidão, agradeço a todos os funcionários do polo da Universidade Aberta do Brasil de São José dos Campos. Agradeço ao Dr. Edilson Milaré, e a todos os funcionários da UFSCar.

Agradeço aos meus amigos e colegas de curso, Hideto Juliano Kinouti e Leonardo Katsumi Hakamada, pelos bons momentos de convivência durante todo o curso. Agradeço à minha doce namorada, aos meus pais e irmãos, sem os quais eu não teria conseguido completar o curso.

Por fim, agradeço a Deus, por tudo!

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos que fazem deste planeta um mundo melhor para viver. Como descreve o autor Lutim (2006), em seu texto “Face a face”: “Que o amor que cada ser humano cultiva dentro do seu coração; seja fundamentado na base sólida da justiça e que o desejo efêmero, da sua alma, seja transformado em palavras que transcenda a simples superficialidade da matéria e se- agarre ao coração. Que o sorriso de cada ser humano, seja ele carente ou ausente, depois de uma dose de amor, venha florescer em seu rosto de uma forma sincera e sem sentimento de culpa, pois assim deve ser um sorriso: mágico, transparente e humano”.

RESUMO

A demanda por energia tem sido crescente desde a revolução industrial, principalmente, de petróleo e carvão mineral, tendo como consequência o esgotamento de suas jazidas e a poluição do meio ambiente. Devido ao passivo ambiental gerado por essas formas de energia e a escassez desses recursos naturais, surgiu a necessidade de substituição dessas matrizes energéticas, dando espaço para a utilização da energia renovável. Trata-se de um estudo de caso de viabilidade econômica e ambiental para a implantação de sistema fotovoltaico em uma residência unifamiliar. Do ponto de vista econômico, em um período de 25 anos, há uma estimativa de redução de gasto com energia elétrica de 85,2%, e isto se aplica no consumo mensal também, o sistema tem vida útil de 25 anos e o custo da instalação dos equipamentos se paga em um prazo relativamente curto; no caso deste trabalho, o tempo de retorno foi de 4 anos, mas ele varia entre 4 a 6 anos. Na análise da viabilidade ambiental, obteve-se como resultado o saldo ecológico negativo, tornando o sistema fotovoltaico para a residência analisada insustentável ecologicamente, pois os moradores consomem da natureza recursos acima da biocapacidade do planeta.

Palavras-chave: Fontes renováveis de energia, energia fotovoltaica, residência unifamiliar, viabilidade.

ABSTRACT

The demand for energy has been increasing since the industrial revolution, mainly of oil and coal, resulting in the exhaustion of its deposits and the pollution of the environment. Due to the environmental liabilities generated by these forms of energy and the scarcity of these natural resources, the need for replacing these energy matrices arose, giving space for the use of renewable energy. This is a case study of economic and environmental feasibility for the implementation of photovoltaic system in a single-family residence. From an economic point of view, in a period of 25 years, there is an estimated reduction in electricity expenditure of 85.2%, and this applies to monthly consumption as well, the system has a useful life of 25 years and the cost of installing the equipment is paid in a relatively short time; in the case of this study, the return time was 4 years, but it varies between 4 and 6 years. In the analysis of environmental viability, the negative ecological balance was obtained as a result, making the photovoltaic system for the analyzed residence ecologically unsustainable, because residents consume resources above the biocapacity of the planet from nature.

Keywords: Renewable energy sources, photovoltaics, single-family residence, viability.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivo Geral.....	2
1.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. Estrutura do trabalho.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1. Energias renováveis.....	3
2.1. Energia fotovoltaica.....	6
2.2. Tecnologias fotovoltaicas comercialmente disponíveis.....	6
2.3. Classificação dos sistemas fotovoltaicos.....	8
2.4. Viabilidade ambiental e econômica da energia fotovoltaica em residência unifamiliar.....	11
2.5. Pegada ecológica.....	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
3.1. Considerações Gerais.....	14
3.2 Local do desenvolvimento do trabalho.....	16
3.3 Coleta de dados.....	17
3.4 Levantamento bibliográfico.....	18
3.5 Implantação de sistema fotovoltaico em uma residência unifamiliar.....	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
4.1 Análise da viabilidade econômica.....	22
4.2 Cálculo da pegada ecológica.....	23
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	24

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz energética mundial.....	3
Figura 2 – Matriz energética Brasileira.....	4
Figura 3 - Geração Distribuída no Brasil, em MW.....	5
Figura 4 - Geração Centralizada.....	5
Figura 5 – Tipos de células fotovoltaicas.....	7
Figura 6 – Sistemas fotovoltaicos.....	8
Figura 7 – Painéis fotovoltaicos.....	9
Figura 8 – Inversor fotovoltaico.....	10
Figura 9 - Caixas stringbox.....	10
Figura 10 - Caracterização da residência.....	14
Figura 11 - Fluxograma do sistema fotovoltaico.....	15
Figura 12 - Local de instalação dos painéis fotovoltaicos.....	17
Figura 13 – Metodologia do levantamento bibliográfico.....	18
Figura 14 – Temas da pesquisa bibliográfica.....	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Levantamento de dados do projeto	17
Tabela 2 - Cálculo da potência do sistema fotovoltaico	19
Tabela 3 - Dimensionamento do sistema fotovoltaico.....	21
Tabela 4 - Preço dos sistemas fotovoltaicos.....	22
Tabela 5 - Panorama geral da implantação do sistema fotovoltaico.....	22
Tabela 6 - Cálculo da biocapacidade, Pegada ecológica e saldo ecológico	23

Listas de abreviaturas e siglas

Abreviações

Símbolo	Descrição
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
FRE	Fontes renováveis de energia
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
°C	graus Celsius
A	Âmperes
a-Si	Silício amorfo
a-Si:H	Silício amorfo hidrogenado
as	Ângulo Azimutal do Sol
aw	Ângulo Azimutal da Superfície
Cd	Cádmio
CdTe	Telureto de cádmio
CH4	Metano
CO2	Dióxido de carbono
c-Si	Silício monocristalino
Cu	Cobre
Cu (InGa) Se2	Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio
Ga	Gálio
GW	Gigawatt
HIT	Células Híbridas
In	Índio
J	Joule
kWp	Potência de pico em Kilowatt
m-Si	Silício monocristalino
MW	Megawatt
μc-Si	Silício microcristalino
n-Si	Silício nano-amorfo
p-Si	Silício policristalino
Se	Selênio
Si	Silício
TiO2	Dióxido de Titânio
TWh	Terawatt hora
V	Volts
Wp	Potência de pico em Watt
δ	Declinação Solar
γ	Ângulo de incidência
α	Altura Solar
β	Inclinação
MPPT	Maximum Power Point Tracking
ICMS	Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação
ha	Hectare

1. INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo, a humanidade vem usando o carvão e o petróleo para gerar energia e mover a “máquina do progresso”, deixando para trás o passivo ambiental e suas consequências para as gerações futuras (TORRES, 2012). Diante desse cenário, a utilização de fonte renovável de energia (FRE) vem ganhando espaço no mercado, sendo uma alternativa viável, principalmente, com o desenvolvimento de sistemas mais eficientes e baratos (SOLIENS, 2018). Dentre as várias fontes de energia renovável, a fotovoltaica é uma das mais promissoras e vem ganhando espaço no cenário mundial, atendendo as necessidades da humanidade, que busca uma forma de energia que seja, econômico e ambientalmente viável (CABRAL & VIEIRA, 2012).

A utilização de energia fotovoltaica traz vários benefícios para a sociedade e o planeta. Um bom exemplo está na sua produção, como um processo que possivelmente não gera resíduos poluentes, como os gases do efeito estufa, oriundos de combustíveis fósseis (LUZ SOLAR, 2019). O sistema fotovoltaico também impacta o meio ambiente, porém, este impacto é menor que as outras fontes, visto que, a implantação de uma hidrelétrica inunda vários quilômetros de terra, destroem a fauna, a flora e deixam várias famílias desabrigadas (RÜTHER, 2004).

Contudo, a energia é essencial para a preservação e melhoria da qualidade de vida. Hoje, toda a grande produção de energia é gerada a partir de combustíveis fósseis, que não são renováveis e poluem significativamente o meio ambiente. O acesso à energia renovável e confiável é fundamental para garantir o desenvolvimento dos países.

Sendo assim, um suprimento de energia baseado em portadores de energia renovável, um suprimento de energia que pode ser chamado de sustentável em termos de pegada ecológica, nas próximas décadas parece ser ficção científica, mas como ilustrado nos exemplos dados, os indivíduos podem vir muito perto desse objetivo de sustentabilidade, mudando seus estilos de vida e por investimentos inteligentes em seus suprimentos de energia.

Desta forma, a metodologia proposta por Wackernagel & Rees (1996), que calcula a biocapacidade do planeta e o modelo de cálculo modificado que utiliza como unidade de medida “hectare global” para demonstra a pegada ecológica é, em princípio, adequado para a avaliação de medidas de política energética em relação ao desenvolvimento e a descrição quantitativa da exploração excessiva do meio ambiente.

1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar a viabilidade econômica e ambiental para a implantação de sistema fotovoltaico em uma residência unifamiliar, tendo como premissa a autossuficiência energética da edificação apenas utilizando o recurso solar a partir de um modelo específico de coletor de energia como fonte de geração elétrica.

1.2. Objetivos Específicos

Entre os objetivos específicos, encontram-se:

- Dimensionar um sistema fotovoltaico para uma residência, unifamiliar, através de um sistema conectado à rede elétrica pública.
- Analisar a pegada ecológica, utilizando a metodologia proposta por Wackernagel & Rees (1996), que calcula a biocapacidade do planeta.

1.3. Estrutura do trabalho

O presente trabalho trata-se de um estudo de caso, quantitativo, experimental e de campo, que foi estruturado através de um levantamento bibliográfico sobre, energias renováveis, características e classificação das células fotovoltaicas, viabilidade econômica e ambiental da energia fotovoltaica, implantação de sistema fotovoltaico e análise da pegada ecológica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a elaboração deste trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre fontes renováveis de energia, com o objetivo de buscar dados que mostrassem as mais diversas matrizes energéticas utilizadas no mundo e a matriz energética fotovoltaica Brasileira, ABNT-NBR 16690/2019, que estabelece os requisitos de projeto das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, incluindo disposições sobre os condutores, dispositivos de proteção elétrica, dispositivos de manobra, aterramento e equipotencialização do arranjo fotovoltaico, as Resoluções Normativas n. 482/2012 e, atualmente, a 687/2015, ambas da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, o setor de produção e comércio de painéis fotovoltaicos, com os objetivos de levantar as principais características e modelos fornecidos no mercado, processo de instalação do sistema fotovoltaico, com o objetivo de compreender as principais variáveis envolvidas no processo e a pegada ecológica proposta por Wackernagel & Rees (1996), com

finalidade de dimensionar o espaço ecológico necessário que um sistema ou unidade utilizará para se sustentar.

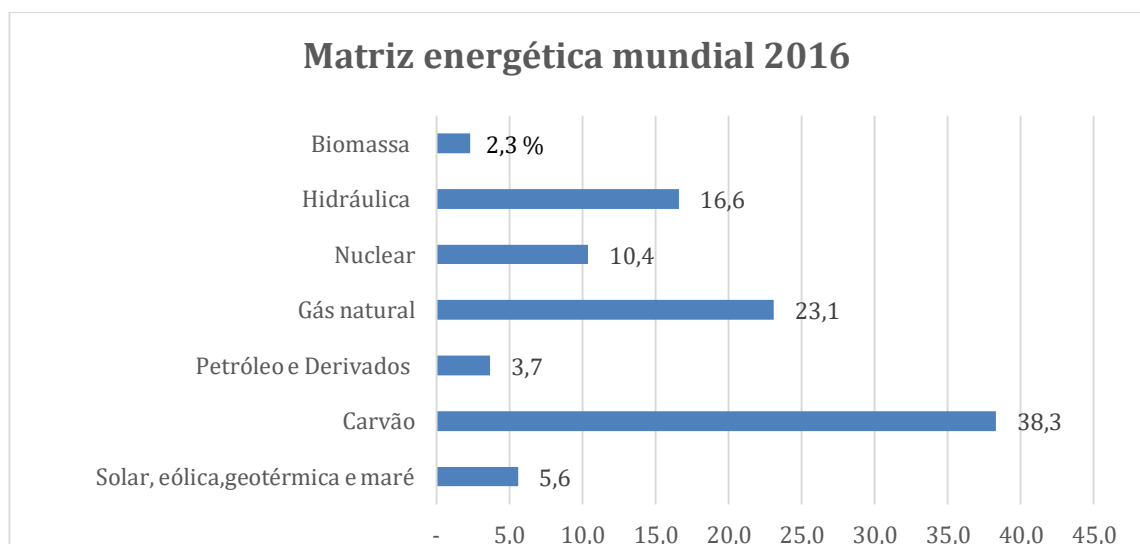
2.1. Energias renováveis

Existem várias matrizes energéticas no mundo e a maioria delas não são renováveis, compostas principalmente, por carvão, petróleo e gás natural.

Apesar de sucinta, a energia limpa tem ganhado espaço no mercado mundial, principalmente com o esgotamento das matrizes não renováveis e a preocupação com a demanda mundial por energia, alavancando o desenvolvimento de novas tecnologias, barateando custos e aumentando a eficiência de sistemas de geração de energia limpa. Um relatório publicado pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2018), sobre matriz elétrica mundial, mostra o panorama energético, destacando o carvão como a fonte mais utilizada no mundo, com 38,3%.

A figura 1 apresenta o panorama geral da matriz energética mundial, sendo o carvão a fonte de energia mais utilizada no planeta.

Figura 1 - Matriz energética mundial

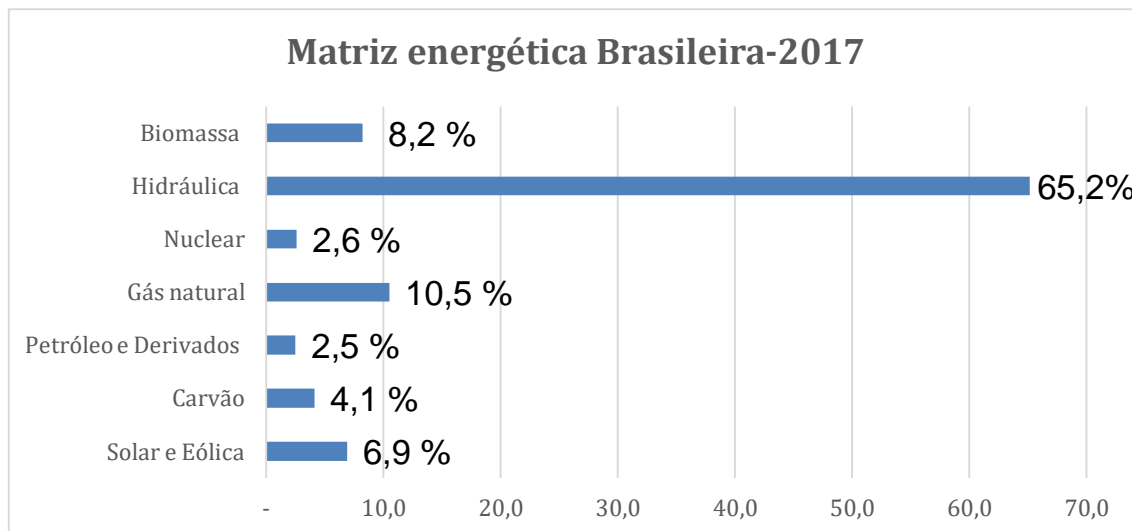


Fonte: (adaptado de IEA, 2018)

Os números revelam a dependência por combustíveis não renováveis no mundo e por esse motivo, os esforços para inserir as energias renováveis no mercado vêm aumentando. A transição energética demanda tempo e investimentos, porém já começou a acontecer em alguns países.

A figura 2 apresenta o panorama da matriz energética brasileira e a predominância da utilização da energia gerada nas hidrelétricas.

Figura 2 – Matriz energética Brasileira



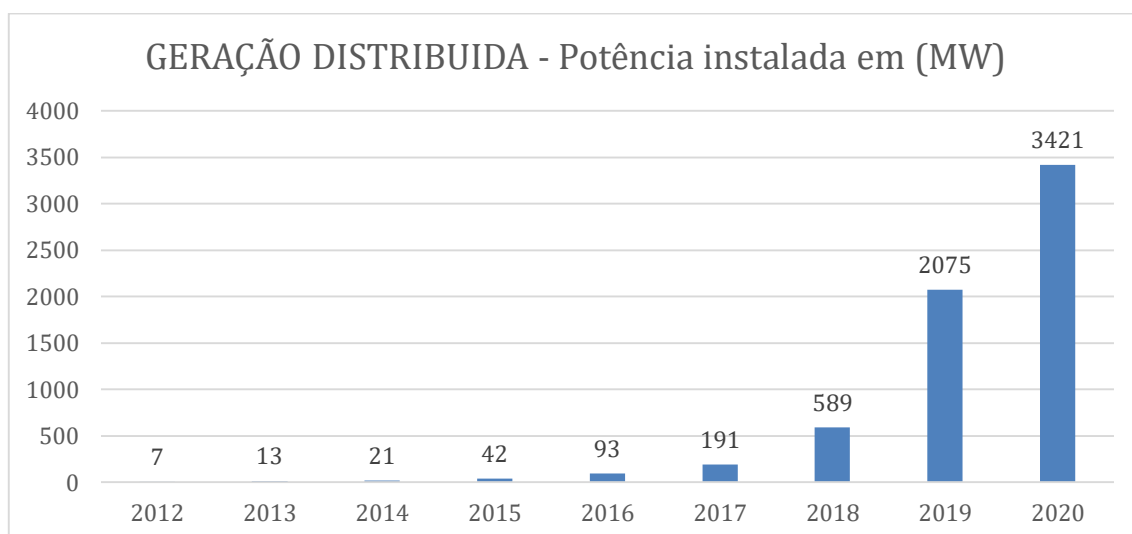
Fonte: (adaptado de BEN, 2018)

A maioria da matriz elétrica brasileira é renovável, mas padrões de chuva por conta da mudança climática podem tornar isso igualmente complexo e insuficiente, grande parte dela é gerada em usinas hidrelétricas - ou seja - de acordo com Ben (2018), ela corresponde a 65,2% da matriz elétrica brasileira.

A produção de energia fotovoltaica, no Brasil, vem aumentando ao longo do tempo, contribuindo para que a nossa matriz elétrica continue sendo em sua maior parte renovável. Nos últimos anos houve um aumento na geração de energia centralizada e distribuída no Brasil, principalmente, entre 2012 a 2020. A Geração distribuída (GD) é aquela geração de energia feita em pontos diversos, através de sistemas geradores que ficam próximos ou até mesmo na própria unidade consumidora (casas, empresas e indústrias) e que são ligados a rede elétrica pública. A geração centralizada (GC) é aquela geração caracterizada por grandes centrais de produção de energia elétrica, são usinas solares fotovoltaicas outorgadas do mercado regulado com grandes capacidades instaladas (BLUESOL, 2018).

A figura 3 mostra a geração distribuída no Brasil e a potência instalada (MW), entre o ano de 2012 a 2020.

Figura 3 - Geração Distribuída no Brasil, em MW

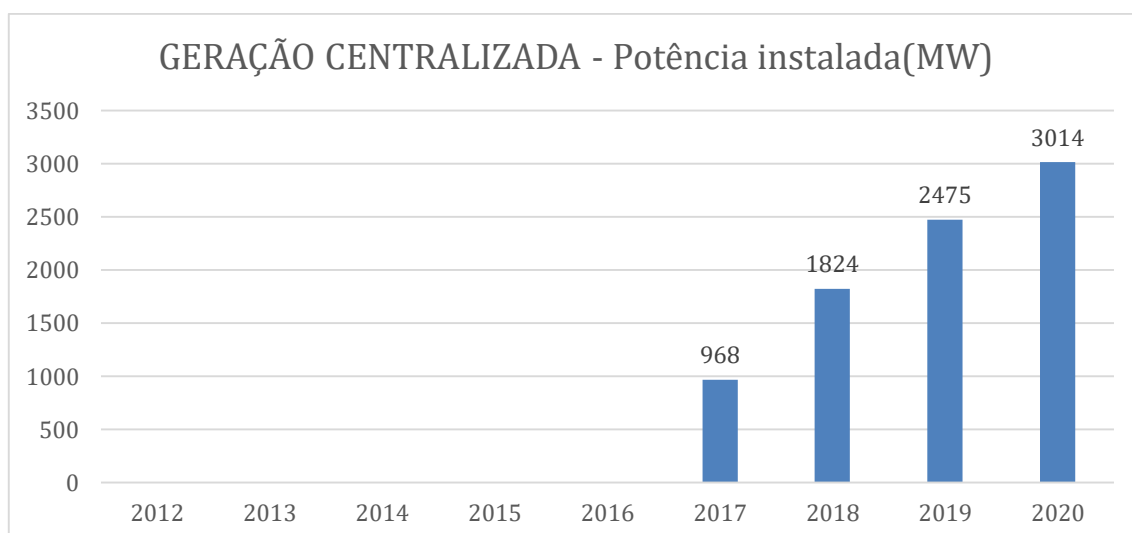


Fonte: (adaptado de ANEEL/ABSOLAR, 2020).

A busca por uma fonte de energia renovável e os incentivos fiscais adotados pelos governos alavancaram a utilização da energia fotovoltaica no Brasil, aumentando assim, o consumo de sistemas fotovoltaicos e consequentemente o número de instalações em pequenas residências, comércios, indústrias, propriedades rurais e prédios públicos.

A figura 4 mostra a geração centralizada no Brasil e a potência instalada (MW), entre o ano de 2017 a 2020.

Figura 4 - Geração Centralizada



Fonte: (adaptado de ANEL/ABSOLAR,2020)

Segundo os dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) as 6 maiores usinas solares em potência instalada no do Brasil, são:

- Usina Solar Pirapora – Pirapora – MG – 321 Megawatts;
- Usina Solar Nova Olinda – Ribeira do Piauí – PI – 210 Megawatts;
- Usina Solar Ituverava – Tabocas do Brejo Velho – BA – 196 Megawatts;
- Usina Solar Bom Jesus da Lapa – Bom Jesus da Lapa – BA – 158 Megawatts;
- Usina Solar Guaimbê – Guaimbê – SP – 150 Megawatts;
- Usina Solar Apodi – Quixeré – CE – 132 Megawatts.

2.1. Energia fotovoltaica

O Brasil recebe boa incidência de radiação solar diária durante a maior parte do ano em todo o seu território (ANEEL, 2008). Além de boa incidência de radiação solar, o Brasil possui também grandes reservas de silício, matéria prima indispensável para a produção dos painéis solares (ANEEL, 2008). Essa conjunção de fatores representa uma boa oportunidade para o investimento em pesquisa, desenvolvimento e implantação comercial de toda a cadeia tecnológica da energia solar.

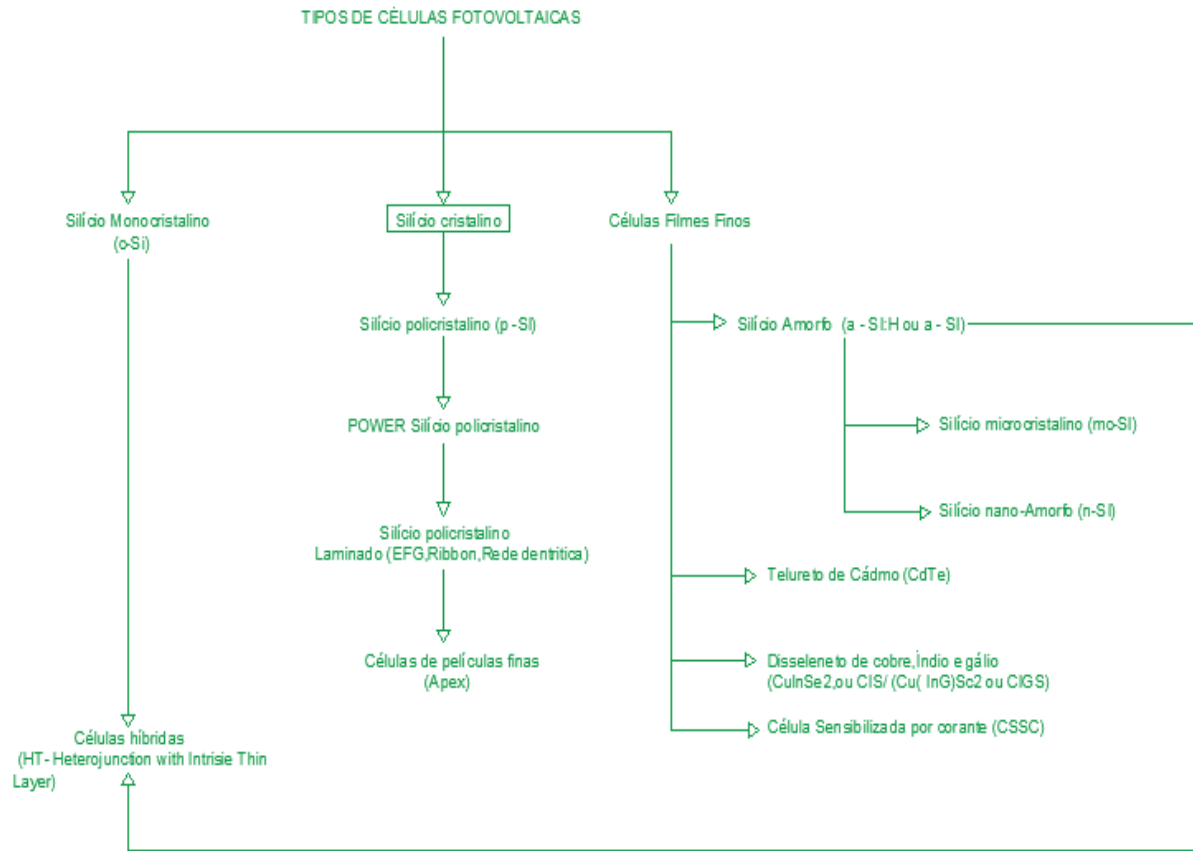
Para se ter uma dimensão do potencial de geração da energia solar fotovoltaica, caso o lago de Itaipu fosse coberto com painéis fotovoltaicos (com 8% de eficiência global de conversão e assumindo a radiação solar da região do lago), a geração seria de 183 Terawatt hora (TWh/ano), o que representaria aproximadamente 45% do total consumido pelo Brasil em 2008 (RUTHER, 2010).

2.2. Tecnologias fotovoltaicas comercialmente disponíveis

As duas principais tecnologias utilizadas na produção de células fotovoltaicas destinadas a aplicações terrestres são as células de silício cristalino, na forma de finas fatias de silício (Si), com espessura entre 0,18 e 0,25 mm e as células de filmes finos, que consiste na deposição de películas de diferentes materiais sobre uma base ou substrato (RÜTHER, 2004 apud LAMBERTS et al., 2010, p. 49). Posteriormente surgiram as células solares sensibilizadas por corante (CSSC) e as células híbridas (HIT) (IST; DGS; UE, 2004).

A figura 5 representa os tipos de células comercialmente disponíveis no mercado, divididas em grupos.

Figura 5 – Tipos de células fotovoltaicas



Fonte: (adaptado de TORRES, 2012)

Dentre as principais células fotovoltaicas citadas no fluxograma acima, as baseadas em silício cristalino são as predominantes no mercado, devido a sua alta eficiência - cerca de 11 a 16% em média, isso significa que ele converte esse mesmo percentual em energia elétrica por m² através irradiação solar incidente em sua superfície. O silício cristalino é a mais tradicional das tecnologias fotovoltaicas e a que apresenta maior escala de produção a nível comercial (86%) da produção mundial e os 14% restantes estão divididos pelos diferentes tipos de filmes finos (EPIA, 2012).

No caso das células de filmes finos, apenas uma fina camada do material fotovoltaico é depositada sobre substratos de baixo custo, como vidro, aço inox e alguns plásticos, o que possibilita o desenvolvimento de módulos flexíveis, leves, semitransparentes e com superfícies curvas, facilitando assim a integração como envelope de uma edificação (RÜTHER, 2004).

Além do silício outros elementos como telureto de cádmio (CdTe) e os compostos relacionados ao disseleneto de cobre, gálio e índio [CuInSe₂ ou CIS e Cu(InGa)Se₂ ou CIGS] também são utilizados na produção de células solares, no entanto, alguns elementos deste grupo são altamente tóxicos, como o (Cádmio – Cd, Selênio - Se, Telúrio –Te), ou muito raros

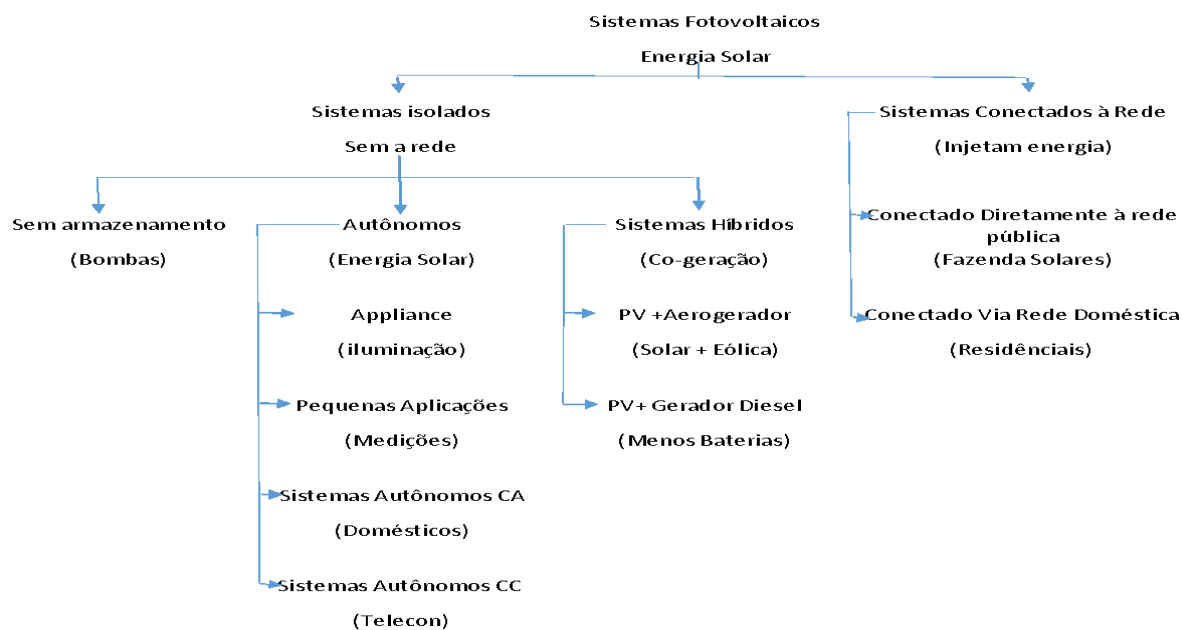
(Telúrio Te, Selênio - Se, Gálio - Ga, Índio -In, Cádmió Cd), ou ambos, o que inicialmente se mostrou um obstáculo considerável ao uso mais intensivo destas tecnologias (RÜTHER, 2004).

De acordo com Ferreira (2017) a maioria das tecnologias das células solares estão usando produtos químicos perigosos para obter maiores eficiência de conversão. A limpeza dos materiais, geralmente determina a eficiência de conversão das células e painéis solares. As células solares mais eficientes são cristalinas únicas, que precisam de grandes esforços tóxicos e uso químico. A produção de células fotovoltaicas envolve perigos químicos relacionados aos materiais como: toxicidade, corrosividade, inflamabilidade e explosividade (FTHENAKIS et al., 2011).

2.3. Classificação dos sistemas fotovoltaicos

Basicamente, existem dois sistemas fotovoltaicos e eles são classificados em sistema isolado (off grid), e sistema conectado à rede (on grid) (PINHO, 2014). O fluxograma da figura 6 mostra os principais tipos de sistemas fotovoltaicos e suas principais utilizações.

Figura 6 – Sistemas fotovoltaicos



Fonte: (adaptado de BLUESOL,2020)

No sistema (on grid) a geração de energia solar está conectada à rede pública, ou seja, quando a sua unidade produz mais energia do que se consome, essa energia é enviada de volta

à rede pública e é transformada em créditos de energia que podem ser utilizados em até cinco anos.

O sistema (off grid), como não possui conexão com a rede pública de energia, necessita de um banco de baterias estacionárias, que irão armazenar todo o excesso de energia gerado pelas placas fotovoltaicas. Essa energia ficará armazenada e preparada para gerar energia para sua residência.

O sistema fotovoltaico é formado por vários componentes que permitem a geração de energia solar, sendo eles:

- Painéis fotovoltaicos: Conforme figura 7, os painéis fotovoltaicos são responsáveis por converter a radiação solar em energia, são compostos de células fotovoltaicas, que tem a sensibilidade de absorver a energia solar e gerar a eletricidade.

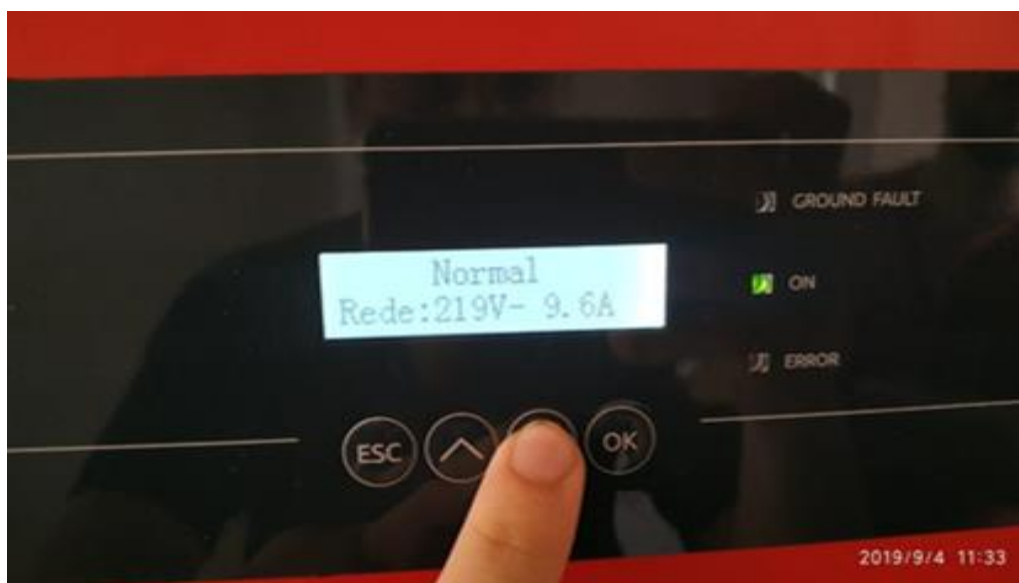
Figura 7 – Painéis fotovoltaicos



Fonte: O autor, 2020.

- Inversor fotovoltaico: Apresentado na figura 8, o inversor de frequência é o aparelho responsável por transformar a corrente contínua, gerada pelas placas solares em corrente alternada, para que possa ser utilizada pelos aparelhos elétricos.

Figura 8 – Inversor fotovoltaico



Fonte: O autor, 2020.

- Caixas Stringbox: Representadas na figura 9, as caixas Stringbox têm como função isolar o sistema de produção de energia fotovoltaica e impedir o risco de propagação de acidentes elétricos, como os curtos-circuitos e os surtos elétricos.

Figura 9 - Caixas stringbox



Fonte: O autor, 2020.

Além dos dispositivos citados, na instalação do sistema fotovoltaico são utilizados cabos elétricos de diversas bitolas, disjuntores de proteção das correntes contínuas e alternadas e conectores das placas. As estruturas de sustentação das placas são feitas de alumínio e são extremamente resistentes as intempéries do tempo.

2.4. Viabilidade ambiental e econômica da energia fotovoltaica em residência unifamiliar

Segundo o dicionário Michaelis “viabilidade” é a qualidade ou característica do que é viável ou se pode percorrer. De acordo com Torres (2012), o dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede deve considerar a localidade, orientação e consumo médio de energia elétrica de uma edificação para que as potencialidades do sol sejam melhor exploradas. Assim, os diferentes níveis de irradiação registrados nas diversas regiões brasileiras são fatores determinantes para um correto dimensionamento, ou seja, para cada localidade o sistema fotovoltaico terá um desempenho proporcional ao nível de radiação registrado. Considerando o mesmo consumo médio mensal de energia elétrica, nas cidades com menores níveis de irradiação, a potência de pico para gerar esta quantidade de energia deverá ser maior, e nas cidades onde os níveis são mais elevados, as potências dos sistemas serão menores.

De acordo com Cabello (2018), para avaliar a viabilidade da adoção do sistema fotovoltaico por consumidores residenciais, devemos levar em consideração dois aspectos principais: o custo da energia produzida por esse sistema e o custo da energia fornecida pela concessionária no local em questão, levando em conta os custos dos equipamentos e da instalação e a incidência solar de cada município brasileiro. O cálculo do custo da energia fornecida pela concessionária é feito tendo em vista o valor fornecido pela ANEEL para cada distribuidora, acrescido dos impostos incidentes na tarifa. O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços - ICMS varia de estado para estado e de acordo com a faixa de consumo em kW/h. Todos esses fatores são considerados para uma melhor estimativa do valor da tarifa. Esse valor é utilizado para calcular a razão do custo da energia produzida pela tarifa correspondente. Essa proporção é fundamental para avaliar onde a energia fotovoltaica pode ser competitiva.

Em relação a viabilidade ambiental, de acordo com Santos (2008), percebe-se que as fontes de energia hidrelétrica possuem uma atuação bastante representativa na matriz energética brasileira. É possível caracterizá-las como uma alternativa de produção de energia limpa, no entanto, a instalação de usinas hidrelétricas causa danos socioambientais consideráveis, como a expulsão de povoados, os alagamentos de extensas áreas, os quais podem gerar desequilíbrio do ecossistema local, dentre outros impactos negativos. Tais notações, quando comparadas aos benefícios que a energia solar pode trazer por ser uma fonte renovável, praticamente inesgotável e com quase total ausência de poluição, permitem afirmar que ela seja uma alternativa promissora e eficaz.

2.5. Pegada ecológica

A pegada ecológica é uma ferramenta de avaliação, proposta por Wackernagel e Rees (1996), que representa o espaço ecológico necessário para sustentar um determinado sistema ou unidade. Trata-se de um instrumento que contabiliza os fluxos de matéria e energia que entram e saem de um sistema econômico, convertendo-os em área correspondente de terra ou água existentes na natureza para sustentar esse sistema (VAN BELLEN, 2006).

A ideia básica apresentada pelos autores é que todo indivíduo ou região, ao desenvolver seus diferenciados processos, tem um impacto sobre a Terra, através dos recursos usados e dos desperdícios gerados. Para encontrar a pegada ecológica, calcula-se, em hectares a quantidade de terra e água produtivas utilizada para a obtenção dos recursos consumidos e para a absorção dos resíduos gerados, devendo ser de maneira geral, menor do que sua porção de superfície ecologicamente produtiva.

O uso da Pegada Ecológica como instrumento de análise, atesta seu valor como método comparativo de fácil comunicação aplicável em diferentes escalas: individual, regional, nacional e mundial.

A medida da pegada ecológica de uma cidade, por exemplo, quantifica o território circundante que cada habitante desta cidade necessita para sobreviver. Esta análise considera que o ambiente da cidade não é só o seu entorno regional imediato, mas todo o ecossistema planetário global (MARTINEZ ALIER, 1999).

Para simplificar a coleta de dados estatísticos sobre o consumo humano, o método da pegada ecológica adota uma classificação de cinco categorias: alimentação, habitação, transporte, bens de consumo e serviços.

- Área Verde: “A cobertura vegetal é de fundamental importância para que haja equilíbrio entre o solo e o clima, interferindo no processo de absorção e escoamento das águas pluviais, minimizando as altas temperaturas, tendo assim, um efeito positivo no balanço microclimático” (CRISTIANE, 2010).

. Além disso, deve-se considerar o papel que a cobertura vegetal exerce na absorção do CO₂.

- Área Construída: A impermeabilização do solo acarreta diversos problemas tanto relacionados ao escoamento e infiltração da água da chuva como ao conforto térmico, além de diminuir a quantidade de áreas verdes.

- Combustível Fóssil: Responsável pela emissão de gases que provocam o efeito estufa, principalmente o gás carbônico. Automóveis são responsáveis por 88% do 1,5 milhão de toneladas de monóxido de carbono despejadas diariamente na atmosfera (CRISTIANE,2010).

- Resíduos: Cada 3 kg de lixo produzido equivalem a 1 kg de CO₂ (igual quantidade de produção de CH₄). Contudo, é subtraída do total produzido por uma localidade a quantidade de lixo reciclável.

- Eletricidade: É tomado como parâmetro no Brasil, por ser abastecida de energia provinda de usinas hidroelétricas. A área alagada na represa de uma usina deixa de absorver CO₂, aumentando a Pegada Ecológica.

- Água: O total de água utilizada para consumo humano provém de rios, açudes e poços que estavam em equilíbrio ecológico e ao ser consumida retorna ao ambiente natural poluída tornando difícil sua absorção pela natureza.

- Carne Bovina: Criações de gado bovino são responsáveis pela emissão de 80 milhões de toneladas anuais de metano para atmosfera durante a ruminação e o esterco acrescenta mais 25 milhões de toneladas. Cada molécula de metano é 23 vezes mais eficaz para aquecer a atmosfera que a do gás carbônico. No Brasil a pecuária bovina é a maior responsável pelo desmatamento e consome grande parte da produção de grãos para seu alimento (CRISTIANE, 2010).

- Alimentos: Representam terras aráveis para o cultivo de alimento com baixa absorção de CO₂. Na agricultura são utilizados mais de 141 milhões de toneladas de pesticidas e fertilizantes no mundo para a produção de alimentos. Geração de grande quantidade de embalagens não recicláveis para seu armazenamento (CRISTIANE, 2010).

- Áreas de Ocupação Ilegal: São áreas com impacto ambiental significativo ocasionado pelas ocupações ilegais incluídas em áreas de APPs. Entre elas estão as favelas, nascentes e fundos de vales ocupados e áreas urbanizadas em terrenos com declividade acima de 45%.

A pegada ecológica é um indicador simples e compreensível que pode mostrar claramente os efeitos das ações da sociedade no meio ambiente, pela quantidade de uso da terra necessário para manter seu estilo de vida atual.

O cálculo da pegada energética a nível regional, local ou familiar mostram que o modelo de cálculo modificado para a pegada ecológica em fornecimento de energia, que foi apresentado neste artigo, é adequado para avaliar medidas no planejamento energético, ao mesmo tempo foi possível identificar economia de energia potencial, bem como potencial de

substituição de fósseis por portadores de energia renovável, a fim de tornar nossa energia sistemas de abastecimento mais sustentáveis.

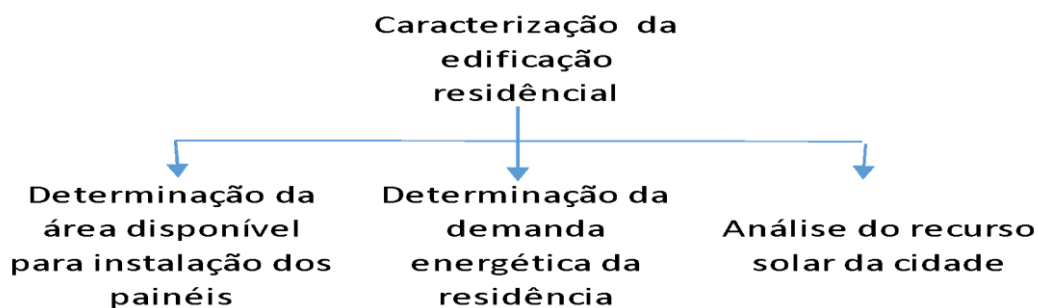
Um benefício do modelo de cálculo modificado para a pegada ecológica é representado pelo fato de que pode ser aplicada em várias fases do processo de planejamento de energia em todos os níveis de planejamento do nacional ao nível familiar.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Considerações Gerais

O trabalho consistiu em pesquisa do tipo qualitativa, com abordagem direta e indireta, com fins exploratórios e levantamento bibliográfico, com o objetivo geral de fazer uma análise da viabilidade ambiental e econômica para a implantação de sistema fotovoltaico em uma residência unifamiliar. Os estudos dos temas relevantes para a elaboração deste trabalho serviram para cumprir as etapas, conforme apresentado no fluxograma da figura 10.

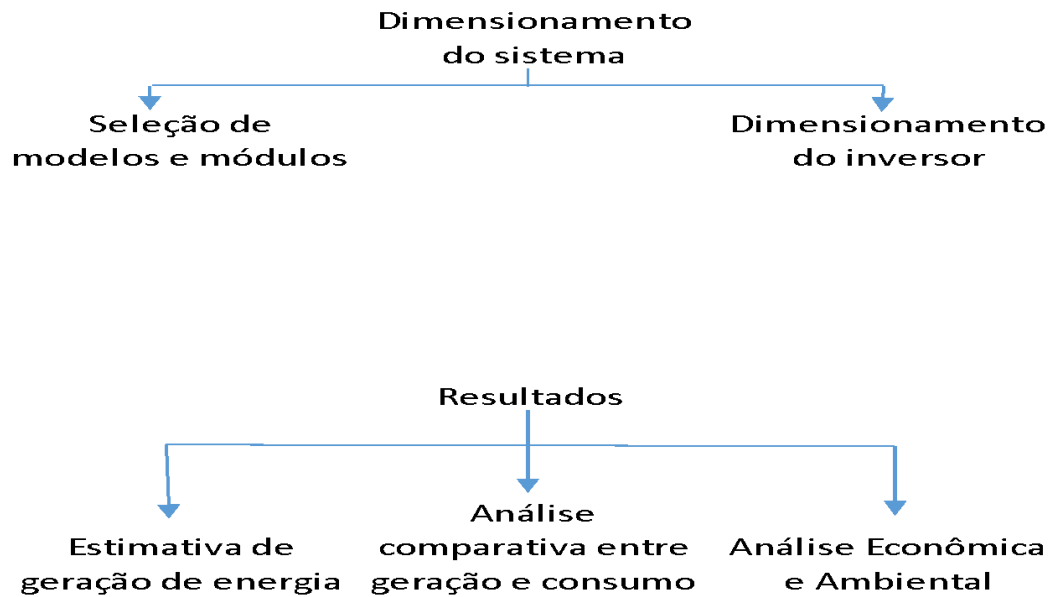
Figura 10 - Caracterização da residência



Fonte: (adaptado de TORRES, 2012)

Após a caracterização da residência, com a determinação da área disponível para a instalação dos painéis fotovoltaicos, demanda energética da residência e análise do recurso solar da região, foi realizado o dimensionamento do sistema fotovoltaico que seria implantado e análise da eficiência do sistema no sentido econômico e ambiental, levando em consideração as necessidades do cliente, de acordo o fluxograma da figura 11:

Figura 11 - Fluxograma do sistema fotovoltaico



Fonte: (adaptado de TORRES,2012)

Após o dimensionamento do sistema fotovoltaico com a escolha dos componentes, foi realizada uma análise comparativa de geração e consumo, para a análise ambiental foi utilizado a metodologia da pegada ecológica realizada a partir do cálculo da biocapacidade, da pegada ecológica e do saldo ecológico (SOLIENS, 2020). O fator de equivalência (FE) é dado pela metodologia escolhida, neste caso para área construída.

A pegada ecológica supõe que a infraestrutura e os estabelecimentos humanos estão localizados ao longo das regiões mais férteis do país, portanto, o fator de equivalência para área construída é o mesmo para área de cultivo que são os mesmos para todos os países. Um fator de equivalência de área de cultivo igual a 2,51, significa que, cada hectare real cultivado equivale a 2,51 hectares globais e indica que a produtividade média mundial de áreas de cultivo é mais que o dobro da produtividade média mundial para todas as áreas (EWING et al., 2010).

A biocapacidade é uma área determinada para satisfazer as necessidades de consumo e assimilação dos resíduos dos seus habitantes, aquilo que cada ecossistema é capaz de oferecer, também chamada de capacidade biológica. Entre 1970 e 2000, houve uma redução de 40% na capacidade biológica do planeta. Em 2001, a Pegada Ecológica mundial chegou a ser 2,5 vezes maior do que em 1961, e, enquanto nos países ricos a “pegada per capita” saltou de 3,8 para 6,6 hectares por habitantes (ha/hab), já nos países pobres ela só aumentou de 1,4 para 1,5 ha/hab, evidenciando a forma diferenciada de apropriação dos recursos naturais e das riquezas pela sociedade. Considerando o crescimento populacional, a evolução tecnológica e o

desenvolvimento econômico, até 2050 a humanidade estará consumindo 220% da capacidade biológica, mais que o dobro da capacidade da Terra (RELATÓRIO PLANETA VIVO 2006, WWF).

A fórmula para cálculo da biocapacidade é a seguinte:

$$B = \frac{(A) \times (FE)}{H}$$

Onde, (B) corresponde a biocapacidade, (A) área, (FE) fator de equivalência e (H) habitantes.

A biocapacidade se dá comparando o resultado da pegada ecológica, caso ela seja menor que a pegada ecológica, o projeto não é sustentável, pois indicará que a natureza não terá capacidade de produzir recursos naturais suficientes para o sistema implantado (SOLIENS, 2020).

Assim, a pegada ecológica é dada pela fórmula:

$$PE = \frac{\left(\frac{C}{P}\right) \times (FE)}{H}$$

Para (PE) pegada ecológica, (C) consumo, (P) produção, (FE) fator de equivalência e (H) habitantes. Para saber se a área em estudo é sustentável utiliza-se o saldo ecológico representado por:

$$SE = (B - PE)$$

Onde (SE) saldo ecológico, (B) biocapacidade e (PE) pegada ecológica. Caso o saldo seja negativo indica que os habitantes da área não são sustentáveis, apresentando um déficit ecológico. Caso contrário o estudo é apresentado como sustentável.

3.2 Local do desenvolvimento do trabalho

O sistema foi instalado em uma residência unifamiliar de aproximadamente 80m² na cidade de Jundiaí /São Paulo, como pode ser observado na figura 12.

Figura 12 - Local de instalação dos painéis fotovoltaicos



Fonte: O autor, 2020.

3.3 Coleta de dados

Para a execução do projeto fotovoltaico foi verificado as interferências e coletados os dados da residência do cliente, conforme a tabela 1.

Tabela 1 – Levantamento de dados do projeto

Média anual de consumo de energia (kWh)	283	
Área útil disponível na edificação para a instalação do sistema (m ²)	80	
Elementos que podem causar sombreamento nos painéis	Não	
Inclinação e direção dos telhados	Direção	Inclinação
	Sul - 120°	22°
Entrada de energia geral e quadros de distribuição de energia	Sim	
Tipo de conexão (Mono, bi ou trifásica) e tensão (127, 220, 380 volts)	Mono 220 volts	

Fonte: (adaptado de SOLIENS, 2020).

Foram coletados os dados sobre o consumo de energia elétrica nos últimos 12 meses, a área da edificação disponível para a instalação dos painéis solares, verificado os elementos que poderiam causar sombreamento nos painéis, direção e inclinação do telhado, entrada de energia da residência e tipo de conexão, se era monofásica ou bifásica.

3.4 Levantamento bibliográfico

Para o levantamento bibliográfico foi utilizada a metodologia apresentada no fluxograma da figura 13.

Figura 13 – Metodologia do levantamento bibliográfico



Fonte: O autor, 2020.

A pesquisa bibliográfica foi elaborada a partir de material já publicado e serviu como embasamento das etapas seguintes do trabalho.

Os temas pesquisados foram:

- (i) FRE- Fontes renováveis de energia com o objetivo de buscar dados que mostrassem as mais diversas tecnologias utilizadas no mercado, os pontos positivos e negativos e uma explicação da utilização de combustíveis fósseis e seus passivos ambientais.
- (ii) ABNT-NBR 16690/2019 – Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – Requisitos de projeto; esta Norma estabelece os requisitos de projeto das instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos, incluindo disposições sobre os condutores, dispositivos de proteção elétrica, dispositivos de manobra, aterramento e equipotencialização do arranjo fotovoltaico.
- (iii) As Resoluções Normativas 482/2012 e, atualmente, a 687/2015 editada pelo (Ministério de Minas e Energia /Agência Nacional de Minas e Energia).
- (iv) O setor de produção e comércio de painéis fotovoltaicos com o objetivo de levantar as principais características e modelos fornecidos no mercado.
- (v) O Processo de instalação do sistema fotovoltaico, com o objetivo de compreender as principais variáveis envolvidas no processo.
- (vi) Pesquisa ambiental, com a ferramenta de comunicação, a pegada pode mostrar os efeitos das medidas no sistema de energia para os usuários e ao público. Como

uma ferramenta de tomada de decisão, apoia decisões que levam a uma energia mais sustentável suprimentos.

De forma resumida, as etapas dos temas da pesquisa bibliográfica estão estabelecidas na figura 14.

Figura 14 – Temas da pesquisa bibliográfica



Fonte: O autor, 2020.

Foi realizado um levantamento bibliográfico sobre energia renovável, energia fotovoltaica, viabilidade ambiental e econômica da energia fotovoltaica e uma análise.

3.5 Implantação de sistema fotovoltaico em uma residência unifamiliar

Utilizando os dados levantados para a implantação do sistema fotovoltaico fornecidos pelo cliente, foi possível fazer o seu dimensionamento como pode ser observado na tabela 2.

Tabela 2 - Cálculo da potência do sistema fotovoltaico

Tarifa(R\$/kWh)	R\$ 0,81
Média Anual (kWh)	283
Produção desejada (kWh)	300
Radiação (hsp /dia)	4,97
Perdas (%)	25
Potência do Módulo(W)	335
Potência sugerida (Wp)	3350
Números de módulos	10
Área ocupada (m²)	20

Fonte: (adaptado de SOLIENS, 2020)

A tarifa adotada em (R\$/kWh) é fornecida pela concessionária de energia da região, para o dimensionamento do sistema fotovoltaico foram realizados os seguintes cálculos:

A média Anual de consumo, em (kWh), foi calculado somando o consumo mensal de energia, da residência, dividido por um período de 12 meses.

$$\Sigma = \frac{(315 + 268 + 239 + 268 + 226 + 251 + 269 + 312 + 327 + 303 + 304 + 308)}{12}$$
$$= 283(kwh)$$

A produção desejada é estipulada para atender a necessidade do cliente, que no caso a autossuficiência energética, foi adotado 300 (kWh), para o projeto fotovoltaico.

A radiação (hsp /dia) de 4,97, foi coletada do Atlas Brasileiro de energia solar, um dos mais usados no Brasil, elaborado pelo INPE.

A radiação geralmente é dada em kWh/m²/dia ou horas de sol pico por dia (HSP/dia), que não quer dizer o número de horas de sol em um dia, mas sim o equivalente a uma hora padrão de 1.000W/m².

No Brasil, a radiação fica entre 4 kWh/m²/dia, no Sul e 6,5 kWh/m²/dia e no interior do Nordeste.

Perdas:

Os módulos fotovoltaicos perdem eficiência quando aquecem e o coeficiente de temperatura indica o quanto de energia ele deixara de gerar a cada °C acima das condições padrões de teste (STC), ou seja, acima de 25°C.

Cada painel instalado possui 335 W de potência e a irradiação solar média na localidade é de 4,97 kWh/m², com uma perda de 25%.

➤ $335 \times 4,97 \times (1 - 0,25) = 1,248KWh/dia$

➤ $Produção\ mensal\ de\ cada\ painel\ fotovoltaico = (1,248 \times 30) = 37,44\ kWh/mês$

Considerando que a residência consome em média 300 kWh/mês, serão necessários X painéis solares para suprir essa demanda, 1 painel de 335W na região, gera em média 37,44 kWh/mês

➤ $Quantidade\ de\ paineis\ fotovoltaicos\ \frac{300}{37,44} = 8,01$

Sendo assim, para suprir a demanda de consumo de 300 kWh/mês, teremos que ter pelo menos 8 painéis no sistema fotovoltaico, foi adotado um sistema com 10 painéis para atender a potência sugerida de 3350Wp.

Para o cálculo da área necessária para instalação dos painéis fotovoltaicos foi considerado as dimensões dos painéis.

$$\text{➤ } \textit{Área} = (2,015m \times 0,996m \times 10) = 20,06m^2$$

Foi adotado para o projeto 20m².

A partir das análises dos dados e dos cálculos realizados, foram escolhidos os componentes para a instalação do sistema fotovoltaico, a saber na tabela 3:

Tabela 3 - Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Material	Quantidade
Placas solares da marca BYD, Modelo 335wp	10
Inversor Whatt-pico marca Refusol Modelo Refuone 3k	1
Caixas Stringbox da proauto &dehh	2

Fonte: (adaptado de SOLIENS, 2020)

As escolhas dos componentes para o projeto fotovoltaico da tabela 3, levou em consideração, durabilidade, eficiência e economia.

Para atender a necessidade do projeto foi escolhido a placa solar 335W da Byd, sendo este painel ideal para uso, tanto em sistemas conectados à rede, quanto em sistemas isolados com baterias e controlador de carga.

O inversor Whatt-pico marca Refusol, possibilita o monitoramento em tempo real e flexível usando o aplicativo móvel, sendo de fácil instalação e manutenção de baixo custo.

A escolha das caixas stringbox levou em consideração a segurança, pois ela serve para isolar o sistema de produção de energia fotovoltaica e impedir o risco de propagação de acidentes elétricos, como os curtos-circuitos e os surtos elétricos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise da viabilidade econômica

O preço do sistema fotovoltaico varia de acordo a demanda de energia a ser atendida na residência levando em consideração o seu porte e o número de moradores.

No cálculo do sistema a quantidade de painéis e os demais componentes a serem utilizados impacta no preço final do sistema, veja na tabela 4 os preços dos sistemas fotovoltaicos residenciais em relação a potência utilizada.

Tabela 4 - Preço dos sistemas fotovoltaicos

PREÇOS DOS SISTEMAS RESIDENCIAIS FOTOVOLTAICOS	Sistema fotovoltaico (kWp)	Valor médio (R\$)
Residência de pequeno porte com até 2 moradores	1.32	10.673,36
Residência de porte médio com até 3 moradores	2.64	17.570,00
Residência de porte médio com até 4 moradores	3.3	20.320,00
Residência grande porte com até 4 moradores	4.62	25.695,00
Residência grande porte com até 5 moradores	6.6	32.410,00
Mansões com até 5 moradores	10.56	52.240,00

Fonte: O autor, 2020.

Quanto mais alto for a potência do sistema fotovoltaico mais caro será a sua implantação, e vale ressaltar que os preços apresentados na tabela podem variar de acordo com o local de instalação, e principalmente a qualidade dos componentes utilizados.

A tabela 5 mostra o panorama geral da implantação dos painéis solares na residência, objeto da pesquisa deste trabalho, localizada na região de Jundiaí-SP.

Tabela 5 - Panorama geral da implantação do sistema fotovoltaico

Conclusão geral	Total
O investimento feito para a instalação do sistema solar	R\$ 17.000,00
Economia mensal na conta de luz	R\$ 300,70
Tempo de retorno	4º ano de utilização
Gasto com energia sem a instalação dos painéis solares (25 anos)	R\$ 37.265,48
Gasto com energia com a instalação dos painéis solares (25 anos)	R\$ 5.521,13

Fonte: (adaptado de SOLIENS,2020)

Para a instalação do sistema fotovoltaico foi utilizado 10 módulos de 335wp, 01 inversor Whatt-pico e 02 caixas stringbox, gastos com a estrutura, gastos menores e mão de obra, totalizando um investimento de R\$ 17.000,00.

A instalação dos painéis solares gerou uma economia de R\$300,7 na conta de luz e o tempo de retorno se dá no 4º ano.

Para reduzir os custos da implantação de um sistema solar, ou seja, da energia solar é necessário um aprimoramento tecnológico na fabricação das células, que as tornem mais eficientes pelo mesmo custo, ou aprimoramentos nos processos de fabricação, que as tornem mais baratas mesmo mantendo o nível atual de eficiência.

4.2 Cálculo da pegada ecológica

A Pegada Ecológica utilizada neste trabalho tem a finalidade de dimensionar o espaço ecológico necessário, que um sistema ou unidade utilizará para se sustentar é uma ferramenta utilizada para contabilizar o processo de entrada e saída de energia e matéria de um sistema econômico, transformando-os em áreas, convertendo-os em área apropriada de água e terra que serão necessários para sustentar o sistema.

Na tabela 6 encontra-se a variáveis utilizadas para o cálculo da Pegada Ecológica proposto por Wackernagel & Rees (1996).

Tabela 6 – Resultados dos cálculos da biocapacidade, Pegada ecológica e saldo ecológico

Categoria	Valores
Área atendida	0,008 ha
Fator de equivalência	2,51
Quantidade de moradores	5
Consumo dos moradores	3396 kWh/ano
Produtividade estimada do projeto	4102,02 kWh/ano
Biocapacidade	0,004 ha/pessoa
Pegada ecológica	0,415 ha/pessoa
Saldo ecológico	-0,411

Fonte: (adaptado de AZEVEDO FILHO,2018)

Utiliza-se como unidade de medida para demonstrar a pegada ecológica o “hectare Global”, no caso da residência onde foi implantado o sistema fotovoltaico a área é de 80m², na tabela 6 ela corresponde a 0,008 hectare, o fator de equivalência para áreas construídas é o mesmo das áreas de cultivo 2,51 e são os mesmos para todos os países e significa que a cada

hectare real cultivado equivale a 2,51 hectares globais e indica que a produtividade média mundial de áreas de cultivo é mais que o dobro da produtividade média mundial para todas as áreas (EWING et al., 2010).

A Pegada Ecológica utilizada neste trabalho tem a finalidade de dimensionar o espaço ecológico necessário, que um sistema ou unidade utilizará para se sustentar é uma ferramenta utilizada para contabilizar o processo de entrada e saída de energia e matéria de um sistema econômico, transformando-os em áreas, convertendo-os em área apropriada de água e terra que serão necessários para sustentar o sistema, o cálculo da pegada ecológica levando em consideração os 5 integrantes da família, foi de 0,415 hectare por pessoa e a biocapacidade 0,004 hectare por pessoa, o que tem como consequência o saldo ecológico negativo (-0,411), tornando o projeto insustentável, pois indica que a natureza não terá capacidade de produzir recursos naturais suficientes para o sistema implantado.

O modelo de cálculo modificado da pegada ecológica introduzido é, em princípio, adequado para a avaliação de medidas de política energética em relação ao desenvolvimento e a descrição quantitativa da exploração excessiva do meio ambiente.

A pegada ecológica negativa tem consequência a longo tempo para humanidade, pois se consumirmos mais do que nosso planeta é capaz de produzir, em breve enfrentaremos uma grande crise ambiental, com a falta de recursos e a diminuição acelerada da nossa biodiversidade, estima-se que atualmente nosso consumo esteja tão exagerado que, para conseguir manter nosso padrão de vida, necessitaríamos de aproximadamente um planeta e meio.

Outro fator negativo para o meio ambiente é a extração de minérios para a produção das placas solares causando prejuízos ambientais e conseqüentemente o aumento de políticas não sustentáveis na extração dos minerais e a mortandade em massa de espécies de aves que, atraídas pela luminosidade das grandes usinas fotovoltaicas, podem aproximar-se e morrer em razão do calor gerado no ambiente onde foram instalados os painéis solares.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O objetivo geral do presente trabalho de analisar a implantação de sistema fotovoltaico em residências unifamiliares foi atingido, verificou-se que a implantação do sistema fotovoltaico ainda é um pouco cara, mas isto não inviabiliza o projeto economicamente, além disso o desenvolvimento tecnológico está em constante mudança otimizando os processos de fabricação das células fotovoltaicas, reduzindo os custos e aumentando a sua eficiência.

No cálculo da pegada ecológica, o saldo ecológico apresentou o resultado de $(-0,411)$, o que torna o sistema fotovoltaico para a residência analisada, com base na viabilidade ambiental, insustentável ecologicamente, pois segundo os cálculos aqui apresentados, os moradores consomem da natureza recursos acima da biocapacidade do planeta, mesmo não havendo produção de resíduos poluentes e gases de efeito estufa.

Diante dessas discrepâncias entre a pegada ecológica dos países ricos e pobres e a apropriação dos recursos naturais com a priorização do lucro pela sociedade, parece plausível a interferência do estado na gestão dos recursos renováveis, de forma a implantar políticas públicas que protejam o meio ambiente, inibindo a sua exploração econômica só para fins lucrativos e desestimulem políticas negativas.

Este questionamento já foi ressoado pelos Marxistas, ou seja, “a energia limpa e segura só pode ser garantida se a priorização não for apenas pelo lucro econômico”.

Como pode ser observado o tema energia renovável é amplo e tem uma gama de possibilidades, a lista abaixo apresenta algumas sugestões para futuros trabalhos.

- A energia fotovoltaica e a promoção da cidadania em regiões remotas.
- A interferência do estado na produção de energia renovável e os impactos para a economia.
- As novas tecnologias fotovoltaicas e a gestão dos recursos naturais para um saldo ecológico positivo.
- A utilização do sistema fotovoltaico e o reaproveitamento do calor dissipado em chiller para piscina aquecida.
- A integração do sistema fotovoltaico, chiller e aquecedores e a gestão do consumo de energia.
- A transição energética e os impactos econômicos e ambientais para a sociedade moderna.

REFERÊNCIAS

ABNT-NBR 16690, **Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – Requisitos de projeto** 2019<<https://www.normas.com.br/assine>

ja?sig=cnFEZGtqZzlaSWFKUU1lc1F2b0NGQ0RHMWIDQjcvQ3B2Tnd6WnVXbGVkUCtmQy
svYmx6aE0rOFBBRXlia3hHYVFTQnA0YWdyOFZqNGhNcEFTYXNEY21NRS9JOGw1SnRT
U3hjSVp0dG95MExzZ1dpcExLT0VMSjMyYXNpdi9ad0Y=&u=QzM5RUEyN0YtOTAwMi00
MjU4LUJFRDIItNEVGM0VGMzc3NEVF#foco>Acesso em:09/07/2020.

ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). **Atlas de Energia Elétrico do Brasil**. 3ª edição, Brasília, 2008.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 687-2015**. Disponível em:
<<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>> Acesso em: 09/07/2020.

BARROSO, Ana Cláudia; AZEVEDO FILHO, Paulo Saldanha. **Viabilidade e sustentabilidade da energia solar fotovoltaica na habitação em Porto Velho**. Revista de Economia da UEG. Vol.14, N.º 2, jul/dez. 2018.

BlueSol energia solar. Disponível em: **Livro-Digital-de-Introdução-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf** <<https://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>> Acesso em:27/07/2020.

BlueSol energia solar. Disponível em: **Geração distribuída da ANEEL avança com energia solar fotovoltaica**<<https://blog.bluesol.com.br/geracao-distribuida-da-aneel/>> Acesso em: 02/02/2021.

Brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>.

CABELLO, A. F.; POMPERMAYER, F. M. Viabilidade econômica **de sistemas fotovoltaicos no Brasil e possíveis efeitos no setor elétrico**.

2018<http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8400/1/TD_2388.pdf> Acesso em: 09/07/2020.

CABRAL, I.; VIEIRA, R. **Viabilidade econômica x Viabilidade ambiental do uso de energia fotovoltaica no caso Brasileiro: Uma abordagem no período recente.**-2012-<<http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>> Acesso em:09/07/2020.

CRISTIANE, K. L.; MIRIAN, V. F. B. **A pegada ecológica como instrumento de avaliação ambiental para a cidade de Londrina – 2010** < A pegada ecológica como instrumento de avaliação ambiental para a cidade de Londrina (uel.br)>Acesso em 01/02/202.

FERREIRA, André dos Santos; FENATO, Alexandre Junior. Potencial Impacto Ambiental Fotovoltaica. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 06. Ano 02, Vol. 01. pp 228-242, Setembro de 2017. ISSN:2448-0959.

IRENA (International Renewable Energy Agency). **Transformação energética global: um roteiro para 2050** – 2019. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition>>Acesso em: 17/07/2020.

LUZ SOLAR. **Principais benefícios da energia solar-2019.** Disponível em: <<https://luzsolar.com.br/beneficios-da-energia-solar/>>Acesso em : 17/07/2020

PARAJARA, F. **Poluição mata mais que Aids e transito juntos em São Paulo.** O GLOBO,São Paulo: 14 de outubro de 2008.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas**

PINHO et. al. **“Manual De Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos”** – 2014.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil.** Editora UFSC / LABSOLAR, Florianópolis, 2004. 114p.

SANTOS, I. P. **Integração de painéis solares fotovoltaicos em edificações residenciais e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista. 2009.** 126p.Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,2009. Disponível em:

<<http://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/92927/263068.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 01 de outubro de 2020.

SANTOS, M. G. R. S. & MOTHÉ, C. G. **Fontes Alternativas de Energia**. Revista Analytica. Nº 32. Dezembro 2007/janeiro 2008.

SOLIENS, **Fundamentos-de-Energia-Solar-Fotovoltaica-Soliens-VA**, 2018<<https://www.soliens.com.br/wp-content/uploads/2018/09/Fundamentos-de-Energia-Solar-Fotovoltaica-Soliens-VA.pdf>> Acesso em: 06/07/2020.

TORRES, R.C, **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 164 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

BIBLIOGRAFIA

ABRADEE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifas de energia elétrica.** Brasília: Abradee, [s.d.]. Disponível em: <http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/tarifas-de-energia/tarifas-de-energia>> Acesso em: 05/07/2020.

BARBIERI, J. C. **Gestão ambiental.** 4 ed. São Paulo: Saraiva, 2016.