

THAMYRES MACHADO DAVID

**Identificação de aspectos potenciais para gestão de sistemas solares
fotovoltaicos em residências**

Thamyres Machado David

**Identificação de aspectos potenciais para gestão de sistemas solares
fotovoltaicos em residências**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na área de Gestão de Operações.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Paloma Maria Silva Rocha Rizol

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Marcela Aparecida Guerreiro Machado de Freitas

Coorientador: Prof. Dr. Gilberto Paschoal Buccieri

David, Thamyres Machado

D249i Identificação de aspectos potenciais para gestão de sistemas solares fotovoltaicos em residências / Thamyres Machado David – Guaratinguetá, 2020.

94 f : il.

Bibliografia: f. 80-89

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2020.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Paloma Maria Silva Rocha Rizol
Coorientadores:
Prof^ª Dr^ª Marcela A. G. Machado de Freitas

Prof. Dr. Gilberto Paschoal Buccieri

1. Energia solar. 2. Sistemas de energia fotovoltaica. 3. Geração distribuída de energia elétrica. I. Título

CDU 620.91(043)



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

THAMYRES MACHADO DAVID

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO"

PROGRAMA: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO: MESTRADO

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Prof. Dr. Otávio José de Oliveira
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. PALOMA MARIA SILVA ROCHA RIZOL
Orientador / UNESP/FEG
participou por videoconferência

Prof. Dr. TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA
UNESP/FEG
participou por videoconferência

Prof. Dr. FABRÍCIO MACIEL GOMES
USP
participou por videoconferência

Julho de 2020

DADOS CURRICULARES

THAMYRES MACHADO DAVID

NASCIMENTO	12.01.1993 – São João de Meriti / RJ
FILIAÇÃO	Arthur David Filho Ana Lúcia Machado
2013/2017	Curso de Graduação - Bacharel em Engenharia de Produção UNESA – Resende RJ
2018-2020	Curso Pós-Graduação <i>Stricto Sensu</i> Mestrado em Engenharia de Produção FEG/UNESP

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo apoio e generosidade. Em especial a minha filha Maria Clara, que mesmo sendo muito nova demonstrou paciência e compreensão.

À minha orientadora Profa. Dr^a. Paloma Maria Silva Rocha Rizol, minha coorientadora, Profa. Dr^a. Marcela Aparecida Guerreiro Machado de Freitas e meu coorientador, Prof. Dr. Gilberto Paschoal Buccieri pela amizade, confiança e oportunidade para desenvolver este trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro concedido durante o curso.

Às funcionárias da Biblioteca do Campus de Guaratinguetá pela dedicação, presteza e principalmente pela vontade de ajudar.

Aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá pela dedicação e alegria no atendimento.

Gratidão eterna a todos vocês.

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - código de financiamento 001."

RESUMO

A produção de energia gera, em alguns casos, impacto ambiental por fatores pertinentes como o uso de combustíveis fósseis ou até mesmo desmatamento. A relevância do assunto remete a acirrada urgência de melhores métodos para otimização no setor energético, sendo este o foco da pesquisa. Considerando a preocupação com o consumo eficiente de energia e com o meio ambiente, este trabalho propôs identificar aspectos potenciais para implantação de sistemas fotovoltaicos em residências. O método aplicado aborda: uma revisão abrangente da literatura, em fontes institucionais do governo e em informações fornecidas por empresas do ramo energético; dois questionários envolvendo especialistas e tomadores de decisão limitando-se ao setor residencial; utiliza uma importante ferramenta para ponderação dos aspectos identificados e a aplicação do método por meio de um estudo de caso. Como resultado foram obtidos seis aspectos (“Desconhecimento sobre o tema”; “Falta de prioridade”; “Cultural”; “Uniformização de normas”; “Falta de influenciadores” e “Custos”) mais relevantes divididos em dois grupos de classificação (Fatores Internos e Fatores Externos) e uma economia de energia em 50% mensais no estudo de caso comparado com a tarifa paga para a concessionária convencional.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar fotovoltaica. Gestão energética. Geração distribuída.

ABSTRACT

The production of energy generates, in some cases, an environmental impact due to relevant factors such as the use of fossil fuels or even deforestation. The relevance of the subject points to the urgent need for better methods for optimization in the energy sector, which is the focus of the research. Considering the concern with efficient energy consumption and the environment, this work proposed to identify potential aspects for the implementation of photovoltaic systems in homes. The applied method addresses: a comprehensive review of the literature, in institutional government sources and in information provided by companies in the energy sector; two questionnaires involving specialists and decision makers limited to the residential sector; uses an important tool for weighting the identified aspects and applying the method through a case study. As a result, six aspects were obtained ("Lack of knowledge about the theme"; "Lack of priority"; "Cultural"; "Standardization of standards"; "Lack of influencers" and "Costs") most relevant divided into two classification groups (Internal Factors and External Factors) and an energy saving of 50% per month in the case study compared to the tariff paid for the conventional concessionaire.

KEYWORDS: Photovoltaic solar energy. Energy management. Distributed generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Publicações de 2000 a 2018 (“solar”, “energy” e “management”).....	16
Figura 2 - Comparativo da matriz energética chinesa de 2011 e 2017.....	21
Figura 3 - Comparativo da matriz energética dos Estados Unidos de 2011 e 2017.	23
Figura 4 - Comparativo da matriz energética do Japão de 2010 e 2017.	25
Figura 5 - Comparativo da matriz energética da Alemanha de 2011 e 2017.....	27
Figura 6 - Comparativo da matriz energética da Itália de 2011 e 2017.....	29
Figura 7 - Matriz energética do Brasil em 2018.....	32
Figura 8 – Fluxograma para o método de pesquisa	40
Figura 9 - Principais processos de interação da radiação solar e da radiação térmica.	48
Figura 10 – Percentual de participação por classes.	49
Figura 11 – Questionário aberto aplicado.....	55
Figura 12 – Questionário fechado aplicado.....	56
Figura 13 - Processo de aplicação do questionário.	60
Figura 14 - Taxas de Consistências das matrizes de comparação paritária.	65
Figura 15 – Prioridades relativas: Fatores internos.	65
Figura 16 – Prioridades relativas: Fatores externos.....	66
Figure 17 - Localização panorâmica real da propriedade.....	69
Figure 18 – Implementação das diretrizes propostas.....	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais revisões das resoluções.....	44
Quadro 2 - Bandeiras tarifárias.....	47
Quadro 3 - Custos de um sistema FV	50
Quadro 4 - Características dos especialistas.....	54
Quadro 5 - Exemplo ilustrativo: Critérios e alternativas.....	58
Quadro 6 - Aspectos mais relevantes.....	62
Quadro 7 - Aspectos divididos por grupos	63
Quadro 8 - Dados do projeto	70
Quadro 9 - Custo total	70
Quadro 10 - Histórico bandeiras tarifárias (2015 a 2019) e custo total de acréscimo.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuidoras e quantidade de unidades consumidoras com geração distribuída. .42	42
Tabela 2 - Média tarifária residencial por regiões 45	45
Tabela 3 – Bancos que oferecem financiamentos..... 46	46
Tabela 4 - Classe Social pela média da renda domiciliar 49	49
Tabela 5 - Valores de ACI..... 59	59
Tabela 6 - Matriz 1 de comparação e normalização dos aspectos do Grupo Fatores Internos .64	64
Tabela 7 - Matriz 2 de comparação e normalização dos aspectos do Grupo Fatores Externos 64	64
Tabela 8 - Testes de consistência da Matriz 1..... 64	64
Tabela 9 - Testes de consistência da Matriz 2..... 64	64
Tabela 10 - Consumo médio (kWh) 67	67
Tabela 11 - Cálculo das tarifas..... 68	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEP	Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
AHP	Processo Hierárquico Analítico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BNN	Base Naval de Natal
CeIMNa	Centro de Intendência da Marinha em Natal
CEPEL	Centro de Pesquisa de Eletricidade
CNPJ	Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
EUA	Estados Unidos
FIT	Tarifas <i>feed-in</i>
GD	Geração Distribuída
GSF	Risco hidrológico
GTEF	Grupo de trabalho de Energia Solar Fotovoltaica
GW	Gigawatt
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt-hora
LCOE	Custo nivelado de eletricidade
MW	Megawatt
PIS	Programas de Integração Social
PLD	Preço de liquidação de diferenças
POF	Pesquisa de Orçamento Familiar
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
SF	Sistema fotovoltaico
SFCR	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede
SGE	Sistema de gestão da energia
TE	Tarifa de Energia Consumida
TUSD	Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição
TWh	Terawatt-hora
UCGD	Unidades consumidoras com geração distribuída
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
Wp	Watt-pico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS.....	15
1.2	DELIMITAÇÃO.....	15
1.3	JUSTIFICATIVA.....	16
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL E EM PAÍSES LÍDERES NO SEGMENTO	19
2.1.1	China	20
2.1.2	Estados Unidos	22
2.1.3	Japão	24
2.1.4	Alemanha	26
2.1.5	Itália	27
2.1.6	Brasil	30
2.2	EMBASAMENTO DA PESQUISA	33
2.2.1	Diretrizes de Geração Distribuída de Sistemas Fotovoltaicos	33
2.2.2	Barreiras que Impedem à Implantação de Energia Solar	34
2.2.3	Avaliação de Viabilidade de Projetos Fotovoltaicos Residenciais	34
2.2.4	Subsídios Solares no Setor não Residencial	35
2.2.5	Setor de Energia Elétrica Brasileiro: Dilemas da Regulação	35
2.2.6	Desafios e Perspectivas da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil – Geração Distribuída	35
2.2.7	Estudo de Caso de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede	36
2.2.8	Análise da Viabilidade Técnica e Econômica de um Gerador Fotovoltaico	36
2.2.9	Geração Fotovoltaica Distribuída em Ambiente de Tarifas Diferenciadas	37
3	MÉTODO	38
3.1	INTRODUÇÃO.....	38
3.2	CLASSIFICAÇÃO DE PESQUISA	39
3.3	CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA	41
3.4	INCENTIVO DO ESTADO DE SÃO PAULO.....	42
3.5	RESOLUÇÕES DA ANEEL.....	43
3.6	TARIFAS.....	45

3.7	FINANCIAMENTO.....	46
3.8	BANDEIRAS TARIFÁRIAS	47
3.9	IRRADIAÇÃO SOLAR.....	47
3.10	RENDA MENSAL	49
3.11	CUSTOS.....	50
3.12	METODOLOGIA DE CÁLCULO	51
3.13	ESPECIALISTAS	53
3.14	MÉTODO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS	55
3.15	FERRAMENTAS EMPREGADAS.....	57
3.15.1	Método - Processo Hierárquico Analítico (AHP)	57
3.15.2	Ferramenta de pesquisa.....	59
3.16	DESAFIOS ENCONTRADOS	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1	DADOS COLETADOS.....	62
4.2	ESTUDO DE CASO	66
4.2.1	Dimensionamento	69
4.3	PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES.....	73
5	CONCLUSÃO	78
	REFERÊNCIAS	80
	APÊNDICE A	90
	APÊNDICE B	91
	APÊNDICE C	92
	APÊNDICE D	94

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a participação das energias renováveis nas matrizes energéticas de países desenvolvidos e em desenvolvimento cresce significativamente. Com destaque para a energia solar, considerada uma fonte limpa, livre de ruídos e que em 2017 foi a principal fonte de nova capacidade de energia em vários mercados importantes, incluindo China, Índia, Japão e Estados Unidos (REN21, 2018). O seu crescimento superou as expectativas apesar dos seus custos de investimento ainda serem considerados altos. A expansão do mercado solar no mundo é devida em grande parte à crescente competitividade da energia solar fotovoltaica, combinada com a crescente demanda por eletricidade e a crescente conscientização do potencial da tecnologia para mitigar a poluição, reduzir a emissão de dióxido de carbono e fornecer acesso à energia a quem não possui pelas concessionárias convencionais energéticas (REN21, 2018).

A produção de energia gera, em alguns casos, impacto ambiental por fatores pertinentes como o uso de combustíveis fósseis ou até mesmo desmatamento. Nos últimos anos, foram desenvolvidas muitas pesquisas na busca do desenvolvimento sustentável (BOCKEN et al., 2014; FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR, 2015). A relevância do assunto remete a acirrada urgência de melhores métodos para otimização no setor energético, sendo este último foco do trabalho. No Brasil, cujo crescimento no consumo de energia elétrica foi de 29% de 2006 a 2016 (EPE, 2018), mais de 60% da geração é obtida por meio de hidrelétricas. Com o desenvolvimento sustentável que se busca, essa energia não é apoiada por ambientalistas (por ser geradora de impactos ambientais como socioeconômicos, culturais e ambientais) e vem baixando seus níveis percentuais de participação na matriz energética brasileira. A energia solar vem crescendo sua participação, porém ainda não chega a representar 1% do total (ANEEL, 2017; QUEIROZ et al., 2013). Devido à importância do assunto mencionada, o gerenciamento de energia solar tem sido uma parte importante de pesquisa desde a década de 1970. Entre os anos 1990 e 2000, os poucos artigos encontrados se concentram em duas temáticas: energia solar para aquecimento (HURST, 1990; PEIPPO et al., 1991; DAVIDSON et al., 1992; MISRA, 1994) e estudos e desenvolvimento da energia solar em países desenvolvidos (JAIN, 1994; VAN DE WATER, 1994; AL-ATHEL, 1997) que visavam a aplicação deste tipo de geração. Nesse período em questão não houve publicações expressivas no que diz respeito a gerenciamento de energia devido a falta de desenvolvimento da tecnologia. Publicações significativas começaram no início dos anos 2000 (KAMAT, 2007; FTHENAKIS et al., 2009). Assim, por meio do crescimento sobre o tema e a amplitude de áreas que se relacionam com as energias renováveis, pode-se considerar o campo da otimização e modelagem como um segmento importante para

inserção de estudos (SUGANTHI et al., 2015).

Ao identificar as lacunas científicas percebe-se a falta de análises no que diz respeito a gerenciamento de energia solar abordando todos os fatores que podem afetar uma gestão relevante como os custos dos sistemas solares; eficiência do sistema; irradiação solar incidente; demanda de energia, bandeiras tarifárias, impostos e tarifas de energia. A oscilação nos dados que são abordados por este gerenciamento corroboram para uma análise em que reduzir o grau de subjetividade e incerteza se torna relevante.

Considerando a preocupação com o consumo eficiente de energia e com o meio ambiente, este trabalho propôs identificar as possibilidades de implantação dos sistemas fotovoltaicos em residências. A metodologia aplicada aborda: uma revisão abrangente da literatura, em fontes institucionais de governo e em informações fornecidas por empresas do ramo energético; dois questionários envolvendo especialistas e tomadores de decisão limitando-se ao setor residencial; e utiliza uma importante ferramenta para ponderação dos aspectos identificados. Nesse sentido, a questão de pesquisa que norteia este trabalho é: Quais aspectos devem ser considerados relevantes para a implementação de um projeto fotovoltaico em residências?

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é identificar aspectos potenciais para a implantação de sistema fotovoltaico em residências.

Como objetivos específicos têm-se:

- Identificar os aspectos mercadológico, legislativo, ambiental, social e econômico mais importantes de sistemas solares fotovoltaicos em residências;
- Identificar o potencial da geração fotovoltaica em relação a condições morfológicas/espaciais, de instalação e exposição dos painéis fotovoltaicos à radiação solar por meio de um estudo de caso; e
- Comparar as políticas públicas referentes a energia solar fotovoltaica no Brasil com outros países líderes no segmento.

1.2 DELIMITAÇÃO

Em vista da diversidade atribuída ao tema de pesquisa, o trabalho foi delimitado na análise gerencial de implementação de sistemas fotovoltaicos em residências com foco em duas

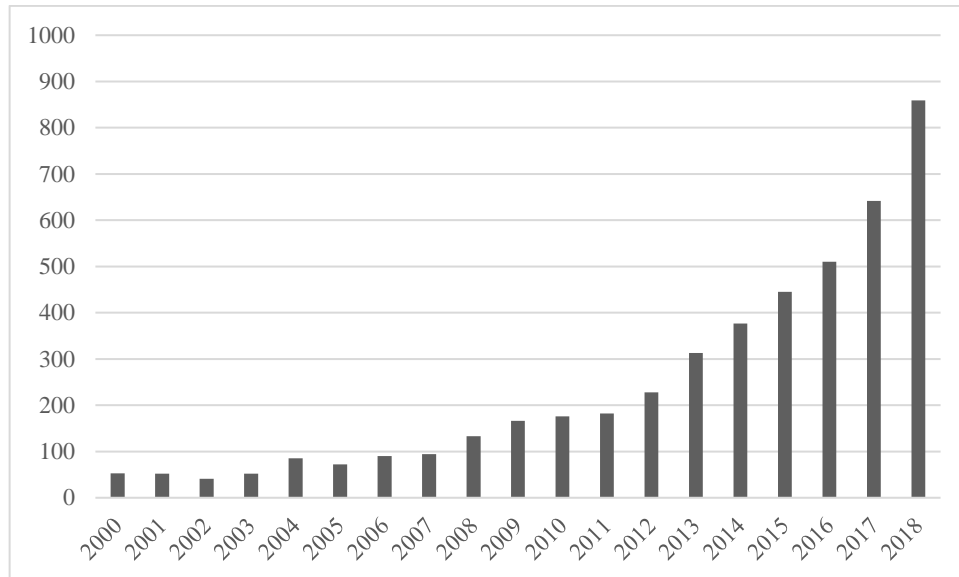
vertentes: a primeira limitou-se em realizar uma revisão da literatura, em fontes institucionais de governo e informações fornecidas por empresas do ramo energético que deu suporte para a segunda vertente que foi a aplicação do método (o estudo de caso).

Para o estudo de caso foi considerado que: em relação ao consumidor da residência é caracterizado pelo perfil de consumo do grupo B com tensão inferior a 2,3kV, subgrupo B1 (Resolução 414 da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL), limitado a residencial (ANEEL, 2010) e para a tarifa de energia que será usada na análise, limitou-se na modalidade tarifária convencional monômnia (sendo direcionada aos consumidores do grupo B independentemente das horas de utilização do dia).

1.3 JUSTIFICATIVA

A fonte energética que predomina no Brasil é a hidrelétrica, representada por mais de 60% da geração (ANEEL, 2019). Mesmo sendo uma energia limpa, seu impacto ambiental é grande além de ter alguns custos que poderiam ser evitados com a substituição por uma fonte energética que tenha o aspecto de Geração Distribuída (GD). Um destes custos são as perdas de energia elétrica que ocorrem nas linhas de transmissão. Em 2017, as perdas somaram 98,1 terawatt-hora (TWh) de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2018), só o valor dessas perdas fica calculado em mais de R\$49.050.000.000 de reais (com base na média tarifária do Brasil de R\$0,523/quilowatt-hora - kWh) (ANEEL, 2017). Valor este que poderia ser evitado com a geração distribuída da energia solar fotovoltaica pela autonomia de produzir a própria energia e não depender das linhas de transmissão. Em vista disso, com o desenvolvimento sustentável que se busca, as hidrelétricas não são apoiadas por ambientalistas e vem baixando seus níveis percentuais de participação. A energia solar vem crescendo sua participação, porém ainda não chega a representar nem 1% do total (ANEEL, 2019). A Figura 1 apresenta uma tendência de crescimento em relação a pesquisas com tema gestão de energia solar. Os dados obtidos na base de dados Scopus mostram o número de publicações sobre a gestão de energia solar fotovoltaica em um período de 18 anos. Uma tendência identificada foi o número de estudos que aumentou expressivamente ao longo dos anos. A relevância da gestão de energia solar fotovoltaica na literatura cresceu significativamente nos últimos 5 anos, com uma tendência a aumentar ainda mais. Com isso pode ser visto a importância do tema em si.

Figura 1 - Publicações de 2000 a 2018 (“solar”, “energy” e “management”)



Fonte: Scopus (2019).

De 2000 a 2003 o foco eram as pesquisas de desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica; avaliações dos riscos de geração e o efeito fotovoltaico. A partir de 2004, as células fotovoltaicas; o design de equipamentos; a gestão de projetos; políticas energéticas; a disseminação dos veículos elétricos e a redução de custos foram os destaques. Em 2009, começaram os estudos de implementação da energia fotovoltaica como a geração distribuída; as preocupações ambientais; as análises de investimentos, políticas de incentivos e sistemas de armazenamento de energia. Em 2014, o número de publicações aumentou expressivamente e seguiu assim nos anos seguintes. Neste ano, as preocupações ambientais cresceram e pesquisas sobre gases de efeito estufa, alterações climáticas e desenvolvimento sustentável foram cada vez mais abordadas. Em 2015, com vários estudos e pesquisas sobre os sistemas fotovoltaicos realizadas, foi a época da eficiência energética. Buscou-se qualidade na energia, eficiência de conversão, potência de energia e rede de transmissão eficaz. A partir de 2016 até maio de 2018 observaram-se muitos estudos de implantação da geração fotovoltaica, estudos de casos e também muito disseminada a construção de plantas solares.

Com base na literatura científica de estudos mais recentes que abordam o tema gestão de energia solar, alguns autores propõem tendências futuras de pesquisa que corroboram com o presente trabalho como a espera que mais esforços de pesquisa sejam dedicados às tecnologias fotovoltaicas em um futuro próximo para aumentar sua eficiência, estabilidade e disponibilidade, reduzir os custos do balanço do sistema e reduzir os custos dos equipamentos e a análise técnico econômica e de custos de diferentes componentes do sistema que será útil para estudar a viabilidade tecnológica e a viabilidade econômica de todo o sistema fotovoltaico

(KABIR, et al., 2018; SANSANIWAL; SHARMA; MATHUR, 2018).

Diante disso, tomando-se como lacuna de pesquisa, pretende-se possibilitar uma ferramenta de auxílio a decisão de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) no que diz respeito a residências, a fim de identificar quais aspectos são considerados mais importantes na tomada de decisão.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto por cinco capítulos, dentre as quais o primeiro apresenta a introdução juntamente com a questão de pesquisa, objetivos gerais e específicos, a delimitação da pesquisa e a justificativa.

No segundo capítulo evidencia-se o referencial teórico utilizado no trabalho por meio da explicação de elementos essenciais à esta pesquisa como: trabalhos que embasaram para a revisão de literatura, evolução da política energética e políticas públicas do Brasil e de países líderes no segmento. O terceiro capítulo apresenta o método utilizado no trabalho, assim como a classificação científica desta pesquisa e suas fases de execução. No quarto capítulo observa-se os resultados e discussão do trabalho e o estudo de caso. Por fim, no último capítulo as considerações finais do trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A participação da fonte de energia solar é visível e crescente no mundo todo. As maiores potências nesse segmento energético (China, Estados Unidos, Japão, Alemanha e Itália) se motivaram por diversos contextos que são listados nas subseções a seguir. É abordado também a evolução política energética do Brasil desde 1970.

2.1 IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL E EM PAÍSES LÍDERES NO SEGMENTO

Ao longo dos anos, a participação das energias renováveis nas matrizes energéticas de países desenvolvidos e em desenvolvimento cresce significativamente, com destaque para a energia solar, considerada uma fonte limpa, livre de ruídos e que, em 2017, foi a principal fonte de nova capacidade de energia em vários mercados importantes, incluindo China, Índia, Japão e Estados Unidos. O seu crescimento superou as expectativas apesar dos seus custos de investimento ainda serem considerados altos. A expansão do mercado solar no mundo é devido, em grande parte, à crescente competitividade da energia solar, combinada com a crescente demanda por eletricidade e a crescente conscientização do potencial da tecnologia para mitigar a poluição, reduzir a emissão de dióxido de carbono e para fornecer acesso à energia a quem não possui pelas concessionárias convencionais energéticas (REN21, 2018).

O Brasil apresenta um crescimento desta fonte energética, porém tímido se considerarmos o grande potencial solar presente em território nacional. Por exemplo, na Alemanha, líder de capacidade instalada no ano de 2015, a região com a maior incidência de irradiação solar não ultrapassa os índices de irradiação solar no local com menor incidência no Brasil (DAVID; SABBADINI, 2017). A irradiação solar é usada nos sistemas fotovoltaicos na conversão de energia para consumo, por isso, quanto maiores os índices de irradiação, mais energia é produzida.

As maiores potências no segmento solar para a capacidade instalada são: China, Estados Unidos, Japão, Alemanha e Itália (REN21, 2018). Entretanto, novos mercados estão surgindo, e países de todos os continentes começaram a contribuir significativamente para o crescimento global. No final de 2017, pelo menos 29 países tinham 1 gigawatt (GW) ou mais de capacidade.

As seções a seguir abordam as políticas públicas energéticas das maiores potências no segmento de energia solar e uma análise mais detalhada do Brasil levando-se em conta a

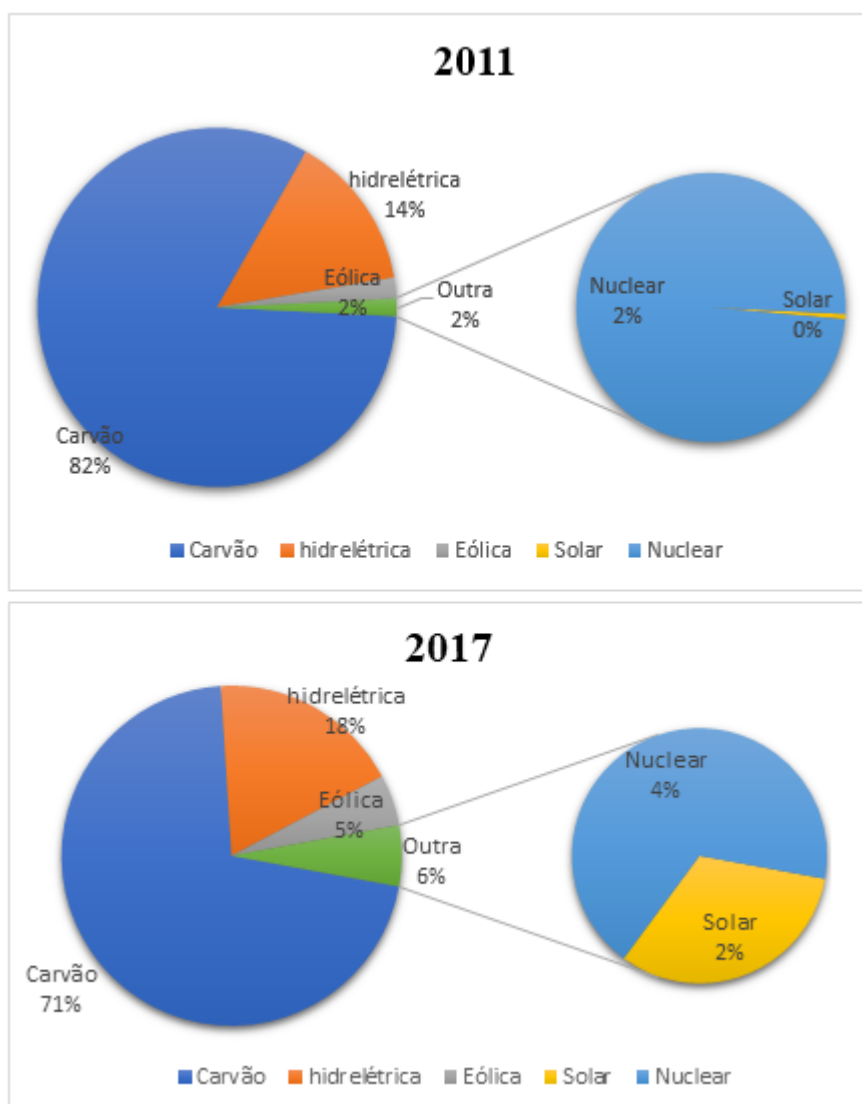
evolução política energética desde os anos 1970, o estado atual da matriz energética do setor residencial e as tarifas, legislações e incentivos financeiros para este setor.

2.1.1 China

No país mais populoso do mundo, um motivo maior o fez tornar-se o líder no segmento solar: a busca pela qualidade do ar. Tendo em vista que o carvão é o único recurso fóssil disponível em grande quantidade no país, o uso do carvão como fonte de energia primária causa inúmeros problemas ambientais, colocando a qualidade do ar das cidades chinesas entre as piores do mundo (HANG et al., 2008).

A reserva de gás natural per capita chinesa representa números muito baixos, por isso, a China depende em grande medida das importações. Assim, grande parte das receitas de exportação da China teria que ser paga pelas importações, e a economia poderia ter que sofrer com mudanças no preço da energia no mercado mundial. Nesse sentido, os chineses viram como a única maneira de reduzir a dependência das importações e os problemas ambientais causados pela combustão de combustíveis fósseis o uso fontes de energia renovável (HANG et al., 2008). A Figura 2 apresenta um comparativo das matrizes energéticas chinesas do período de 2011 e 2017. Na Figura pode ser observado como o uso das fontes solar e eólica se desenvolveram ao longo dos anos.

Figura 2 - Comparativo da matriz energética chinesa de 2011 e 2017.



Fonte: China Electricity Council (2011); China Electricity Council (2017).

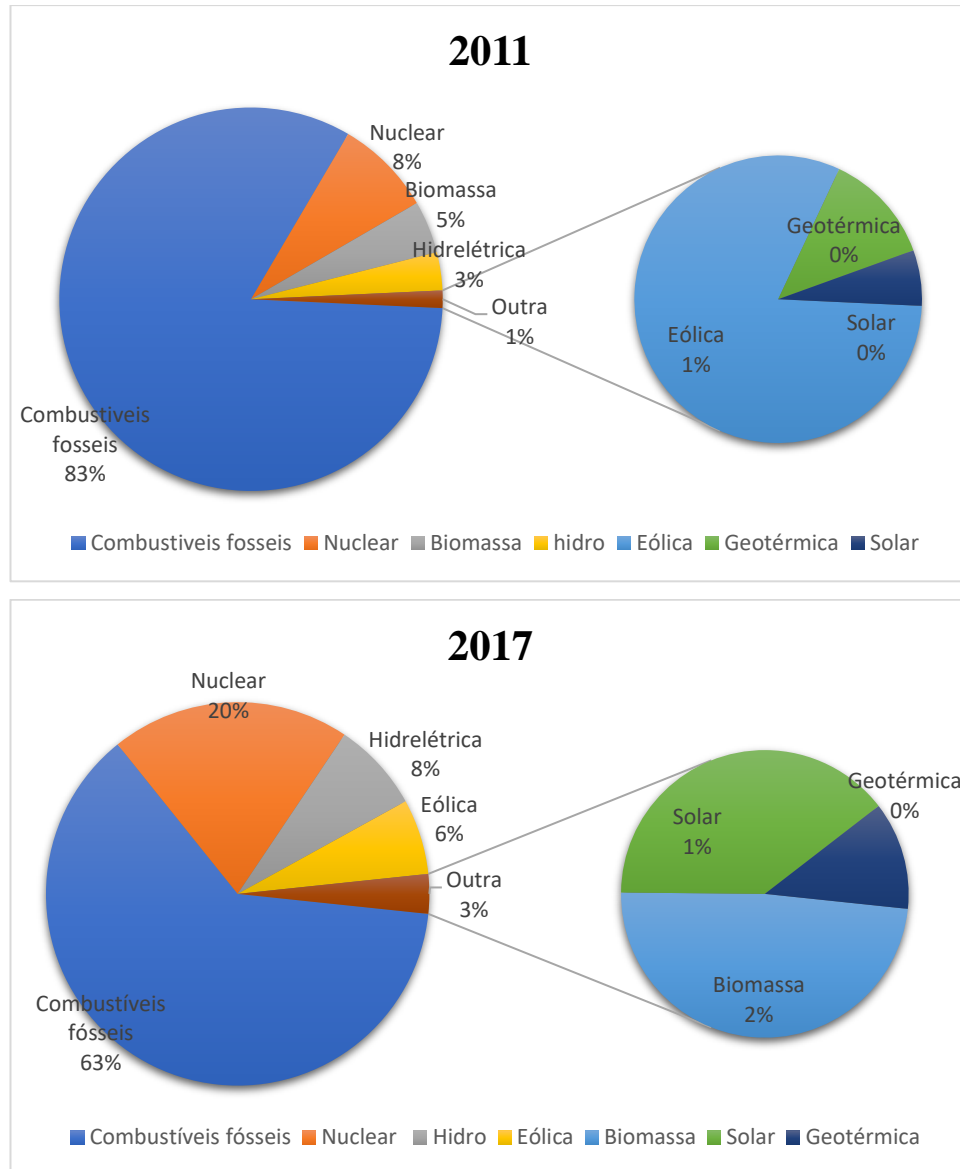
A China iniciou a transformação de um sistema de energia baseado em carvão com altos custos ambientais para um sistema de energia de baixo carbono e ambientalmente sustentável (CNREC; ENERGY RESEARCH INSTITUTE OF ACADEMY OF MACROECONOMIC RESEARCH, 2017). Os esforços em termos de políticas públicas começaram a partir de 2009, quando planos e programas de subsídios como o “*Solar Rooftop Plan*” e os “*Golden Sun Demonstration Projects*” destinados a apoiar o desenvolvimento da indústria chinesa de energia solar, incluindo licenças de usinas solares foram criados. Os planos visavam usinas de energia solar em grande escala e sistemas solares em telhados urbanos. Em 2010, as leis que impulsionaram esta fonte foram as “*Renewable Energy Law*” e “*Renewable Energy Medium and Long-term Development Plan*”, que estipulam o desenvolvimento da energia solar com

objetivos de médio e longo prazo (LIANG, 2018). Com o apoio das políticas públicas que reduzem os custos das energias renováveis, a energia solar fotovoltaica tornou-se a forma mais barata de geração de eletricidade na China (IEA PVPS, 2017).

2.1.2 Estados Unidos

Os incentivos financeiros para projetos de energia solar nos Estados Unidos (EUA) são fornecidos pelo governo federal, estadual e local. Historicamente, os incentivos federais foram fornecidos principalmente por meio do imposto tributário, na forma de um crédito fiscal para investimentos e depreciação fiscal acelerada de 5 anos (IEA, 2017). Um incentivo que carece é um mandato de implantação em nível nacional, a fim de evitar incertezas quanto à continuação dos mecanismos de apoio oferecidos para a geração de energia renovável (OKIOGA et al., 2018). Mandatos de estado individuais foram implementados com sucesso, apesar da falta de uma estrutura nacional uniformizada. A política existente em nível estadual, o rápido declínio dos custos de tecnologia e o investimento em pesquisa e desenvolvimento no setor permitiram que a fotovoltaica continuasse crescendo rapidamente nos EUA (IEA PVPS, 2017). A Figura 3 mostra a evolução no que diz respeito a matriz energética dos EUA.

Figura 3 - Comparativo da matriz energética dos Estados Unidos de 2011 e 2017.



Os preços dos sistemas solares instalados têm caído nos Estados Unidos, impulsionados por três fatores principais: 1) queda nos preços dos equipamentos 2) a mudança para sistemas maiores e 3) melhores práticas de instalação. Enquanto os preços médios do sistema ainda são mais altos do que em outros países desenvolvidos, a tendência é claramente decrescente em todos os setores e os preços das concessionárias estão começando a cair (IEA, 2017).

Para se tornar uma das maiores potências nesse segmento solar, os EUA contam com programas específicos de investimentos que se baseiam em: financiamento de terceiros (atendem a altos investimentos iniciais com compra de energia pela concessionária); *leasing* (financiamento de compra de energia pela concessionária); financiamento com vantagens (por

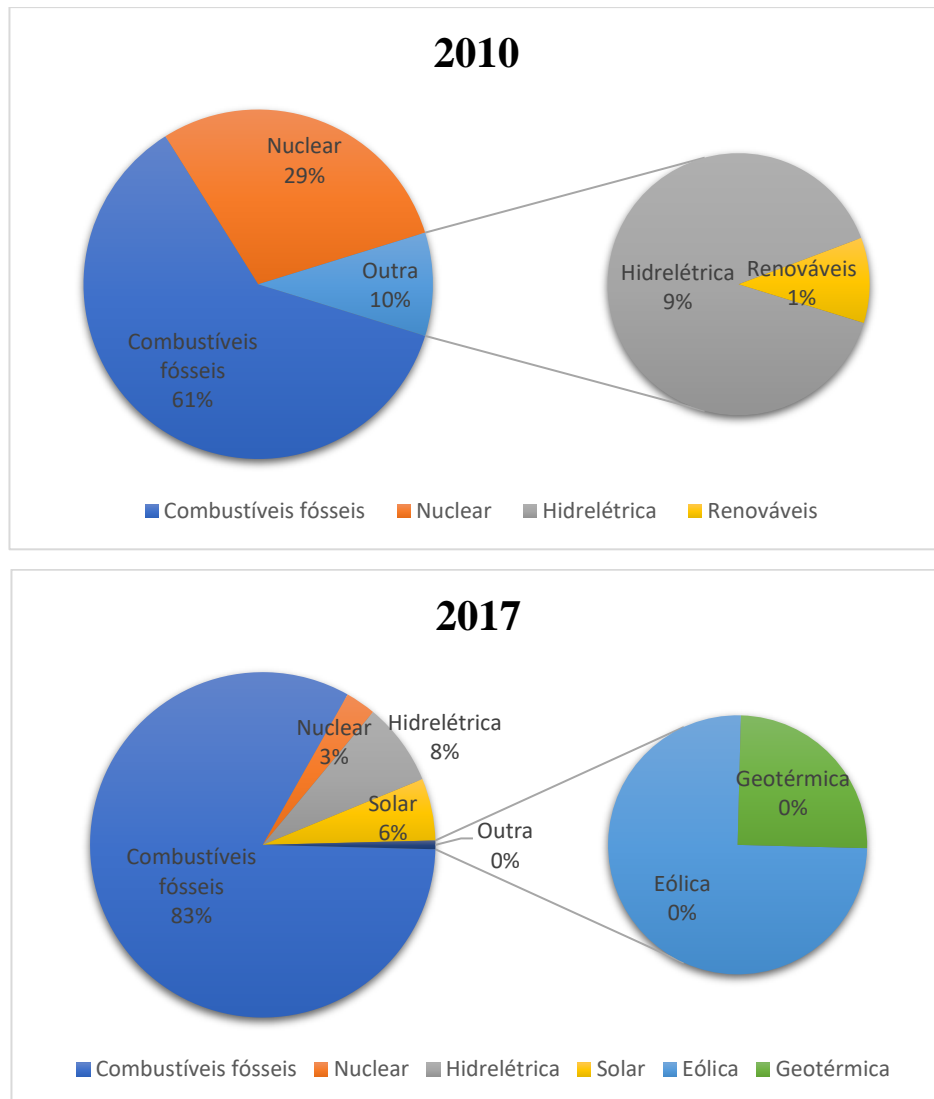
exemplo: programa estadual de financiamento para projetos de lei de energia solar); investimento em plantas fotovoltaicas e comunidade solar (múltiplos participantes se beneficiem diretamente da energia produzida por um sistema fotovoltaico (IEA, 2017).

2.1.3 Japão

Após o acidente nuclear de Fukushima em 2011, o governo japonês decidiu mudar significativamente seu modo de produzir energia. Para Huang et al., (2018), o acidente causou sérios impactos ambientais, econômicos e políticos em todo o mundo e também afetou gravemente as atitudes públicas em relação à energia nuclear. Mas mesmo antes do acidente o Japão já investia na tecnologia solar. Pesquisa e desenvolvimento relacionados ao consumo de energia aumentaram consistentemente desde os anos 1970 até os anos 2000. Em 1980, o Japão aprovou a “Lei de Energia Alternativa” que apoiava a energia solar e outras fontes alternativas através de medidas financeiras, técnicas e legislações, com o argumento que a energia solar é necessária para enfrentar a "futura crise energética", à qual o Japão é especialmente vulnerável devido à sua taxa extremamente alta de crescimento da demanda (CHERP et al., 2017).

O governo japonês propôs uma meta de energia renovável de aproximadamente 20% do uso total de energia em 2030 e destaca que alcançar um rápido aumento de energia renovável é uma questão política importante (TANAKA et al., 2017). A Figura 4 apresenta a evolução das matrizes energéticas do Japão referente aos anos de 2010 e 2017. Observa-se que houve diminuição significativa da energia nuclear e o aumento da fonte de energia solar, que foi de menos de um por cento em 2010 para mais de cinco por cento em 2017.

Figura 4 - Comparativo da matriz energética do Japão de 2010 e 2017.



Fonte: *Ministry of Economy* (2016); *Institute for Sustainable Energy Policies* (2018).

Com o programa de tarifas *feed-in* (FIT) em 2012, o Japão conseguiu aumentar drasticamente sua capacidade instalada de energia fotovoltaica. O programa FIT baseia-se nos seguintes fundamentos: 1) criação de um esquema de aprovação; 2) introdução custo-eficiente; 3) introdução de fontes de energia com um longo prazo de execução; 4) sistema de isenção de sobretaxa; e 5) transição para compra de energia pelos operadores de transmissão e distribuição. Objetiva também a redução de custos a médio e longo prazo e o apoio a expansão da introdução de fontes de energia renovável (IEA JAPAN, 2017).

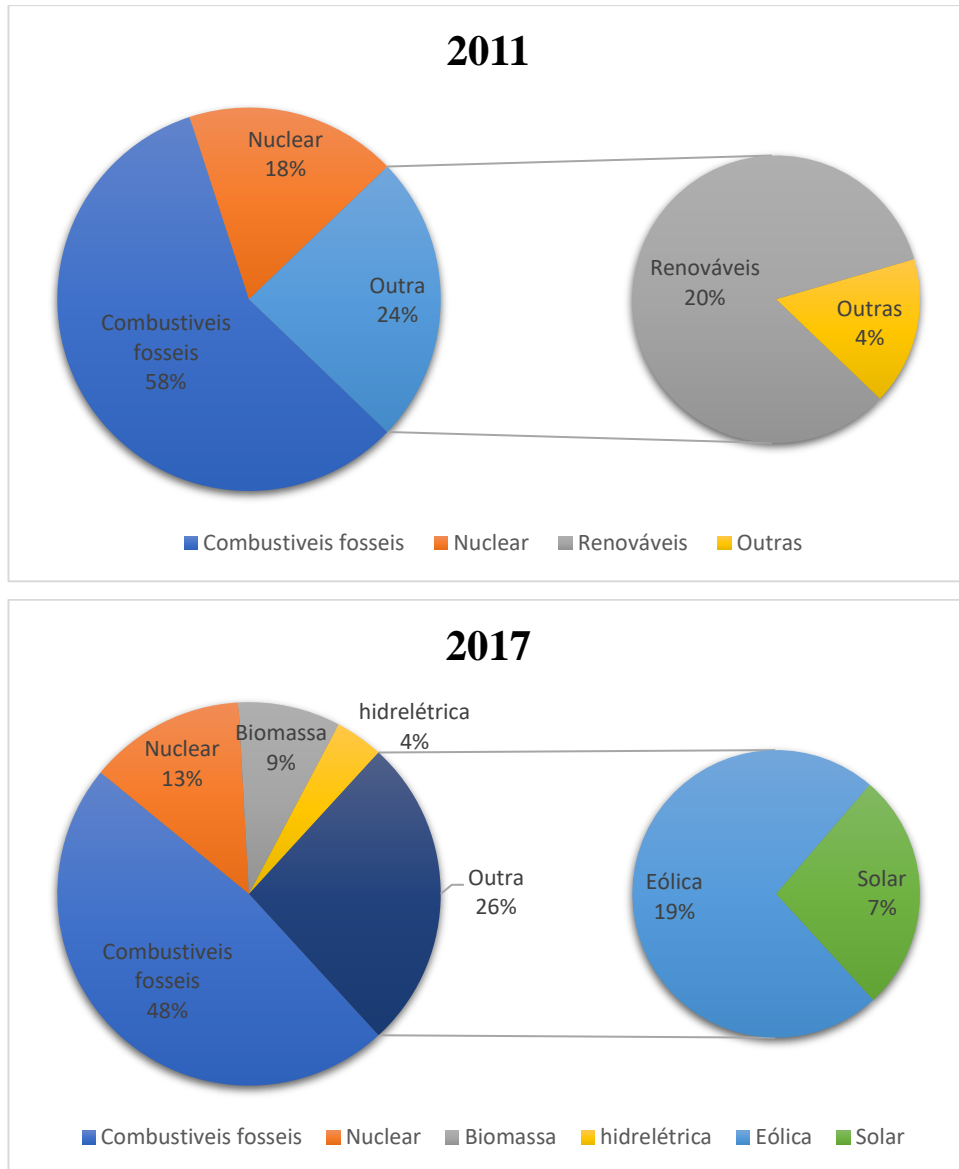
Em relação aos planos estratégicos de energia do Japão, pela primeira vez na história a energia renovável está posicionada como uma fonte de energia convencional. O setor fotovoltaico japonês se destaca e tem promovido o restabelecimento do negócio fotovoltaico, o desenvolvimento de tecnologia e a expansão dos negócios no exterior (IEA JAPAN, 2017).

2.1.4 Alemanha

A Alemanha está entre os países mais ambiciosos do mundo na intenção de promover uma transição para energia sustentável. No entanto, o debate público no país sobre a *Energiewende* (ou virada energética) em geral em suas diferentes características tem um caráter político. Para apoiar a *Energiewende*, a legislação vigente conta com mecanismos direcionados a todas as etapas do desenvolvimento de tecnologias de energia renovável, desde a pesquisa básica até a implantação (PEGELS; LÜTKENHORST, 2014). O sistema de tarifas *feed-in* (FIT) é o elemento central das políticas da Alemanha e caracteriza-se pela compra de cada kWh injetado na rede pelo produtor de energia, provando ser um ótimo incentivo pela característica da contrapartida monetária (TRENNEPOHL, 2014). No entanto, sua eficiência depende da determinação apropriada dos níveis tarifários.

Iniciada na década de 1990, a *Energiewende* é uma estratégia energética e climática de longo prazo com planos até 2050. Que conta com amplo apoio público e é impulsionada por quatro objetivos políticos principais: combater a mudança climática, evitar riscos nucleares (como o acidente nuclear de Fukushima), melhorar a segurança energética e garantir competitividade e crescimento (PESCIA; GRAICHEN, 2015). Com metas ambiciosas de suprir a demanda energética em sua maioria (80%) por fonte renovável, obteve um grande salto de 2011 a 2017 no que diz respeito as fontes energéticas, com o aumento da participação das renováveis e a diminuição do uso dos combustíveis fósseis (Figura 5).

Figura 5 - Comparativo da matriz energética da Alemanha de 2011 e 2017.



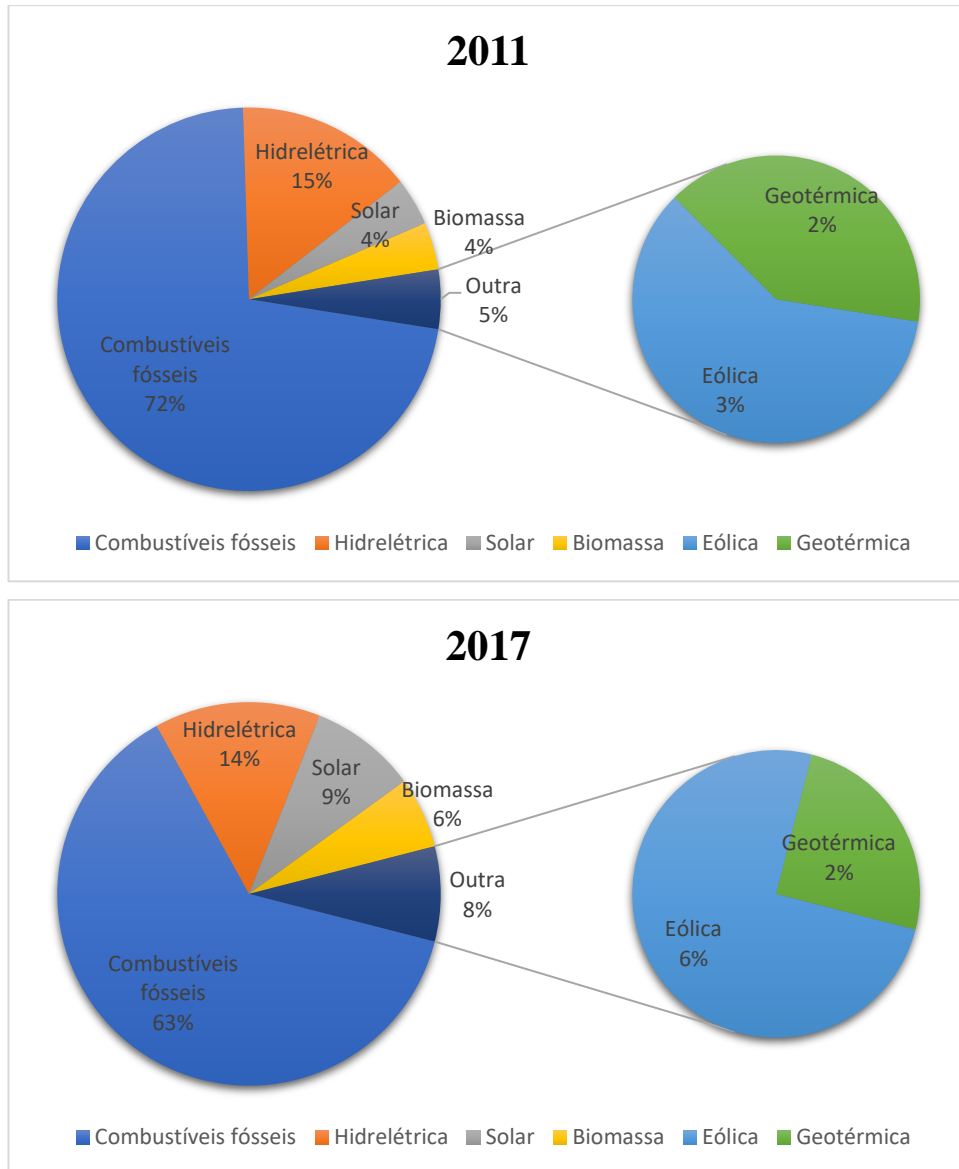
Com relação ao mercado de armazenamento de energia, a Alemanha se encontra em absoluta vantagem. Segundo a *International Energy Agency* (IEA) (2017), apenas a Alemanha tem incentivos para o armazenamento de energia em baterias de sistemas fotovoltaicos. Durante o ano de 2016, a instalação de sistemas de armazenamento foi financiada por 6468 sistemas de armazenamento (800 para sistemas fotovoltaicos existentes e 5668 para sistemas fotovoltaicos recentemente instalados). O programa de incentivos foi introduzido em 1 de maio de 2013.

2.1.5 Itália

Na Itália, o ano de 2017 foi marcado por um aumento significativo de instalações fotovoltaicas e, com isso, ganhou destaque entre as maiores potências nesse segmento. O mercado fotovoltaico na Itália é bastante promissor devido ao plano energético de 10 anos do governo (*National Energy Strategy*) que foi adotado para gerenciar a mudança no sistema energético. A Itália produziu mais de 7% de sua demanda por energia solar em 2017 (IEA PVPS, 2017).

O país é suportado por cinco programas nacionais: “*Scambio Sul Posto*” (sistema de faturamento líquido que lida com o valor da energia trocada com a rede); “*Ritiro Dedicato*” (venda de eletricidade); Isenções fiscais (despesas associadas a pequenas instalações fotovoltaicas deduzidas dos fluxos de rendimento tributável); Certificados brancos (mecanismo que recompensa todas as iniciativas para a economia de energia) e “*Sistemi Efficienti di Utenza*” (um esquema no qual uma ou mais usinas de produção de energia operadas por um único produtor são conectadas através de uma linha de transmissão privada a um único usuário final) (IEA PVPS, 2017). Com o sucesso atribuído à implementação dos programas, principalmente “*Scambio Sul Posto*” e às Isenções fiscais, pode-se observar um crescimento das fontes renováveis e a diminuição dos combustíveis fósseis na matriz energética Italiana (Figura 6).

Figura 6 - Comparativo da matriz energética da Itália de 2011 e 2017.



Fonte: EIA (2018).

Em um artigo publicado em 2017 (MELEDDU; PULINA, 2017), os autores comentaram algumas ações políticas específicas direcionadas para aprimorar o setor de energia solar do país, tais como: melhorar a infraestrutura energética e, principalmente, o armazenamento de energia, que levará a um sistema de distribuição mais eficiente; harmonizar a implementação da reforma energética a nível regional para impulsionar um maior nível de convergência; sensibilizar e capacitar o pessoal para novos desenvolvimentos tecnológicos e incentivar o ensino superior em graus mais técnicos; aumentar a riqueza econômica da comunidade local e o bem-estar geral, especialmente em áreas periféricas que experimentam custos mais altos de energia e, portanto, tendem a ser menos eficientes.

2.1.6 Brasil

Até os anos 1970, a matriz energética brasileira era constituída em sua maioria por lenha, carvão, vegetal e petróleo. Porém, entre os anos 1970 e 1980, houve uma crise do petróleo e várias medidas foram tomadas como: racionamento, substituição do petróleo pelas hidrelétricas e intensificação do programa nuclear brasileiro. Os anos 1990 foram marcados pelo forte crescimento das hidrelétricas, que mesmo tendo vários problemas como alto custo de implantação, impactos ambientais e sociais, chegou a quase 40% de participação em 1995 (ANEEL, 2007). Um caso singular referente as usinas hidrelétricas é a Hidrelétrica de Belo Monte, considerada a terceira maior barragem do mundo em termos de capacidade de geração de energia. Apesar disso, sua construção trouxe impactos socioeconômicos e ambientais negativos. Estudos recentes (FEARNSIDE, 2018; CASTRO-DIAZ et al., 2018; GAUTHIER et al., 2019) discorrem sobre as questões preocupantes dos impactos internos e externos sofridos pela grande construção.

O crescimento das usinas hidrelétricas foi um avanço para o país, visto que é considerada uma energia limpa e renovável, porém desencadeou uma das maiores crises energéticas do Brasil, o apagão de 2001. Segundo Tolmasquin (2000), o esgotamento dos reservatórios ocorreu em um período relativamente curto de tempo. Ao final de 1997, os reservatórios terminaram o período seco com 66% de água armazenada e no final de 1999, o nível dos reservatórios estava em apenas 28%. Neste momento ficou nítido o abandono da gestão plurianual dos reservatórios, tornando-se cada vez mais dependente do período chuvoso. O autor ainda menciona que a crise foi “consequência do descompasso entre o crescimento do consumo de energia e da capacidade instalada” (MORAIS, 2015, p. 3). Assim, a origem da crise energética foi a falta de investimentos em geração e em transmissão. Nesse contexto, as empresas estatais tinham condições de investir, mas estes investimentos não foram autorizados por conta das metas de corte dos gastos do governo (ANEEL, 2007; TOLMASQUIN, 2000).

Entre os anos 2000 e 2010, o governo investiu em termelétricas, aumentou a produção de etanol, reativou o programa nuclear e paralisou as privatizações da Eletrobrás. Foi a fase de recuperação do setor elétrico brasileiro. Porém, problemas no setor voltaram a ocorrer e em 2015 os reservatórios de água (que alimentam as usinas hidrelétricas) registravam pouco menos de 17% de sua capacidade. Com isso, o governo teve que contratar termelétricas, que além do alto impacto ambiental, geram energia a um preço superior; em alguns casos, até oito vezes maior que as hidrelétricas por meio das bandeiras tarifárias de energia (MORAIS, 2015).

Em vista desse cenário, pesquisadores estão estudando a inclusão expressiva das energias

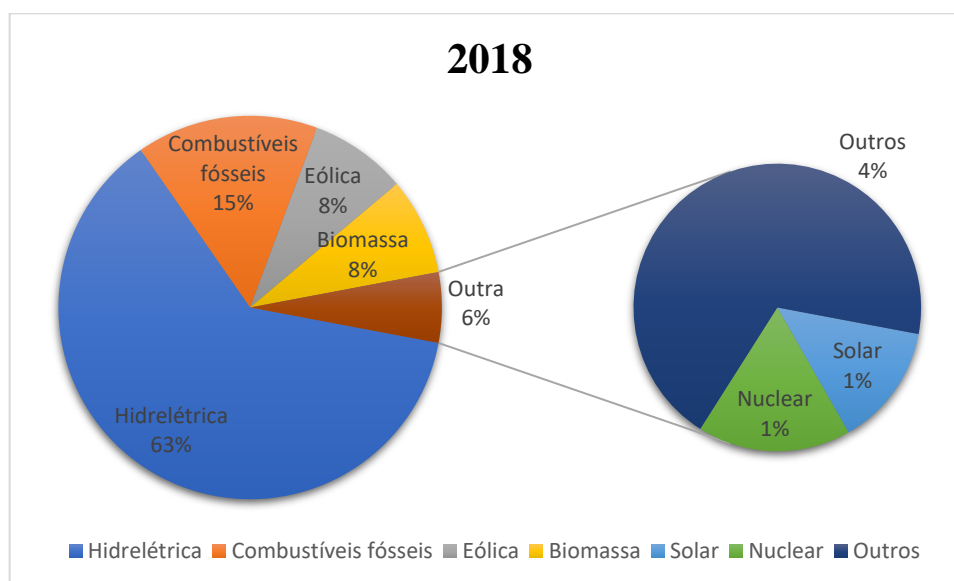
renováveis desde os anos 1990. No Brasil, segundo o artigo intitulado “*Solar energy resource assessment — Brazil*” publicado em 2002 pelos brasileiros Tiba, Fraidenraich e Lyra e pelo argentino Gallegos (2002), o estímulo pela energia solar teve seu início em janeiro de 1993 com o Grupo de trabalho de Energia Solar Fotovoltaica (GTEF), sob a coordenação do Centro de Pesquisa de Eletricidade – (CEPEL). Com o objetivo de fomentar e discutir questões ligadas a energia solar o GTEF tinha cobertura nacional e era constituído por empresas do setor elétrico, grupos de pesquisa, universidades e fabricantes ou representantes de equipamentos fotovoltaicos. Em 1994, o projeto de um Atlas Solarimétrico Nacional foi submetido ao CEPEL. Os autores da proposta consideraram que a publicação do Atlas disponibilizaria uma base de dados importante (itens como irradiação solar e horas de insolação) para o público-alvo e, à medida que a tecnologia solar se espalhava no Brasil, esse tipo de geração de energia se tornaria cada vez mais importante. Finalmente, em maio de 1996, o grupo FAE-UFPE/CEPEL assinou um acordo que permitiu a execução do projeto de elaboração do Atlas Solarimétrico Nacional (TIBA; FRAIDENRAICH, 2002).

A energia solar tem uma participação hoje na matriz energética muito inferior, visto que as fontes de geração atuais predominantes (hidrelétricas e termelétricas) já vêm comprovando sua ineficácia nos últimos 17 anos. De acordo com Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2019), esse tipo de geração representava somente 0,03% de potência. A hídrica ainda representa 60%, de origem fóssil 16%, biomassa e eólica em 8% e 7%, respectivamente.

O potencial que o Brasil tem para esse tipo de geração é enorme, como a incidência de irradiação solar. A produção de energia elétrica através de um sistema fotovoltaico é baseada na conversão de irradiação solar em energia para consumo. O Brasil tem altos índices de incidência chegando a 2300 kWh/m² em algumas regiões por ano (SOLARGIS, 2018). Outro fator de vantagem é em relação à abundância do quartzo usado nos painéis fotovoltaicos. A maioria dos painéis fotovoltaicos é fabricada a partir do silício cristalino, de acordo com Silva (2015, p. 10) “o silício cristalino é obtido a partir do quartzo, que deve ser purificado até o grau solar, que exige 99,9% de pureza. O Brasil possui quartzo de alta pureza, mas não desenvolveu a tecnologia necessária para obter silício com grau solar”. Encontra-se em aproveitamento o fomento a instalação de indústrias de silício para fabricá-lo no grau solar, já que o Brasil é o maior exportador mundial de silício, mas no grau metalúrgico (CIM, 2008).

Atualmente, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2019), a matriz brasileira é uma das mais renováveis do mundo por conta da fonte hídrica que predomina (63%). Em seguida tem-se por outras fontes renováveis e em terceiro por fonte de combustíveis fósseis (Figura 7).

Figura 7 - Matriz energética do Brasil em 2018.



Fonte: ANEEL (2019).

No que diz respeito ao consumo de energia por setor, o residencial se encontra em segundo lugar, perdendo somente para o setor industrial (EPE, 2018). A introdução da energia solar fotovoltaica em residências levaria a uma eficiência energética como a redução de perdas de transmissão e distribuição e é um setor com ótimo aproveitamento desta tecnologia. Entretanto, de acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) (2017), quase 90% dos brasileiros querem gerar energia renovável em casa, mas a geração distribuída ainda representa menos de 0,1% do atendimento da demanda atual.

Mesmo tendo uma participação extremamente baixa na matriz energética, a energia solar tem alguns incentivos para aumentar sua aplicabilidade. O maior incentivo é o Sistema de Compensação de Energia da ANEEL, pela Resolução 482, que se caracteriza pelo sistema de crédito de energia. Por exemplo, um consumidor que produz sua própria energia em casa através de energia solar, pode conectar o sistema na rede da concessionária local e fazer uso do sistema, cada kWh que “sobrar” do seu consumo, o consumidor pode injetar esse excedente na rede e obter um crédito de energia para o dia que ele não produzir energia suficiente para suprir sua demanda. Os outros incentivos secundários são várias formas de financiamento para a compra do sistema solar.

Outro incentivo que faz o crescimento da energia solar no Brasil é em relação as tarifas de energia. As tarifas de energia no Brasil são consideradas elevadas quando comparadas a outros países. Mas seu valor elevado não se motiva pelo preço em si da energia, e sim pelos

atributos secundários como transmissão e distribuição, encargos do setor e os impostos, sendo este último o maior valor agregado entre todos. E como forma de encarecer ainda mais o valor, tem-se as bandeiras tarifárias (amarela e vermelha) que são acionadas quando problemas no setor energético surgem e é preciso ligar as termelétricas (fonte mais cara de energia) (ANEEL, 2019). Em vista disso, a aquisição da energia solar, em alguns casos, torna-se benéfica por conta das tarifas elevadas.

Um dos maiores e recente (em 2015) marco do setor foi a isenção do Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS) sobre a energia injetada e regulada pela Resolução 482. Somente quatro estados (Amazonas, Paraná, Santa Catarina e Espírito Santo) ainda não aderiram a esta nova legislação (ABSOLAR, 2017).

Nesse sentido, pode-se inferir que ocorre um crescimento da fonte de energia solar no Brasil, porém as políticas públicas energéticas existentes não são significativas. Tem-se como exemplo a própria Resolução 482 da ANEEL, considerada a maior regulação de incentivo, que não inclui nenhum tipo de retorno financeiro para quem possui sistemas solares em residências. Ocorre somente a forma de crédito de energia, desmotivando vários possíveis produtores, diferentemente do que ocorre nos países mencionados anteriormente. O incentivo financeiro é um dos maiores motivadores, como a tarifa FIT. Assim, com o custo dos equipamentos solares cada vez mais baixos e um apoio regulatório mais expressivo, o crescimento a nível de competir com a fonte hídrica e de combustíveis fósseis é possível.

2.2 EMBASAMENTO DA PESQUISA

Os trabalhos discutidos nesta subseção foram inseridos dentro de um conjunto de ideias norteadoras da pesquisa, separadas por subitens e identificadas a partir de sua leitura crítica, com vistas a embasar a pesquisa. Os trabalhos estão divididos em artigos científicos (subitens 2.2.1; 2.2.2; 2.2.3 e 2.2.4) e dissertações (2.2.5; 2.2.6; 2.2.7; 2.2.8 e 2.2.9).

2.2.1 Diretrizes de Geração Distribuída de Sistemas Fotovoltaicos

Villar et al (2017) abordaram o contexto legislativo das diretrizes de geração distribuída na Europa e também demonstraram o avanço no desempenho tecno-econômico de uma amostra representativa de perfis de consumidores com sistema fotovoltaico de diferentes setores, variando de residencial a industrial. A contribuição baseia-se no aprofundamento sobre os

indicadores de desempenho econômico e energético do uso de perfis reais de demanda ao modelar a implementação de sistemas fotovoltaicos e no relato do impacto de diferentes locais para instalação, dando uma visão geral de como uma implantação transversal do consumo impactaria a rede e a análise das melhores sinergias entre diferentes setores econômicos. Em conclusão, os autores comentaram que um gerenciamento ativo da demanda representaria uma maneira de transferir o consumo elétrico para horas em que ocorre a produção solar, oferecendo a oportunidade de aumentar a energia consumida de maneira a evitar compras na rede, mitigando então os custos associados à integração da rede de energia distribuída. Nesse sentido, a energia usada da rede decresceria bruscamente, diminuindo também os custos mensais associados, em vista da energia ser mais custosa que a produzida pelo sistema fotovoltaico.

2.2.2 Barreiras que Impedem à Implantação de Energia Solar

Sindhu et al (2016) buscaram identificar e priorizar as barreiras existentes que impedem o desenvolvimento da energia solar na Índia usando o Processo Hierárquico Analítico (AHP) a fim de obter a classificação das barreiras identificadas. A Índia tem inúmeros benefícios e potencial para a tecnologia solar, mas existem muitas barreiras no caminho de implementação. Portanto, é imprescindível descobrir e enfrentar os desafios. Como inferência do estudo, foram reconhecidas trinta e seis barreiras que atuam como obstáculo no desenvolvimento da energia solar. Com base na opinião de especialistas, essas trinta e seis barreiras foram categorizadas em sete dimensões principais. São explicitadas de forma hierárquica a seguir: Barreiras políticas e regulatórias em primeiro lugar, em seguida alto custo de capital, barreira institucional, barreiras financeiras, barreiras de mercado, barreiras técnicas, barreiras sociais, culturais e comportamentais.

2.2.3 Avaliação de Viabilidade de Projetos Fotovoltaicos Residenciais

Espinoza et al (2019) analisaram economicamente pequenos sistemas fotovoltaicos residenciais em que propuseram diferentes cenários de financiamento para três localidades, com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica da integração desses sistemas ao segmento residencial. Os autores tomaram como base o uso do custo nivelado de eletricidade (LCOE) e constataram que com o resultado do custo do kWh do sistema fotovoltaico, a paridade da rede só pode ser alcançada até 2027. Além disso, as empresas que vendem energia fotovoltaica com valores do LCOE inferiores às tarifas de eletricidade podem enfrentar situações sem fins

lucrativos. Como inferência do artigo, os autores comentam da incorporação de financiamento de projetos fotovoltaicos de pequena escala (por parte dos bancos) conectados à rede em seu portfólio de produtos bem como uma política governamental para promover a energia solar fotovoltaica.

2.2.4 Subsídios Solares no Setor não Residencial

Frey e Mojtabehi (2018) examinaram a relação entre a intensidade ou extensão da adoção de um sistema fotovoltaico e o valor correspondente do subsídio concedido pelo governo. Como inferência da análise, os autores constataram que, para entidades comerciais e sem fins lucrativos, um aumento de subsídios em 10% leva a um aumento no tamanho do sistema fotovoltaico solar entre 1,36% e 2,55%. Como se pode perceber, o foco do estudo teve como direcionamento entidades não residências, explicitando como não é abordado estudo de concessão de subsídios para este setor. Em vista dos vários empecilhos encontrados no setor energético, o estudo de subsídios para sistemas fotovoltaicos, mesmo que com valores mínimos de porcentagem, pode ser de grande relevância.

2.2.5 Setor de Energia Elétrica Brasileiro: Dilemas da Regulação

Moriggi (2017) apresenta a análise de mudanças institucionais no setor energético Brasileiro, evidenciando o processo regulatório e verificando o grau de eficiência de mercado de acordo com as mudanças estruturais nos quatro segmentos do setor (geração, transmissão, distribuição e comercialização). A contribuição baseia-se na demonstração de pontos conflitantes entre os agentes econômicos do setor energético tendem a afetar a busca pela eficiência produtiva. Em conclusão do estudo, o autor comenta que todos os modelos institucionais reguladores do setor elétrico brasileiro surgiram de uma forma embrionária, sem planejamento de longo prazo, subordinada aos interesses do Estado e dos agentes econômicos, e aos riscos presentes do ambiente institucional de mercado, de incerteza e comportamento oportunista. É comentado uma adoção de processos inovativos institucionais e regulatório para o cumprimento de contratos a fim de um gerenciamento consolidado a uma estrutura eficiente tanto economicamente quanto socialmente para o país.

2.2.6 Desafios e Perspectivas da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil – Geração Distribuída

Pereira (2019) apresenta uma análise das perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil, identificando os principais aspectos da geração distribuída e centralizada na matriz energética brasileira. A contribuição apresenta aspectos positivos da GD (econômicos, sociais e técnicos) e aspectos negativos (econômicos e técnicos). Na conclusão do estudo é comentado do grande potencial da energia solar fotovoltaica no Brasil e cita algumas desvantagens como os custos para a implantação do sistema, que apesar dos avanços da tecnologia para a modernização dos equipamentos e das novas resoluções, ainda continua caro e inacessível a grande parte da população, e outros aspectos técnicos como as alterações dos procedimentos de rede, fluxo de potência reverso (ocorre quando a energia que deveria ser unidirecional é modificada para o tipo bidirecional, sendo injetada em direções contrárias) além do fenômeno de ilhamento (fornecimento de energia do sistema fotovoltaico para a rede local mesmo com a rede desligada).

2.2.7 Estudo de Caso de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

Mota Silva (2018) propôs em seu trabalho uma redução dos gastos com energia elétrica através da instalação de uma miniusina solar fotovoltaica conectada à rede. O cenário considerado foi o Centro de Intendência da Marinha em Natal (CeIMNa), em função do espaço físico disponível no território da Base Naval de Natal (BNN) e das características favoráveis de sol e ausência de sombras em sua estrutura física. Como inferência do estudo de caso o trabalho possibilitou mostrar que o dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede de energia elétrica deve considerar alguns fatores como: o local de implantação, orientação do painel, consumo médio de energia, aspectos ambientais e outros pontos peculiares definidos pelo projetista, tais como a especificação dos equipamentos.

2.2.8 Análise da Viabilidade Técnica e Econômica de um Gerador Fotovoltaico

Custódio (2017) abordou um método para selecionar fachadas e coberturas de edifícios, apropriadas para a integração de sistemas fotovoltaicos conectados à rede em uma determinada edificação. Segundo a autora, para os sistemas fotovoltaicos serem aceitos precisar gerar a energia necessária bem como ter um impacto positivo na arquitetura da edificação. Como inferência final, tem-se a importância atribuída aos projetistas para a ciência de possibilidades, funcionalidade e integração dos sistemas fotovoltaicos e que suas oportunidades sejam economicamente viáveis.

2.2.9 Geração Fotovoltaica Distribuída em Ambiente de Tarifas Diferenciadas

Nascimento (2019) abordou no estudo a análise de métricas técnico-econômicas para trazer um novo modelo de custo nivelado de energia para comparar alternativas de investimento em sistemas fotovoltaicos e armazenamento de energia. O foco do trabalho remete ao sistema de Tarifa Branca, que se caracteriza por cobranças diferenciadas de tarifas de acordo com o intervalo de três horários distintos. O autor evidenciou uma necessidade de incentivos para a Tarifa Branca em vista dos custos associados ao sistema de cobrança dos postos tarifários.

3 MÉTODO

Para familiarização com os aspectos potenciais para a implantação de sistema fotovoltaico, neste capítulo são apresentados alguns conceitos com base em literatura da área, em particular: políticas públicas, irradiação solar e custos associados bem como a metodologia para identificação dos aspectos.

3.1 INTRODUÇÃO

O estudo para a identificação de aspectos potenciais para a implantação de sistema fotovoltaico em residências passou por diversos pontos, que vão desde um profundo levantamento bibliográfico, até a busca da opinião de especialistas do ramo energético. Conforme comentado no levantamento bibliográfico sobre o potencial brasileiro para implementação da fonte solar e as tarifas das concessionárias de energia serem altas, é relevante o estabelecimento de análise adequada para identificar os aspectos a serem considerados que interferem diretamente com a disseminação da fonte solar em residências.

Este trabalho apresenta significativa relevância devido ao seu caráter de aplicação prática, uma vez que procura estabelecer diretrizes para discutir ações que dissemine a energia solar fotovoltaica em residências, contando com a participação e a colaboração de especialistas do ramo energético.

O estudo usa como base um trabalho em que o autor tomou como objetivo identificar um conjunto de indicadores de desempenho sustentáveis para avaliar a eficiência energética em plantas industriais e suas edificações e usou como metodologia uma revisão abrangente da literatura; dois questionários envolvendo especialistas e tomadores de decisão de um grupo de empresas do setor industrial de várias áreas de atuação e utilizou quatro importantes ferramentas para aplicação, seleção, classificação e ponderação dos indicadores (BUCCIERI, 2014). Uma das ferramentas usadas foi o método de Processo Hierárquico Analítico (método AHP). Sua base teórica foi o livro de Tamio Shimizu (2006). No livro o autor apresenta as principais estratégias e metodologias de tomada de decisão utilizadas em diversos problemas de variadas áreas de pesquisa, apresentando problemas práticos de tomada de decisão encontrados no mundo real. Para o presente trabalho será usada a mesma referência bibliográfica (TAMIO SHIMIZU, 2006) e o artigo de Saaty (2006) intitulado *Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes*. Segundo Saaty (2008), no método tradicional do AHP os problemas são divididos em níveis hierárquicos para facilitar sua compreensão e

determinar uma ação global para cada alternativa pela síntese de valor dos tomadores de decisão, priorizando-os ou classificando-os após a finalização do método. O autor ainda comenta que para tomar uma decisão de forma estruturada e gerar prioridades, é preciso decompor a decisão nos seguintes passos: primeiro é definido o problema e determinado o tipo de conhecimento procurado, em seguida é estruturado a hierarquia de decisão a partir do topo com o objetivo da decisão, e dos objetivos de uma perspectiva ampla passando pelos critérios, no terceiro passo é construído um conjunto de matrizes de comparação entre pares. Cada elemento nos níveis superiores é usado para comparar os elementos do nível imediatamente inferior em relação a ele e por último, é obtido prioridades a partir das comparações para pesar as prioridades no nível imediatamente inferior executado para cada elemento. Por fim os valores ponderados são adicionados e a prioridade global é obtida.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DE PESQUISA

Segundo Gil (2008), a classificação de uma pesquisa em relação aos seus objetivos/fins pode ser: exploratória, descritiva e explicativa. O presente trabalho classifica-se como descritivo, esse tipo de pesquisa tem como finalidade principal a descrição das características de determinada população ou fenômeno, ou o estabelecimento de relações entre variáveis. No estudo a classificação objetiva gerar informações estratégicas, como o levantamento dos aspectos mercadológico, legislativo, ambiental, social e econômico, com o intuito de gerar informações estratégicas para a implantação de sistema fotovoltaico em residências.

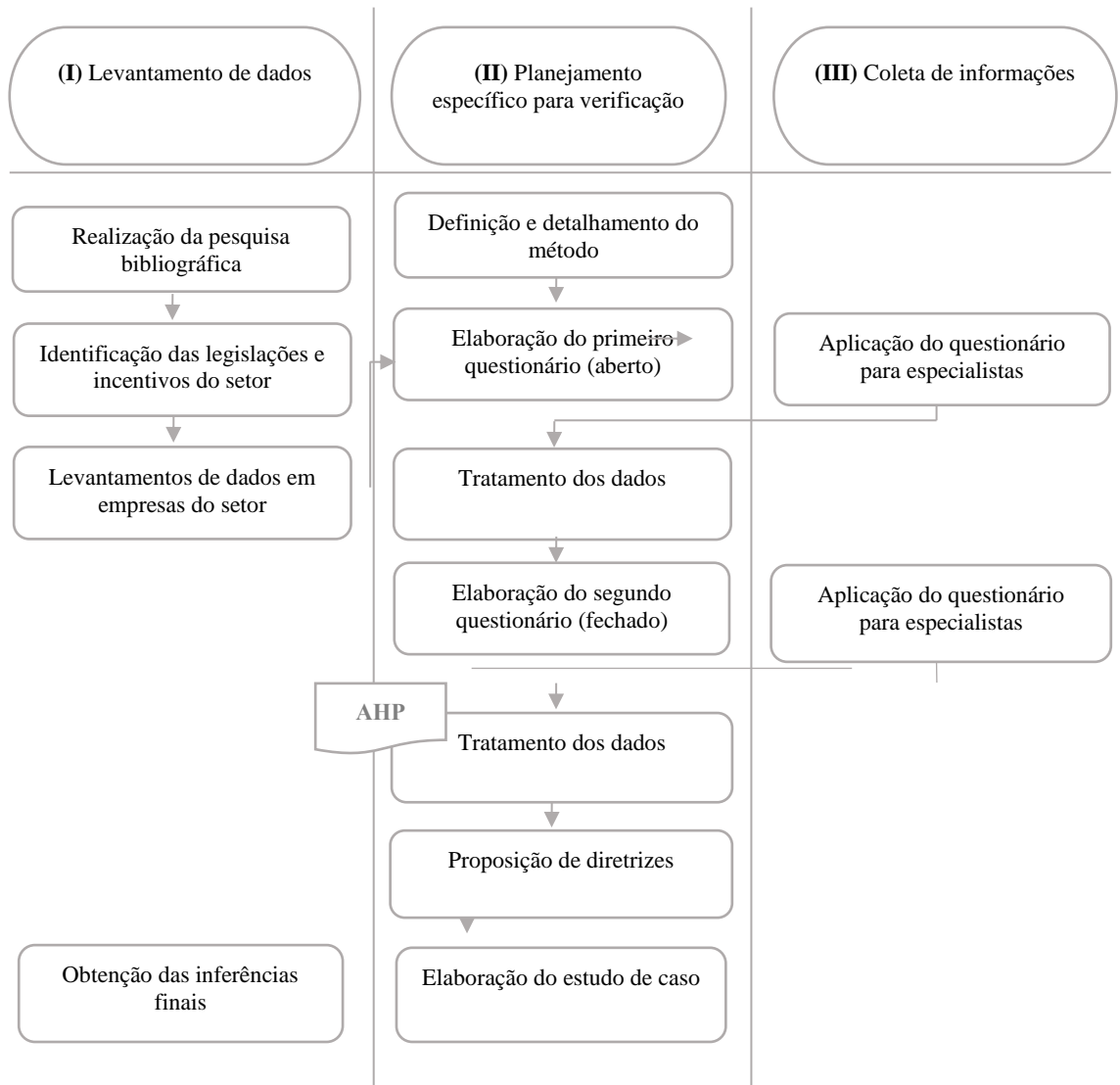
Quanto ao seu tipo em pesquisa aplicada, uma vez que se caracteriza pelo seu interesse prático, ou seja, que os resultados sejam utilizados na tomada de decisão. Em relação aos procedimentos técnicos da pesquisa se enquadra em modelagem (utilização de técnicas matemáticas para relatar o funcionamento de um determinado sistema) e estudo de caso (investigação de um determinado fenômeno, dentro de um contexto, quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto em que ele se insere não são claramente definidos) (MIGUEL et al., 2012).

A pesquisa pode ser denominada quantitativa e qualitativa, quanto à natureza das variáveis, pois avalia-se a percepção dos respondentes quanto a variáveis qualitativas que posteriormente são tratadas quantitativamente (KOTHARI, 2013). Para se efetuar a análise qualitativa, o primeiro questionário foi respondido pelos especialistas de forma a obter aspectos e fatores observados na decisão de implementar ou não um sistema fotovoltaico. O primeiro questionário busca que os especialistas respondam escrevendo tal aspecto sem colocar nenhuma

prioridade. Para se efetuar a análise quantitativa, o segundo questionário baseia-se na classificação de prioridade de um aspecto (originário do primeiro questionário) sobre o outro, a classificação é baseada de 1 a 9, sendo 1 importância igual e 9 importância absoluta.

Seguindo o fluxograma (Figura 8) proposto para o método desta pesquisa, alguns fatores importantes para a gestão de energia solar serão propostos por meio da teoria pesquisada. Para melhor ilustrar as etapas da pesquisa, o fluxograma apresenta as etapas da pesquisa desde a realização da pesquisa bibliográfica até a avaliação dos resultados.

Figura 8 – Fluxograma para o método de pesquisa



Fonte: Produção da própria autora.

O fluxograma usado como suporte para o método de pesquisa é dividido em três partes: (I) Levantamento de dados; (II) Planejamento específico para verificação e (III) Coleta de

informações. Em seguida é exposto um breve resumo das atividades desenvolvidas em cada parte.

A primeira parte é composta pelas atividades teóricas como pesquisa bibliográfica, bibliométrica e identificação das legislações e incentivos. No estudo bibliométrico foram feitas buscas no banco de dados Scopus para obter um conjunto de dados para todos os estudos publicados relacionados a gestão de energia solar fotovoltaica. Scopus é um campo de pesquisa bibliográfica, fundada em 2004 por *Elsevier*, que indexa citações para publicações científicas. O intervalo de análise foi entre os anos de 2000 e 2020. Para identificar quais artigos estão relacionados exclusivamente ao tema do trabalho, foram analisados os títulos e resumos de todos os artigos. Aqueles que não estavam no escopo desta pesquisa foram eliminados após a verificação do texto do próprio artigo. As palavras-chave usadas para coleta de dados incluem *solar*, *energy*, *management* e *photovoltaic*. Foi utilizado uma combinação dessas palavras-chave com operadores booleanos para combinar os termos de pesquisa da seguinte maneira: "*solar*" e "*energy*" e "*management*" e "*photovoltaic*". Neste estudo, o foco foi apenas os trabalhos publicados após 2000, porque havia menos dados sobre gestão de energia solar fotovoltaica antes deste ano. Em seguida, após a filtragem dos trabalhos, uma análise qualitativa foi feita e os trabalhos que contribuíam com o tema do estudo foram selecionados. Na segunda parte é feita a verificação dos dados obtidos como as respostas dos questionários, o tratamento das respostas do segundo questionário com o AHP bem como a elaboração do estudo de caso. E por fim, na terceira parte, é composta pelas coletas dos dados caracterizado pela aplicação dos dois questionários utilizados no trabalho.

3.3 CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA

Conforme identificado no levantamento bibliográfico, há uma falta de trabalhos no que diz respeito a implementação dos SFCR capazes de nortear de forma eficaz aos tomadores de decisão de projetos fotovoltaicos a se posicionarem frente a questões relacionadas a implantação de um projeto. Em vista disso, a primeira etapa do trabalho consistiu na busca pelas características das concessionárias de energia do estado de São Paulo a fim de explorar as normas e legislações do setor para a verificação das facilidades ou dificuldades impostas na instalação dos SFCR. O estado tem sua distribuição energética dividida por cinco concessionárias de energia. Na Tabela 1 é listada todas as concessionárias e também a quantidade de unidades consumidoras com geração distribuída (UCGD) (ANEEL, 2019).

Tabela 1 - Distribuidoras e quantidade de unidades consumidoras com geração distribuída.

Distribuidora	UCGD
CPFL	4.140
EDP SP	664
ELEKTRO	2.629
ELETROPAULO	859
ENERGISA	979
Total	9.271

Fonte: ANEEL (2019).

Em continuidade a primeira etapa da pesquisa, foi considerado relevante a busca de incentivos e subsídios de apoio para os SFCR. Porém, nenhuma distribuidora do estado obtém algum tipo de incentivo, mesmo as unidades consumidoras com geração distribuída vinculadas a elas corresponderem a mais de 15% do total no país (ANEEL, 2019). Somente oferece o que é regulamento por lei e de acordo com as resoluções normativas da ANEEL.

Como especificado em um dos objetivos (Identificar o potencial da geração fotovoltaica em relação a condições morfológicas/espaciais, de instalação e exposição dos painéis fotovoltaicos à radiação solar por meio de um estudo de caso) deste trabalho, pretende-se calcular o consumo energético de um consumidor com base na tarifa da concessionária EDP SP. Esta tarifa, em vigor desde 27 de outubro de 2018, é valorizada em R\$ 0,56 centavos pelo tarifamento convencional (ANEEL, 2018).

3.4 INCENTIVO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Para o governo do estado de São Paulo, o desenvolvimento deste setor é uma das principais linhas de atuação do governo, que já conta com incentivos tributários. O estado conta com os seguintes principais incentivos (SECRETARIA DE ENERGIA E MINERAÇÃO, 2019): DECRETO 56.874/2011 (BRASIL, 2011); DECRETO 60.298/2014 (BRASIL, 2014); DECRETO 61.439/2015 (BRASIL, 2015); RESOLUÇÃO SMA – 74, de 4-8-2017 (SMA, 2017); DECRETO nº 63.095, de 22 de dezembro de 2017 (BRASIL, 2017).

Entre os incentivos mencionados, o Decreto 61.439/2015 obteve um impacto relevante. Com a medida, a energia produzida pelos SFCR é isenta de impostos. Antes do Decreto, era cobrado 30% do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) sobre a energia excedente produzida na residência, energia esta que foi ofertada na própria rede (BRASIL,

2015). Exemplificando, quando é gerado energia no sistema residencial e essa energia não é consumida totalmente naquele momento, o excedente é transferido pra rede da distribuidora local e fica armazenado como créditos de energia, quando a energia voltava para a residência a fim de ser consumida, os consumidores eram tributados nessa energia excedida.

3.5 RESOLUÇÕES DA ANEEL

A energia solar foi incentivada pela primeira vez por meio de regulamentação pela Resolução Normativa da ANEEL nº 482/2012 (Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências). Com ela, o consumidor pode gerar sua própria energia por meio de diversas fontes energéticas e fornecer o excedente para a rede da concessionária local (ANEEL, 2012). Nos anos seguintes à norma publicada, o governo tomou como objetivo o crescimento deste sistema de compensação de energia elétrica e revisou a resolução em 2015, com a Resolução Normativa nº 687/2015 (ANEEL, 2015). No Quadro 1 é tratado as principais revisões desta norma energética.

Quadro 1 - Principais revisões das resoluções

	Resolução 482	Resolução 687
Prazo para uso dos créditos energéticos	36 meses	60 meses
Período para a aprovação do sistema fotovoltaico junto à concessionária	82 dias	34 dias
Potência permitida para a microgeração	até 100 quilowatt (kW)	até 75 kW
Potência permitida para a minigeração	de 100 a 1 megawatt (MW)	de 75 aos 5 MW
Modalidades para geração distribuída	-	Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras; geração compartilhada; autoconsumo remoto.

Fonte: ANEEL (2012); ANEEL (2015).

De acordo com o Quadro 1, é constatada mudanças significativas para o setor fotovoltaico. O período para a aprovação do sistema fotovoltaico pela concessionária era muito longo, podendo, em alguns casos, até passar o período verificado na norma de 82 dias. Esta demora na aprovação implicava em uma série de consequências, como as despesas de arcar com o financiamento dos SFCR e ao mesmo tempo com a conta energética sem o sistema fotovoltaico. Com a Resolução 687, o período para aprovação mais curto em 50 dias.

Uma mudança positiva foi a inclusão de novas modalidades para a geração distribuída. Consumidores que morem em condomínios, por exemplo, e que possuem um gerador em área comum, podem fazer o uso do sistema de forma compartilhada e os créditos energéticos serão divididos entre os condôminos. Outra modalidade parecida, a geração compartilhada, caracteriza-se pelos mesmos critérios, porém é preciso estabelecer o Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ) para representar o sistema e o gerador pode ser instalado em local diferente de onde a energia será produzida. A última modalidade apresentada, o autoconsumo remoto, um consumidor com diversas unidades consumidoras pode fazer uso de um gerador de energia elétrica para compensar a energia demandada em todas as unidades, e o sistema ainda pode ser instalado em um local diferente do consumo.

3.6 TARIFAS

Como comentado na revisão de literatura (Item 2.6), as tarifas de energia elétrica no Brasil são consideradas elevadas quando comparadas a outros países. De acordo com a Resolução 414 da ANEEL, a tarifa é caracterizada pelo montante cobrado, fixado em reais por unidade de energia elétrica ativa ou da demanda de potência ativa (em kWh), sendo este a base para a definição do preço a ser pago por cada cliente e explicitado na fatura de energia elétrica (ANEEL, 2010).

Os valores tarifários variam bastante em relação as regiões do Brasil. Na Tabela 2 é exibida a média tarifária residencial por regiões no ano de 2018. Vale dizer que estes valores tarifários não estão incluídos os impostos regidos por lei, que podem chegar a quase 30% do valor final da energia elétrica (ANEEL, 2017).

Tabela 2 - Média tarifária residencial por regiões

Região	Média tarifária (R\$/kWh)
Norte	0,65
Nordeste	0,54
Centro-Oeste	0,56
Sudeste	0,55
Sul	0,52

Fonte: ANNEEL (2017).

Para exemplificar, e desconsiderando os encargos setoriais e impostos, um consumidor que tenha utilizado um total de 300kWh em um mês com os dados tarifários da região sudeste (R\$ 0,55), pagará R\$166,50 em sua fatura energética (300 x 0,55).

Em relação a modalidades tarifárias existem dois tipos: Modalidade Tarifária Convencional e Modalidade Tarifária Horária. Para as especificamente usadas no grupo B (classe residencial), a modalidade convencional caracteriza-se na forma monômnia, com tarifa única aplicável ao consumo de energia, que é a forma mais utilizada entre os consumidores e como foi exemplificada no parágrafo anterior. E dentro desta modalidade, existe a Tarifa Social de Energia Elétrica – TSEE, caracterizada por descontos incidentes sobre a tarifa aplicável à classe residencial de consumidores com baixa renda (ANEEL, 2010).

A modalidade Tarifária Horária (para o grupo B esta modalidade é classificada como Tarifa Branca) é caracterizada por tarifas diferentes que se baseiam no consumo de energia

elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e dividida em três postos tarifários (ANEEL, 2010).

A Tarifa Branca beneficia consumidores que não tem um consumo energético maior no horário de ponta (das 17h30 às 20h30), pois nesse horário a tarifa energética é mais elevada. A adesão para esta tarifa precisa ser avaliada em vários aspectos para verificar a real economia em relação a tarifa convencional. Esta tarifa não pode ser escolhida por todos os consumidores, somente aqueles com um consumo superior a 250 kWh usados ao mês.

Como justificativa deste trabalho, buscou-se verificar algum tipo de incentivo ou desconto na tarifa com a adoção do SFCR. Somente é concedido descontos tarifários para consumidores de baixa renda. A legislação vigente não prevê nenhum tipo de incentivo para quem colocar os SF em residências. Partindo do pressuposto da construção de um bairro novo por exemplo, no qual estariam incluídos gastos diversos como postes e linhas de transmissão, a questão de sistemas fotovoltaicos gerarem a economia destes gastos devia ser considerada na formação de uma tarifa diferenciada. Porém, estudos recentes (LUNA et al. 2019) mencionam somente o aspecto da tarifa elevada no Brasil incentivar a adesão de alguns consumidores à Geração Distribuída.

3.7 FINANCIAMENTO

A aquisição dos SFCR é uma realidade crescente no Brasil por conta, principalmente, das linhas de créditos oferecidas por alguns bancos. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2018), 29% dos consumidores que aderiam ao sistema utilizaram o financiamento para a compra dos equipamentos.

Tabela 3 – Bancos que oferecem financiamentos

Bancos	Máxima (%)	juros
Banco do Brasil	100%	5,50%
BNDES	80%	4,50%
Banco do Nordeste	100%	4,71%

Fonte: BB (2019); BNDES (2019); BNB (2019).

Na Tabela 3 é listado os bancos que oferecem este crédito (Banco do Brasil, Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e o Banco do Nordeste), a

porcentagem máxima de financiamento dos valores dos bens que compõem o sistema e as taxas de juros cobradas, ao ano, por cada um.

3.8 BANDEIRAS TARIFÁRIAS

Em determinados períodos do ano, tem-se a inclusão de bandeira tarifárias na conta de energia elétrica. Esta inclusão se justifica por problemas sazonais encontrados no setor elétrico. O Brasil tem como predominância de fonte energética as hidrelétricas, que demandam que as represas estejam com seus reservatórios nos níveis adequados. Quando isto não ocorre, por falta de chuvas por exemplo, os reservatórios ficam abaixo do limite necessário prejudicando sua geração. Com isso, ocorre o uso de termelétricas, que demandam mais recursos que a fonte hidrelétrica, necessitando de cobrança adicional na conta de energia elétrica por meio das bandeiras tarifárias (ANEEL, 2019). As bandeiras são classificadas em três tipos (Quadro 2).

Quadro 2 - Bandeiras tarifárias

Bandeira	Acréscimo
Verde	Não há alteração
Amarela	R\$ 1,50 a cada 100 kWh
Vermelha (patamar 1)	R\$ 4,00 a cada 100 kWh
Vermelha (patamar 2)	R\$ 6,00 a cada 100 kWh

Fonte: ANEEL (2019).

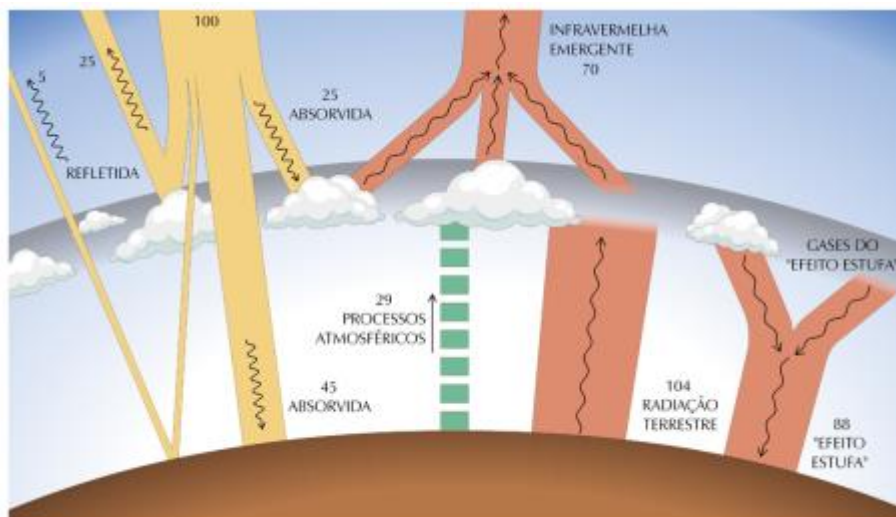
A metodologia de cálculo para o acionamento ou não das bandeiras baseia-se no risco hidrológico (GSF) e pelo preço de liquidação de diferenças (PLD). Com GSF a partir de 0,99 a bandeira verde é acionada. Quando a geração total das usinas do Mecanismo de Realocação de Energia é menor que o somatório de suas garantias físicas, o GSF é menor que 1, e aponta que as condições de geração hidrelétrica não estão favoráveis (ANEEL, 2019).

3.9 IRRADIAÇÃO SOLAR

Pode-se dizer que o principal aspecto ambiental referente a energia solar fotovoltaica é o índice de irradiação solar incidente. Este aspecto tem relação direta com o dimensionamento correto do sistema fotovoltaico. No momento que atravessa a atmosfera, a radiação solar é

atenuada por processos físicos que podem ser observados na Figura 9. As nuvens, os gases, partículas atmosféricas e a superfície refletem cerca de 30% da radiação incidente no topo da atmosfera, os 70% restantes são absorvidos (PEREIRA et al., 2006).

Figura 9 - Principais processos de interação da radiação solar e da radiação térmica.



Fonte: Pereira et al. (2006) apud Gambi (1998).

De acordo com a Figura 9, pode ser notado que a radiação absorvida tem duas vertentes (TIEPOLO, 2015): A radiação direta e a radiação difusa. A soma dessas radiações chama-se radiação solar global horizontal, a qual será utilizada neste trabalho pois é uma medição que não favorece nenhuma angulação dos painéis fotovoltaicos, dimensionando-os numa situação conservadora.

Em observância da média de irradiação incidente em todo o país, o estado de São Paulo recebe anualmente uma incidência favorável. Especificamente na cidade de São José dos Campos, objeto de estudo deste trabalho, a cidade conta com índices (em kWh/m².dia) na média de 4,58 (CRESESB, 2020).

Como forma de validar os dados, foi usado como referência a base de dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et al., 2017). A base conta com uma série longa de dados, de 1999 a 2015, reduzindo, assim, as incertezas das estimativas medidas e consequentemente, avaliando de forma mais fiel a variabilidade espacial e temporal da radiação solar incidente. O banco de dados utiliza de mais de 72.000 pontos em todo o território nacional com distâncias de aproximadamente 10 km entre eles.

3.10 RENDA MENSAL

Para a renda do perfil de consumo especificada nos questionários, utiliza-se a metodologia aplicada pela Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP), que se baseia na Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) divididos em cinco faixas de renda ou classes sociais (Tabela 4).

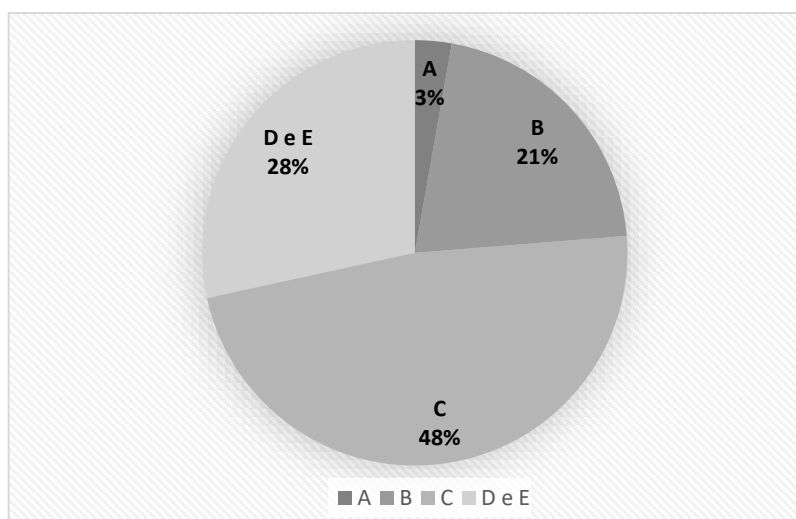
Tabela 4 - Classe Social pela média da renda domiciliar

Classe	Renda média domiciliar R\$	Percentuais de participação
A	23.345,11	2,80%
B	7.874,85	21%
C	2.328,56	48%
D e E	708,19	28,50%

Fonte: ABEP (2018).

Para o estudo de caso deste trabalho, é utilizada a classe C (Tabela 4). Uma das escolhas pela classe é baseado pelo seu percentual de participação. A classe C representa quase a metade de percentual comparada as classes A, B, D e E (Figura 10).

Figura 10 – Percentual de participação por classes.



Fonte: ABEP (2018).

A análise das opiniões dos especialistas com base na classe C objetiva também que a implementação dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede tenha maior disseminação, em

vista de que no Brasil a fonte solar ainda é maior adotada nas classes A e B (Carvalho, et al, 2019).

3.11 CUSTOS

A análise de viabilidade de um projeto de sistema fotovoltaico depende da combinação entre o custo do investimento, da tarifa de energia, a irradiação solar e a temperatura do painel (RODRIGUES et al., 2016; DU et al., 2016). Os custos dos sistemas fotovoltaicos baseiam-se dos equipamentos necessários e os referentes ao projeto básico e instalação (PB). Na Quadro 3 é listado cada item necessário para a implementação do sistema fotovoltaico e o valor em reais.

Quadro 3 - Custos de um sistema fotovoltaico

Item	Característica	Valor (R\$)
Painel fotovoltaico	320W	599
Inversor Grid-Tie (Inv)	25kW	20000
Estruturas metálicas para fixação dos módulos (EM)	Suporte Painel Solar 4 Módulos de 240W a 365W Telha Cerâmica RS224	589
Cabos (CB)	Par de Cabo Solar 6mm Mackflex nas cores Vermelho e Preto – 01 metro	11,49
Quadro elétrico (SB)	String Box CC, 01 ou 02 Strings, 01 Saída / 01 ou 02 Entrada ECOSOLYS – ECOSTRING	2000
Projeto básico e instalação (PB)	30% a 40% do valor do investimento.	

Fonte: ABINEE (2012); MINHA CASA SOLAR (2019).

Com os custos especificados no Quadro 3 de cada item necessário, são aplicados os cálculos para dimensionamento do projeto e o custo nivelado de eletricidade (*Levelized cost of electricity* - LCOE) para o estudo de caso do Item 4.2.

3.12 METODOLOGIA DE CÁLCULO

Para o dimensionamento da potência do sistema fotovoltaico deve-se começar com a busca do consumo energético utilizado ao dia (CMD). Para o cálculo é usado a média de consumo energético (MCE) subtraídos o mínimo consumo de disponibilidade (CD), resultando na média de consumo energético normalizado (MCEn), Equação (1). Até o presente momento é obrigatório o pagamento do consumo de disponibilidade para todos os consumidores, independente da fonte energética usada (ANEEL, 2019). Com o resultado, aplica-se a Equação (2) com o valor normalizado.

$$MCEn = MCE - CD \quad (1)$$

$$CMD = \frac{MCEn}{30} \quad (2)$$

Em seguida, com o resultado do consumo médio utilizado do dia, é necessário dividir pelo índice de irradiação solar incidente (kWh/m².dia) no local definido, Equação (3), para a obtenção do arranjo fotovoltaico necessário (kWp) (Adaptado de PINHO; GALDINO, 2014). O resultado da Equação (3) é a potência que o sistema fotovoltaico deverá obter, expresso em watt-pico (Wp).

$$kWp = \frac{CMD}{\left(\frac{kWh}{m^2 dia} \right)} \quad (3)$$

Com o arranjo fotovoltaico dimensionado, basta dividir o resultado pela potência da placa solar (W) que será usada para obter a quantidade de placas necessárias (u), Equação (4). Para este trabalho, é assumido para as simulações a placa solar de 320W de potência conforme consta especificado no Quadro 3. Por fim, o custo total do investimento (CT) é calculado conforme a Equação (5).

$$u = \frac{kWp}{W} \quad (4)$$

$$CT = \left[EM(R\$) \left(\frac{u}{4} \right) \right] + [CB(R\$)(u4)] + [Placa(R\$)u] + Inv(R\$) + SB(R\$) + PB(R\$) \quad (5)$$

Na segunda parte da metodologia de cálculo, é equacionado o custo de produção do sistema fotovoltaico, expresso em R\$ por cada kWh produzido. O valor final gerado pela fórmula engloba todos os custos e fatores que influenciam o sistema fotovoltaico ao longo de toda sua vida útil. Dado pela fórmula chamada Custo Nivelado de Eletricidade ou *Levelized cost of electricity* (LCOE), o cálculo pode ser usado para comparar com a tarifa energética da concessionária de energia, visto que seu valor final é expresso da mesma forma. O cálculo leva em conta vários fatores como o custo do investimento, custo de manutenção do sistema e as taxas de juros aplicadas. Na Equação (6) é apresentada a fórmula do LCOE (HANSEN, 2019) que engloba os custos do investimento no t (It), custos de manutenção no ano t (Mt), custo com combustível (Ft), geração de energia no ano t (Et), taxa de desconto (R) e tempo de vida da tecnologia (N).

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^N (It + Mt + Ft)/(1+r)^t}{\sum_{t=1}^N (Et)/(1+r)^t} \quad (6)$$

A última equação trata dos tributos (PIS, COFINS E ICMS) que incidem na tarifa elétrica da concessionária e devem ser pagos obrigatoriamente. Na equação (7) o Valor total com tributos (VT) é obtido com a divisão da tarifa paga para a concessionária (T) pelas porcentagens de cada imposto. Os percentuais dos impostos variam de uma região para outra.

$$VT = \frac{T}{1 - \%PIS - \%COFINS - \%ICMS} \quad (7)$$

A porcentagem do tributo que será aplicado ao valor final é cobrada pela União para manter programas voltados para o trabalhador. A alíquota média desses tributos que são lançados na fatura energética varia com o volume de créditos apurados mensalmente pela concessionária e com o PIS e a COFINS pagos sobre custos e despesas (EDP BANDEIRANTE, 2019).

3.13 ESPECIALISTAS

As características dos especialistas necessários para responder o questionário se baseiam no trabalho de Buccieri (2014) e no artigo de Addy (2017). Buccieri comenta que na sua metodologia foi usado as seguintes características: Formação em engenharia com mais de cinco anos de experiência; atuação na área energia a menos dois anos de experiência na empresa definida e ter a disponibilidade para responder a pesquisa em tempo hábil, entendendo e repassando as informações requeridas.

Para Addy, foi classificado que os especialistas deveriam: Trabalhar na academia, setor governamental ou na indústria. Além disso, os autores concordam que o objetivo principal é selecionar os participantes com o conhecimento especializado necessário e a experiência no campo em questão.

Nesse sentido, baseado nestes dois estudos, foram elaboradas para este trabalho as características aos cinco especialistas selecionados. Para obter informações aprofundadas e generalizadas a respeito dos aspectos, a escolha deste grupo foi considerada crucial para o desenvolvimento deste trabalho. Algumas características para o perfil selecionado foram especificadas como os cargos ocupados pelos especialistas que são em empresas de instalação de SFCR, membros de associações que representam e promovem o setor fotovoltaico brasileiro no País, como por exemplo, a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), ou por pessoas que tenham uma experiência comprovada na área pesquisada, porém com o foco em gestão. Como características secundárias, têm-se: experiência na área de mais de cinco anos; ter disponibilidade para responder a pesquisa em tempo hábil, entendendo e repassando as informações requeridas.

As atividades econômicas são baseadas em conhecimento e aprendizado (SMITH, 2015). No que diz respeito ao conhecimento buscado nos especialistas, serão explorados três tipos. Asheim e Vang (2007) distinguem três categorias principais de base de conhecimento: "analítica", "sintética" e "simbólica", que contêm diferentes combinações de conhecimento tácito e codificado.

Base analítica: Inovação pela criação de novos conhecimentos; Importância do conhecimento científico, muitas vezes baseado em processos dedutivos e modelos formais e conhecimento predominantemente científico.

Base sintética: Importância do conhecimento aplicado, muitas vezes através de processos indutivos e domínio do conhecimento tácito devido a habilidade adquirida pela experiência, saber prático.

Base simbólica: Inovação por recombinação do conhecimento existente de novas maneiras; aprendizagem por meio da interação na comunidade profissional e confiança em conhecimento tácito, habilidades práticas e habilidades de busca e de pesquisa.

A implantação de sistemas fotovoltaicos inclui processos como seleção de tecnologia, aquisição, comissionamento, projeto, instalação e uso, bem como os procedimentos administrativos necessários. Particularmente nos mercados iniciais, o desenvolvimento desses processos provavelmente dependerá de conhecimento que pode ser tácito por natureza e em uma base de conhecimento que provavelmente é sintética e não analítica (LENA et al., 2017). Assim, o conhecimento buscado nos especialistas englobará os três tipos citados, com maior predominância no conhecimento sintético e o simbólico. No Quadro 4 é exibido as características dos especialistas e os tipos de conhecimento buscado de forma resumida.

Quadro 4 - Características dos especialistas

Características primárias	Características secundárias	Conhecimento buscado
Cargo em empresas de instalação de SFCR.	Experiencia na área de mais de cinco anos.	Base analítica: Criação de novos conhecimentos, importância do conhecimento científico.
Membros de associações que representam e promovem o setor.	Disponibilidade para responder a pesquisa em tempo hábil	Base sintética: Importância do conhecimento aplicado, saber prático.
Experiência comprovada na área (foco em gestão).		Base simbólica: conhecimento tácito, habilidades práticas e habilidades de busca e de pesquisa

Fonte: Produção da própria autora.

No questionário, é explorado os três tipos de conhecimentos a fim de obter as matrizes de comparação individuais determinada pelo método AHP. Vale ressaltar que antes da aplicação dos questionários, foram feitas entrevistas aos especialistas para confirmar se a participação atenderia as características especificadas ou não.

3.14 MÉTODO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS ASPECTOS

Depois de especificado o perfil dos especialistas que participariam da pesquisa, foi aplicado um primeiro questionário (Figura 11) aberto que abordou uma questão com o objetivo de obter opiniões acerca do primeiro objetivo do trabalho (Identificar os aspectos mercadológico, legislativo, ambiental, social e econômico de sistemas solares fotovoltaicos em residências). O questionário foi aplicado por meio da utilização da ferramenta *Survey Monkey*.

Figura 11 – Questionário aberto aplicado.

Questionário sobre Sistemas Fotovoltaicos - Aplicado para os Especialistas

Questionário aberto

Este questionário enquadra-se numa pesquisa no âmbito de uma dissertação de Mestrado em engenharia de produção, realizada na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", com o tempo médio de resposta de apenas 5 MINUTOS. Os resultados obtidos serão utilizados apenas para fins académicos, sendo realçado que as respostas dos inquiridos representam apenas a sua opinião individual. Solicitamos que responda de forma espontânea e sincera a questão.

Partindo da implementação de um sistema fotovoltaico para consumidores da classe C, para você quais são os fatores e os aspectos importantes a serem observados para a decisão de implementar ou não um sistema fotovoltaico (FV) em uma residência?

O objetivo do questionário é identificar aspectos dos mais vários tipos como mercadológico, legislativo, ambiental, social e econômico.

(Esta não é uma lista de prioridades, por favor não listar os mais importantes, mas sim todos que julgar pertinentes à questão).

1.

2.

Fonte: Produção da própria autora.

Os resultados obtidos com o primeiro levantamento servem de base para a elaboração do segundo questionário aplicado (Figura 12). O segundo questionário contém 6 questões que tem

como objetivo a comparação par a par dos aspectos identificados com o primeiro questionário.

Figura 12 – Questionário fechado aplicado.

Questionário sobre Sistemas Fotovoltaicos - Aplicado para os Especialistas

Este questionário enquadra-se numa pesquisa no âmbito de uma dissertação de Mestrado em engenharia de produção, realizada na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", com o tempo médio de resposta de apenas 10 MINUTOS. Os resultados obtidos serão utilizados apenas para fins académicos, sendo realçado que as respostas dos inquiridos representam apenas a sua opinião individual. Não existem respostas certas ou erradas. Por isso lhe solicitamos que responda de forma espontânea e sincera a todas as questões.

O objetivo deste questionário é avaliar, por meio da emissão de julgamentos de valor, qual é o grau de importância de um aspecto sobre o outro. Partindo-se dos aspectos a serem observados para a decisão de implementar ou não um sistema fotovoltaico para consumidores da classe C em uma residência.

Para a avaliação, você precisará decidir qual aspecto tem a importância maior sobre o outro e em seguida marcar o número para descrever o grau de importância. O número 1 indica que os dois aspectos são igualmente importantes para a avaliação e o número 9 indica que um é absolutamente importante do que o outro, quanto maior o número, maior o grau de importância relativa.

Obrigada pela sua colaboração.

* 1. O que é mais importante ? (marque a opção que indica sendo a mais importante atribuindo sua importância)

	1 - Importância igual	3	5	7	9 - Importância absoluta
Desconhecimento sobre o tema	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aspecto cultural	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

* 2. O que é mais importante ? (marque a opção que indica sendo a mais importante atribuindo sua importância)

Fonte: Produção da própria autora

Neste segundo questionário, os seis aspectos identificados são classificados em dois grupos, assim definidos: “Fatores internos” e “Fatores externos”. Os fatores denominados

internos referem-se as características impostas ao consumidor e os fatores denominados externos as características do próprio sistema fotovoltaico e suas vertentes.

O segundo questionário proposto aos especialistas conteve um número relativamente baixo de questões, em vista de que com um alto número de questões a serem respondidas, os especialistas poderiam fadigar e não responderem com certeza de julgamentos. Sendo assim, foram unificados alguns aspectos levantados no primeiro questionário de forma a reduzir o número a ser utilizado no segundo questionário.

3.15 FERRAMENTAS EMPREGADAS

A fim de possibilitar a elaboração deste trabalho foram utilizadas basicamente duas ferramentas, sendo elas o Processo Hierárquico Analítico (Método AHP) e o *Survey Monkey*, detalhadas a seguir:

3.15.1 Método - Processo Hierárquico Analítico (AHP)

No processo de tomada de decisão, na maioria das vezes a escolha da melhor decisão leva em conta múltiplos critérios, fatores e objetivos. O método AHP, que foi criado por Saaty na década de 70 nos Estados Unidos, é estruturado começando com a definição um objetivo global desejado. Depois de definido o objetivo, é descrito os critérios numa estrutura de árvore, sendo o objetivo global a raiz (SHIMIZU, 2006).

Uma característica em relação a árvore de decisão é que à medida que se afasta da raiz, têm-se fatores mais específicos e os extremos representam os critérios para a avaliação. O princípio básico do AHP é o desenvolvimento do vetor de prioridades pelo cálculo do maior auto vetor de cada matriz de comparação paritária. Neste processo é utilizado uma das formas aproximadas especificadas por Saaty (SHIMIZU, 2006).

Dependendo da quantidade de critérios que é comparado, pode gerar uma quantidade relativamente grande de matrizes de comparação, sendo considerado uma das dificuldades de aplicação do método AHP. Para demonstrar de forma prática a aplicação, será ilustrado um exemplo de fácil compreensão. O exemplo conta com duas alternativas (emprego A e B) e três critérios de decisão. Para realizar a escolha do melhor emprego, é considerado os seguintes critérios: C1 – salários e benefícios; C2 – Oportunidade de progresso profissional na empresa; e C3 – localização da empresa. O candidato reside na cidade do Rio de Janeiro, porém está disposto a mudar de cidade, caso as vantagens oferecidas por outros fatores sejam

compensadoras. Os critérios foram avaliados conforme Quadro 5 (SHIMIZU, 2006).

Quadro 5 - Exemplo ilustrativo: Critérios e alternativas

Critérios	Emprego A	Emprego B
C1 - Salário e benefícios	R\$ 34 mil	R\$ 40 mil
C2 - Oportunidade de progresso	alta	baixa
C3 - Localização	Curitiba	Rio de Janeiro

Fonte: Shimizu (2006).

Saaty desenvolveu uma escala de valores para as comparações paritárias para os julgamentos do critérios: 1 – Iguamente preferíveis; 2 – Iguamente para moderadamente preferível; 3 – Moderadamente preferível; 4 - Moderadamente para fortemente preferível; 5 – Fortemente preferível; 6 - Fortemente para muito fortemente preferível; 7 – Muito fortemente preferível; 8 – Muito para extremamente preferível e 9 – Extremamente preferível. Sendo os valores mais importantes 1, 3, 5, 7 e 9.

Para a utilização do AHP deve-se primeiro construir as matrizes de comparação paritária, nesta etapa o decisor elabora as matrizes de relacionamentos, definindo os valores (de acordo com a escala de Saaty) da importância do relacionamento de cada fator C_i com outro fator C_j . O segundo passo é obter a prioridade relativa de cada critério normalizando os valores da matriz dividindo cada elemento pela soma da coluna a que pertence. A prioridade de cada critério é a média aritmética dos valores da linha. Em seguida é importante testar a consistência das prioridades relativas obtendo o vetor dos pesos, o vetor de consistência, o valor λ_{max} , o índice de consistência (CI) e a Taxa de Consistência (CR) (SHIMIZU, 2006).

A Taxa de Consistência CR é obtida pela fórmula $CR = CI/ACI$, onde ACI é o índice de consistência referente a um grande número de comparações paritárias efetuadas. O valor de ACI depende do número de critérios de decisão ($n = 3$) e é fornecido pela Tabela 5.

Tabela 5 - Valores de ACI

n	3	4	5	6	7	8
ACI	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41

Fonte: Shimizu (2006).

O quarto passo consiste em construir as matrizes de comparação paritária que agregam cada critério às alternativas de decisão, é feito para cada critério levando em conta sua importância relativa dos Empregos A e B, obtendo as prioridades relativas de cada alternativa em relação a cada critério. Por fim, com a prioridade atribuída a cada alternativa (que no exemplo é referido como a escolha dos empregos), é classificada como a melhor decisão a que possui prioridade superior.

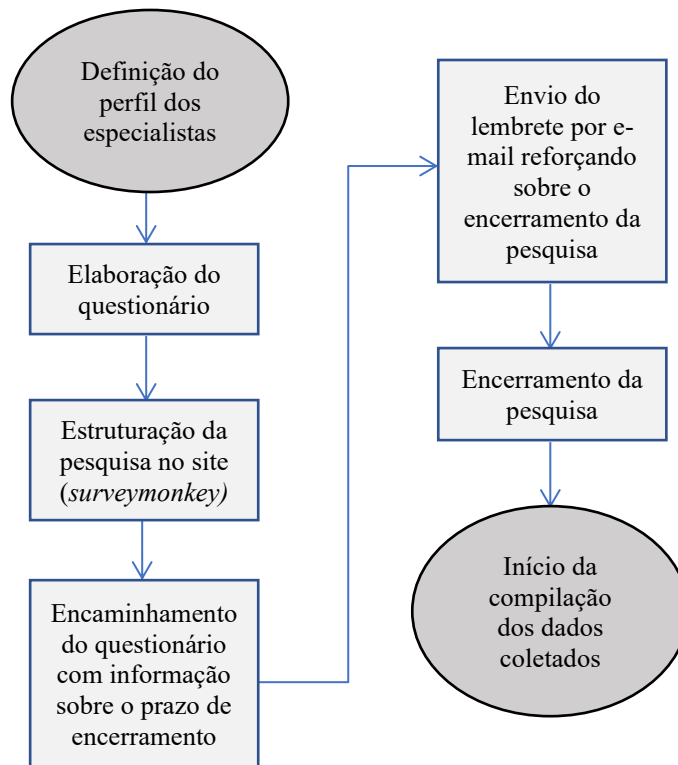
3.15.2 Ferramenta de pesquisa

Na etapa que é recolhida as opiniões dos especialistas, é necessário a submissão de um questionário por meio da plataforma *Survey Monkey* baseada em nuvem de desenvolvimento de pesquisas online fundada em 1999 por Ryan Finley. É uma ferramenta de pesquisa da internet, flexível, robusta e confiável, que possibilita a coleta de dados em tempo real, de forma imparcial e respeito à necessária privacidade aos participantes questionados (SURVEYMONKEY, 2019).

No presente trabalho, duas etapas de pesquisa são elaboradas por meio do inquérito por questionário e aplicada separadamente à cada especialista por um link específico enviado por meio de e-mails via internet, com perguntas simples visando colher informações sobre os fatores pilares de gestão de sistema fotovoltaico residencial, das quais cada especialista expressa sua opinião de acordo com sua experiência profissional e acadêmica.

O retorno das informações foi coletado diretamente pela plataforma online do *SurveyMonkey* (www.surveymonkey.com), tabulados e em seguida analisados para inferir sobre os resultados da pesquisa. A Figura 13 apresenta uma visão macroscópica do processo de aplicação dos questionários de pesquisa.

Figura 13 - Processo de aplicação do questionário.



Fonte: Adaptado de Buccieri (2014).

Depois da definição do perfil dos especialistas, elaborou-se os questionários que seriam aplicados. O primeiro questionário tem um aspecto qualitativo e o segundo questionário um aspecto quantitativo. Após a definição do formato do primeiro questionário, foi iniciada sua estruturação no Survey Monkey. As etapas seguintes foram encaminhar o questionário para os especialistas, enviar lembrete para os que não tinham respondido e com todas as respostas recolhidas foi feita a compilação dos dados. Com os dados obtidos com o primeiro questionário, iniciou-se a elaboração do segundo questionário e a sequência da Figura 13 foi repetida.

3.16 DESAFIOS ENCONTRADOS

Levando-se em consideração a análise proposta nesta pesquisa, os principais desafios abordados na pesquisa para elaboração do trabalho foram:

- A limitação na obtenção de informações sobre projetos de sistemas fotovoltaicos em empresas especializadas. De quatorze empresas contatadas, cinco responderam de forma satisfatória;

- Por se tratar de um estudo empírico, a busca de informações e dados na literatura científica nacional e internacional com o foco prático foi limitada;
- A divergência de informações encontrada na literatura acerca de sistema solares fotovoltaicos quanto a dimensionamento e outras informações técnicas;
- Falta de informações acerca da opinião de consumidores, em vista de que de todas as pessoas contatadas por empresas para a implantação de sistemas fotovoltaicos, somente na faixa de 7% adquirem, mesmo o projeto obtendo uma economia de energia entre 85% a 95%; e
- O custo de investimento ser considerado alto no estudo de caso, mesmo o projeto sendo feito para minimizar o dispêndio em todos os fatores. Os prazos para vistorias do Procedimentos de Distribuição (PRODIST) (módulo3) também contribui negativamente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DADOS COLETADOS

Nesse capítulo serão apresentados os dados coletados com os questionários. A pesquisa teve como objetivo a busca do conhecimento empírico, por meio do questionário especialmente elaborado para a realização da atividade, em relação a implantação de sistemas fotovoltaicos em residências. Esta etapa do processo de pesquisa contou com a participação de cinco especialistas, divididos em:

- especialista de um órgão governamental setor de energia solar fotovoltaica;
- especialistas de empresas do setor de energia solar; e
- especialistas da área acadêmica de energia solar.

Cada especialista respondeu inicialmente o primeiro questionário que buscava os aspectos mais relevantes a serem observados para a decisão de implementar ou não um sistema fotovoltaico em uma residência. Os aspectos obtidos foram analisados e unificados quando obtinham o mesmo significado a fim de diminuir a quantidade. No Quadro 6 é exibido a lista obtida de aspectos sem uma ordem de prioridade e sua descrição.

Quadro 6 - Aspectos mais relevantes

Aspectos	Descrição
Custos	Todo custo referente à compra e implementação do sistema.
Uniformização de normas	Grande diversidade de normas entre os estados sobre a implementação de sistemas fotovoltaicos.
Falta de influenciadores	Falta da disseminação informacional acerca da fonte de energia solar por parte do governo.
Desconhecimento sobre o tema	Consumidores tem pouco ou desconhecem totalmente a fonte solar e suas características para implementação própria.
Falta de prioridade	Os consumidores não investem em sistemas solares como primeira opção de economia monetária, mesmo obtendo benefícios significativos a longo prazo.
Cultural	No Brasil não é comum a prática da busca pela sustentabilidade de forma significativa e isso confronta diretamente com a implementação.

Fonte: Produção da própria autora.

As respostas obtidas tiveram características que puderam ser subdividas em dois grupos: Fatores internos e fatores externos (Quadro 7). A divisão permitiu obter as opiniões dos especialistas com o segundo questionário de forma mais objetiva. Antes da submissão do segundo questionário, foram realizados testes parciais com o AHP.

O segundo questionário, que foi submetido aos mesmos especialistas da primeira pesquisa, contou com seis questões no total em relação aos aspectos pontuando de acordo com suas opiniões e experiências os pesos de um sobre o outro, para obter matrizes de comparação individuais.

Quadro 7 - Aspectos divididos por grupos

	Número do aspecto	
Fatores internos	1	Desconhecimento sobre o tema
	2	Falta de prioridade
	3	Cultural
Fatores externos	4	Uniformização de normas
	5	Falta de influenciadores
	6	Custos

Fonte: Produção da própria autora.

O questionário foi projetado usando o método de nove pontos recomendado por Saaty e está em conformidade com a exigência de comparação pareada do AHP. Assim, cinco questionários preenchidos efetivamente geraram vinte matrizes de comparação no total. Cada questionário gerou quatro matrizes de 3 x 3 por conta da divisão dos aspectos em dois grupos.

Os resultados do método AHP são demonstrados por meio da ponderação de indicadores e da análise de consistência. Com base no julgamento dos especialistas, as quais preencheram os questionários de participação, foram obtidas as vinte matrizes de comparação e normalização e dez de análise de consistência de cada avaliação, para obter a ponderação individual dos aspectos. Em seguida foi efetuada a análise de todos os aspectos, envolvendo as análises individuais dos especialistas e gerando a classificação geral por relevância. Todos os cálculos neste trabalho foram efetuados por meio do aplicativo MS Office – Excel devido ao número de matrizes.

A título de exemplificação, será demonstrada a análise individual de um especialista. Tendo como base o Quadro 7 em relação ao número identificado dos aspectos, as Tabelas 6 e 7 referem-se aos julgamentos dos especialistas e os pesos obtidos de cada aspecto e as Tabelas 8

e 9 aos testes de consistência.

As matrizes das Tabelas 6 e 7 foram preenchidas de acordo com as respostas do segundo questionário. Com a obtenção do grau de importância de um aspecto sobre o outro, foi possível calcular o “Auto Vetor” e o “Peso” de cada aspecto.

Tabela 6 - Matriz 1 de comparação e normalização dos aspectos do Grupo Fatores Internos

Fatores Internos	1	2	3	Autor vetor	Peso
1	1	3	9	3	67%
2	1/3	1	5	1,18	27%
3	1/9	1/5	1	0,28	6%
Totais	1,44	4,2	15	4,46	100%

Fonte: Produção da própria autora.

Tabela 7 - Matriz 2 de comparação e normalização dos aspectos do Grupo Fatores Externos

Fatores Externos	4	5	6	Autor vetor	Peso
4	1	1/3	1/9	0,33	7%
5	3	1	1/5	0,84	18%
6	9	5	1	3,55	75%
Totais	13	6,33	1,31	4,73	100%

Fonte: Produção da própria autora.

Os testes demonstrados nas Tabelas 8 e 9 são utilizados para verificar se os valores estão consistentes. De acordo com Saaty (1991) a taxa de consistência (CR) deve ser inferior a 0,10 para ser considerada válida. Nos dez testes realizados os valores obtidos foram menores ou iguais a 0,10 (SHIMIZU, 2006).

Tabela 8 - Testes de consistência da Matriz 1

λ -max	IC	CR	Teste
3,02	0,01	0,025	Ok

Fonte: Produção da própria autora.

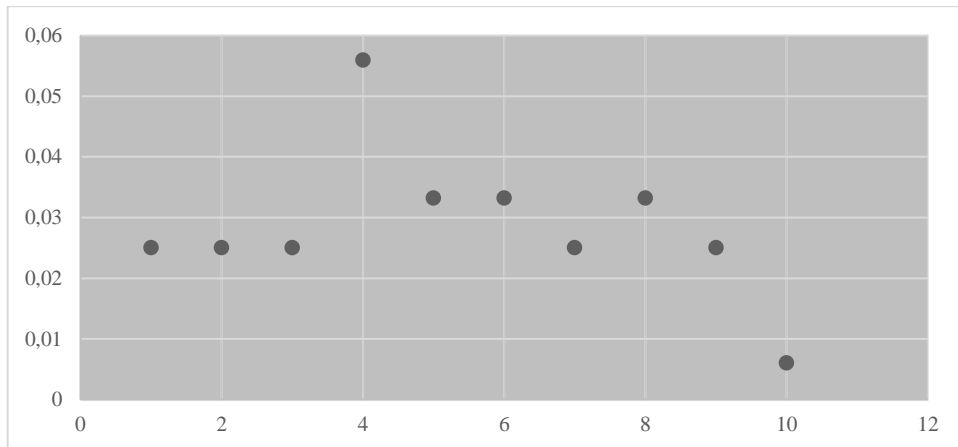
Tabela 9 - Testes de consistência da Matriz 2

λ -max	IC	CR	Teste
3,02	0,01	0,025	Ok

Fonte: Produção da própria autora.

Para uma demonstração visual das Taxas de Consistências (CR) obtidas, foi elaborado um gráfico de dispersão (Figura 14) com todos os 10 julgamentos individuais (dois testes por cada questionário). É possível constatar que os julgamentos foram considerados aceitáveis para este trabalho por conta de todos os resultados serem igual ou menor que 0,10.

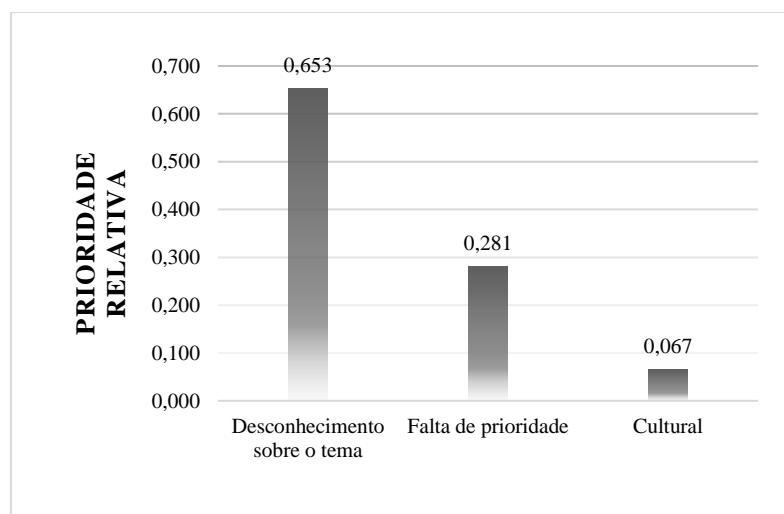
Figura 14 - Taxas de Consistências das matrizes de comparação paritária.



Fonte: Produção da própria autora.

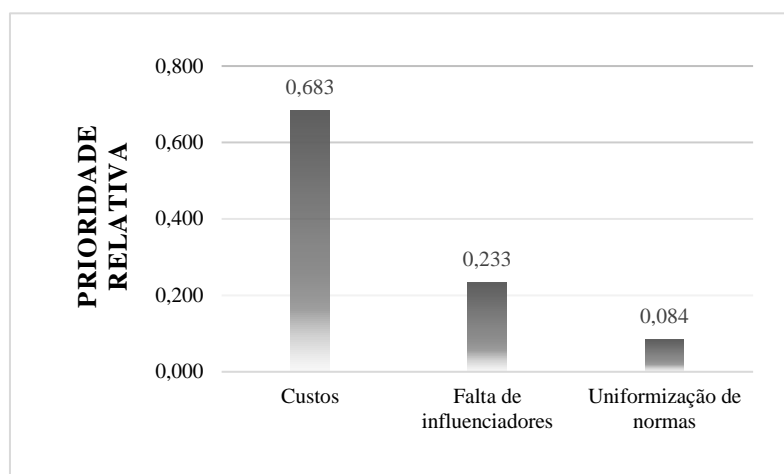
Com base nos valores gerados pelo resultado das matrizes de comparação paritária, foram obtidas as prioridades de cada aspecto. A Figura 15 apresenta as prioridades relativas de cada aspecto do grupo de Fatores Internos e a Figura 16 apresenta as prioridades relativas do grupo de Fatores Externos.

Figura 15 – Prioridades relativas: Fatores internos.



Fonte: Produção da própria autora.

Figura 16 – Prioridades relativas: Fatores externos



Fonte: Produção da própria autora.

A partir da Figura 15 e 16, pode-se observar:

- O aspecto “Custo” do grupo Fatores Externos e o aspecto “Desconhecimento sobre o tema” do grupo Fatores Internos apresentam as prioridades relativas máxima de 0,68 e 0,65, respectivamente, considerados como os mais importantes para a decisão de implementação de um sistema solar fotovoltaico em residências;

- O aspecto “Falta de influenciadores” do grupo Fatores Externos e o aspecto “Falta de prioridade” do grupo Fatores Internos apresentam as prioridades relativas máxima de 0,23 e 0,28, respectivamente, considerados como os mais importantes em segundo lugar para a decisão de implementação de um sistema solar fotovoltaico em residências; e

- O aspecto “Uniformização de normas” do grupo Fatores Externos e o aspecto “Cultural” do grupo Fatores Internos apresentam as prioridades relativas máxima de 0,08 e 0,06, respectivamente, considerados como os mais importantes em terceiro lugar para a decisão de implementação de um sistema solar fotovoltaico em residências.

4.2 ESTUDO DE CASO

Como forma de aplicar o método utilizado no trabalho, foi feita uma análise em um caso real de um consumidor tomando como objetivo projetar um sistema de microgeração residencial

por meio de um sistema fotovoltaico (SF). Para o dimensionamento do projeto, foi levantado todo o consumo médio do proprietário bem como dados ambientais da localização.

O dimensionamento proposto foi calculado a partir do consumo de seis medidores obtidos com o consumidor, o número elevado de medidores justifica o uso do autoconsumo remoto conforme item 3.5. Ressalta-se que a partir de uma inferência inicial, foram desconsiderados dois medidores (94335052 e 94335036 - Tabela 10) por conter consumos baixos e que contribuem de forma negativa no cálculo de dimensionamento por conta do pagamento do custo de disponibilidade.

O consumidor tem uma demanda anual de 30.027 kWh. Em vista de ocorrer alguma eventual produção de energia abaixo da esperada por conta de fatores ambientais, por exemplo, foi acrescido na demanda 30% a mais para o dimensionamento, obtendo então uma demanda anual em 39.035 kWh ou 3.252,91 kWh mensais ou 107 kWh diários. A Tabela 10 especifica todo o consumo a partir de setembro de 2018 até agosto de 2019.

Tabela 10 - Consumo médio (kWh)

Medidor	35381094	94335010	94335052	35381116	94335044	94335036
Ligação	Bifásica	Trifásica	Bifásica	Trifásica	Bifásica	Bifásica
Janeiro	317	1623	68	1040	67	64
Fevereiro	493	936	77	2455	195	73
Março	265	416	63	2267	87	72
Abril	249	1576	60	2152	1	70
Maiο	279	435	64	1309	0	69
Junho	115	1312	52	1476	0	49
Julho	104	1585	55	544	58	52
Agosto	2	58	46	1167	234	49
Setembro	75	739	60	560	283	60
Outubro	146	683	54	1707	60	63
Novembro	159	184	54	494	24	67
Dezembro	226	1724	63	146	0	65
Total	2430	11271	716	15317	1009	753

Fonte: Produção da própria autora.

Na Tabela 11 é possível observar o cálculo da Tarifa de Energia Consumida (TE), da

Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição (TUSD) e da Tarifa Final que o consumidor paga a concessionária de energia (R\$ 0,77 por cada kWh). Em vista da variação de impostos incididos (ICMS, PIS/PASEP e COFINS) nos diferentes medidores, foi necessário calcular a tributação de cada medidor.

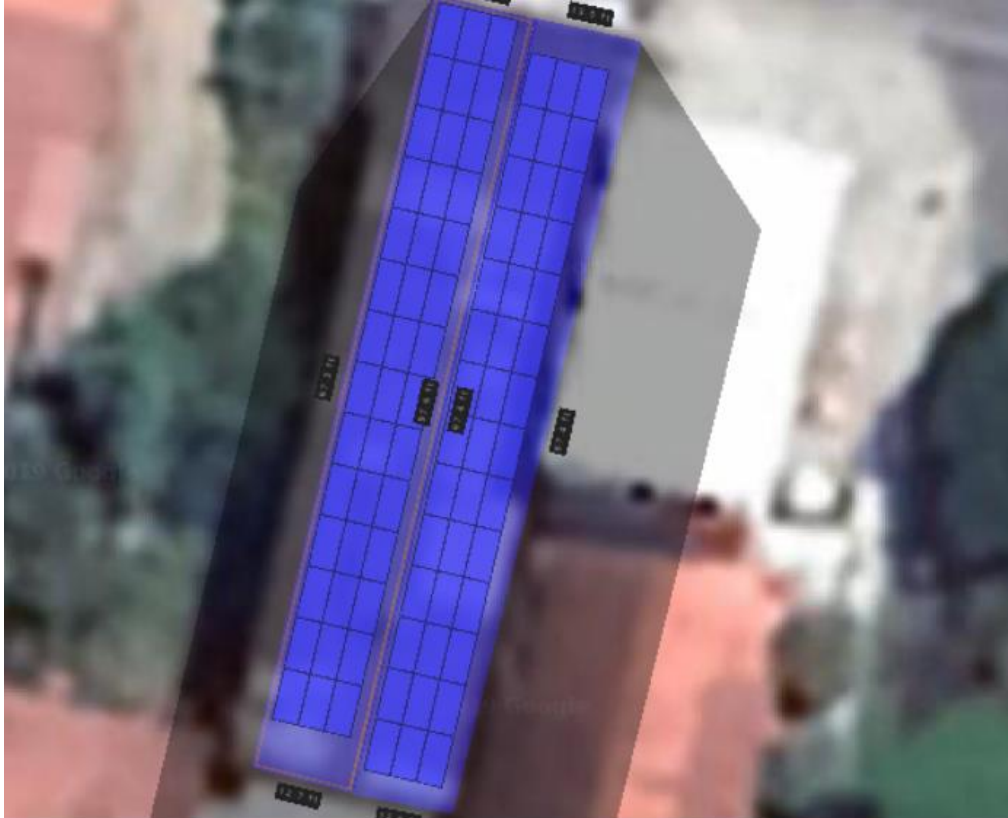
Tabela 11 - Cálculo das tarifas

Medidor	35381094	94335010	35381116	94335044
TE (R\$/kWh)	0,38	0,31	0,31	0,31
TUSD (R\$/kWh)	0,29	0,24	0,24	0,24
ICMS	12%	18%	26%	12%
PIS/PASEP	0,86%	0,86%	0,86%	0,86%
COFINS	3,96%	3,96%	3,96%	3,96%
TARIFA PARCIAL (R\$/kWh)	0,81	0,72	0,8	0,67
TARIFA FINAL (R\$/kWh)	0,77			

Fonte: Produção da própria autora.

Antes do dimensionamento do estudo de caso, foi explorado com o software *HelioScope* qual seria a disponibilidade máxima real de painéis fotovoltaicos para a propriedade se fosse desconsiderado a real necessidade. O software *HelioScope* faz análises de produção de energia (HELIOSCOPE, 2019). O resultado foi uma disponibilidade de 84 painéis fotovoltaicos com medidas de 1960 x 992 cm. Na Figura 17 é demonstrado em imagem real a disposição dos painéis na propriedade. A análise serve para verificar se o espaço disponível atenderá a demanda solicitada e também para ciência de disponibilidade de folga, que posteriormente o proprietário poderá aumentar seu sistema caso sua necessidade energética aumente.

Figure 17 - Localização panorâmica real da propriedade.



Fonte: Helioscope (2019).

O software busca, por meio de coordenadas *Universal Transversa de Mercator* (UTM), a localização real da propriedade em que será instalado o sistema fotovoltaico e consegue verificar o espaço disponível e os índices de sombreamento no local. Para o estudo de caso, onde a propriedade se localiza na cidade de São José dos Campos no Vale do Paraíba, não foi obtido índices de sombreamento, em vista de não ter nenhum prédio ou árvores com altura suficiente.

Por meio das equações referenciados no item 3.12 do trabalho, foi feito todo o dimensionamento. Para o caso, a média diária de kWh necessária é de 107 kWh/dia (desconsiderado o custo de disponibilidade obrigatório pago para a concessionária).

4.2.1 Dimensionamento

A partir dos dados coletados, foi feito todo o dimensionamento para aplicação do estudo de caso. O primeiro passo é a obtenção do tamanho do arranjo necessário (Quadro 8) e para o cálculo é preciso o consumo diário de energia e o índice de irradiação incidente no local de instalação.

Quadro 8 - Dados do projeto

Energia gerada	107 kWh/dia
Irradiação solar	4,58 h/dia
Arranjo fotovoltaico	23,36 kWp

Fonte: Produção da própria autora.

O passo seguinte foi o cálculo de quantos painéis (equação 4), com o valor do arranjo fotovoltaico, que seriam necessários para suprir a necessidade. Para este projeto, assumiu um painel solar com 320W (policristalino). Em conseguinte, o custo total do investimento (CT) é calculado conforme Equação (5) e demonstrado pelo Quadro 9. O CT foi adaptado no Excel para facilitar o cálculo caso haja alguma mudança de custo e dimensionamento ao longo da elaboração do projeto.

Quadro 9 - Custo total

Item	Custo
72 Módulos fotovoltaicos 320W	R\$ 43.800,00
Inversor 25kW	R\$ 20.000,00
Estrutura metálica (EM) para fixação dos módulos	R\$ 10.749,25
Cabos	R\$ 1.838,40
Quadro elétrico (<i>String Box</i>)	R\$ 2.000,00
ART do projeto	R\$ 226,50
Custo de instalação	R\$ 23.584,25
Total	R\$ 102.198,40

Fonte: Produção da própria autora.

A última parte do cálculo é referente ao custo de produção do sistema fotovoltaico, expresso em reais por cada kWh produzido. Chamado de custo nivelado de eletricidade, ou o *Levelized cost of electricity* (LCOE), o cálculo pode ser usado para comparar com a tarifa energética da concessionária de energia, visto que seu valor final é expresso da mesma forma. Para o referido cálculo, é preciso identificar todos os gastos anuais incididos com a

implementação do sistema, que engloba o CT, o custo de disponibilidade anual (R\$3.712,80) e o custo com as bandeiras tarifárias (Quadro 10).

Quadro 10 - Histórico bandeiras tarifárias (2015 a 2019) e custo total de acréscimo

	ANO					Média de acréscimo (R\$)	Média consumo por mês (kWh)	Acréscimo por mês (R\$)
	2015	2016	2017	2018	2019			
Jan	Vermelha (1)	Vermelha (1)	Verde	Verde	Verde	0,016	3047	48,75
Fev	Vermelha (1)	Vermelha (1)	Verde	Verde	Verde	0,016	4079	65,26
Mar	Vermelha (1)	Amarela	Amarela	Verde	Verde	0,014	3035	42,49
Abr	Vermelha (1)	Verde	Vermelha (1)	Verde	Verde	0,016	3978	63,64
Maio	Vermelha (1)	Verde	Vermelha (1)	Amarela	Amarela	0,022	2023	44,50
Jun	Vermelha (1)	Verde	Verde	Vermelha (2)	Verde	0,02	2903	58,06
Jul	Vermelha (1)	Verde	Amarela	Vermelha (2)	Amarela	0,026	2291	59,56
Ago	Vermelha (1)	Verde	Vermelha (1)	Vermelha (2)	Vermelha (1)	0,036	1461	52,59
Set	Vermelha (1)	Verde	Amarela	Vermelha (2)	Vermelha (1)	0,031	1657	51,36
Out	Vermelha (1)	Verde	Vermelha (2)	Vermelha (2)	Amarela	0,035	2596	90,86
Nov	Vermelha (1)	Amarela	Vermelha (2)	Amarela	-	0,0325	861	27,98
Dez	Vermelha (1)	Verde	Vermelha (1)	Verde	-	0,02	2096	41,92
Total								647,01

Fonte: Produção da própria autora.

Em relação ao custo com bandeiras tarifárias, foi calculado a média dos acréscimos cobrados desde a sua vigência em 2015 de acordo com a concessionária de energia EDP Bandeirante (EDP BANDEIRANTE, 2019). O cálculo foi dimensionado por mês e multiplicado pelo somatório de kWh utilizado por mês por cada medidor, obtendo assim o valor referente ao acréscimo anual.

Com a obtenção da tarifa energética paga pelo sistema convencional, calculou-se o LCOE de acordo com a Equação (6). Pelo valor médio de geração anual de energia, a taxa de desconto em 6% e um tempo de vida da tecnologia de 30 anos, o LCOE obtido foi de R\$0,39 por cada kWh.

Em comparação com a Índia, o cálculo do LCOE com uma taxa de desconto menor, 5%, e o tempo de vida também de 30 anos, foi obtido em R\$0,20 por cada kWh (cotação da Rupia Indiana realizada em 17 de março 2020). O valor inferior em quase 50% do LCOE, embora a Índia seja economicamente similar ao Brasil, é resultado de programas governamentais do Ministério de Energia Renovável do país, que reduziu em 2018 o custo dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, que incluem o CT e os custos de instalação e manutenção (YADAV; BAJPAI, 2019; COUNTRY ECONOMY, 2020).

Em comparação a tarifa da concessionária brasileira, como inferência preliminar, constata-se uma diferença alta entre o custo de cada geração, alcançando 50% de diferença em benefício do custo nivelado de eletricidade pago pelo sistema fotovoltaico.

Um valor alto observado dos custos diz respeito ao custo de instalação, em que as empresas cobram de 30 a 50% do valor total do sistema fotovoltaico, é necessário a contratação de mão de obra adequada para a instalação por conta da variação dos custos (SULTAN et al., 2018). Especificamente para o estudo de caso, se o cálculo do LCOE tivesse sido calculado com uma porcentagem do custo de instalação de 50%, o custo nivelado seria de R\$0,47 aproximadamente. Ao fazer uma correlação com o aspecto com maior prioridade relativa do grupo Fatores Externos, os “Custos”, observa-se como os custos associados interferem no custo final dos sistemas fotovoltaicos.

Por fim, como exigência da concessionária de energia para a obtenção do sistema de compensação de energia elétrica, foi desenvolvido o diagrama unifilar do projeto com o suporte do AutoCad (Apêndice A). O AutoCad é um software utilizado para a criação de desenhos técnicos e desenvolvimento de projetos (AUTOCAD, 2019).

O diagrama unifilar baseia-se na representação de uma instalação elétrica por meio de símbolos gráficos. Num sistema fotovoltaico é exigido uma representação simples do projeto, contemplando (Apêndice A): a quantidade de painéis e quantas *strings* utilizadas (área a); a

representação dos quadros de proteção de corrente contínua (CC) e corrente alternada (CA) (áreas b) e a representação do inversor utilizado (área c).

Área a): O agrupamento dos módulos pode ser efetuado por meio do estabelecimento de ligação em série, paralelo ou misto. Em cada tipo os valores de tensão e corrente variam (CARNEIRO, 2010). Para o estudo de caso foi definido seis *strings* com ligação em série.

Área b): Os quadros de proteção se caracterizam pelo dispositivo de proteção contra surtos (DPS).

Área c): O inversor tem como função converter a energia gerada pelos painéis solares em CC em CA, que é usada dentro da residência.

4.3 PROPOSIÇÃO DE DIRETRIZES

Com os resultados obtidos com o trabalho pode-se identificar diretrizes acerca dos aspectos mais relevantes levantados. O aspecto mais importante do grupo de Fatores Internos, “Desconhecimento sobre o Tema”, obteve um índice de propriedade relativa alta, ou seja, um peso significativo para a implementação de sistemas fotovoltaicos em residências. O conhecimento superficial ou inexistente que consumidores energéticos tem da fonte solar gera desconfiança para adquirir. A imposição estruturada por meio de mídias digitais, que enalteça de forma objetiva a fonte e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável pode mudar de forma positiva este cenário.

O segundo aspecto mais importante do grupo Fatores Internos, “Falta de Prioridade”, diz respeito a escolha do consumidor energético de implementar ou não um sistema fotovoltaico em uma residência, colaborando com as informações obtidas com empresas do setor que a cada 100 pessoas contactadas por empresas para a implantação de sistemas fotovoltaicos, somente na faixa de 7 delas adquirem, mesmo o projeto obtendo uma economia de energia entre 85% a 95% (item 3.16). Em vista dos consumidores se sentirem inseguros com a fonte solar (por desconhecimento ou desconfiança da tecnologia) e não se sentem seguros com quem compram (empresas especializadas em orçamentos e projetos), a imposição do estabelecimento de certificação de normas de qualidade específicas de energia solar fotovoltaica para empresas especializadas bem como a criação de juros de financiamento mais baixos para pessoas físicas (pela Lei 13.203, de 2015, existem taxas diferenciadas para a instalação de sistemas de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis e para eficiência energética em hospitais e escolas públicas) poderia sintetizar esse aspecto, sendo incidido nos dias atuais uma média de 5% ano (BRASIL, 2015; BB, 2019; BNDES, 2019; BNB, 2019).

O terceiro aspecto mais importante do grupo Fatores Internos, o “Cultural”, corrobora no mesmo sentido do aspecto “Desconhecimento sobre o Tema”. Uma ação que poderia contribuir para esse aspecto é uma disseminação da fonte solar em escolas, preferivelmente na educação infantil, em que crianças teriam uma consciência energética sobre o assunto desde cedo, contribuindo para o seu desenvolvimento social. Além do desenvolvimento em si com as informações obtidas com as palestras, ter-se-ia o desencadeamento de informações quando as crianças fizessem o direcionamento para pessoas mais próximas como pais e irmãos. A disseminação poderia ser por meio de palestras, itens ilustrativos e qualquer outra característica que a tornasse interessante para a idade do público.

O aspecto mais importante do grupo Fatores Externos, “Custos”, também obteve um índice de propriedade relativa alta. Segundo o *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century – REN21* (2018), os custos de investimento ainda são considerados altos para sistemas fotovoltaicos (PEREIRA, 2019), porém, quando balanceado esse aspecto com outros fatores isso pode ser controverso, como por exemplo o mal dimensionamento de um projeto: números de placas fotovoltaicas acima do necessário para o consumo do cliente, inversores e *Stringbox* de especificação errada ou até mesmo problemas de instalação do arranjo físico do sistema e a análise a curto prazo de um projeto, sendo que um sistema fotovoltaico tem um tempo de vida de mais de 25 anos com eficiência.

Uma estratégia de economia de energia e para reduzir os custos associados de investimento, que não leva em consideração diretamente a fonte solar, é o gerenciamento da demanda de consumo energético (baseia-se em ações estratégicas e medidas impostas para um consumidor por meios de incentivos). Com a criação de novos hábitos, o consumidor fornecendo informações sobre o consumo de energia e os padrões de uso de consumo e a implementação de um sistema fotovoltaico em uma residência, seria obtido uma economia significativa, além de contribuir com a diminuição do pico demanda durante alguns períodos críticos (VEGA et al., 2020; BLAKERS et al., 2019; CHO; VALENZUELA, 2019).

Ainda em relação ao aspecto “Custos”, estudos recentes apresentam que as barreiras econômicas não afetam diretamente a implantação, mas estão interrelacionadas às barreiras sociais, tecnológicas e regulatórias, afetando indiretamente a implantação de energia renovável (SEETHARAMAN et al., 2019).

O segundo aspecto mais importante do grupo Fatores Externos, “Falta de Influenciadores”, poderia ser apurado com programas governamentais como mencionado no Decreto N° 5.793 (2006), que discorre sobre o estabelecimento de diretrizes para programas específicos da energia solar, bem como outras fontes. O sistema de tarifas *feed-in* (FIT)

implementado pela Alemanha é um exemplo desse tipo de programa governamental, em que se caracteriza pela compra de cada kWh injetado na rede pelo produtor de energia, provando ser um incentivo pela característica da contrapartida monetária (TRENNEPOHL, 2014). Outro aspecto para ser explorado é o incentivo fiscal, uma vez que em determinados lugares a modalidade de vender o excedente energético pode não ser considerada (ZENG; CHEN, 2019).

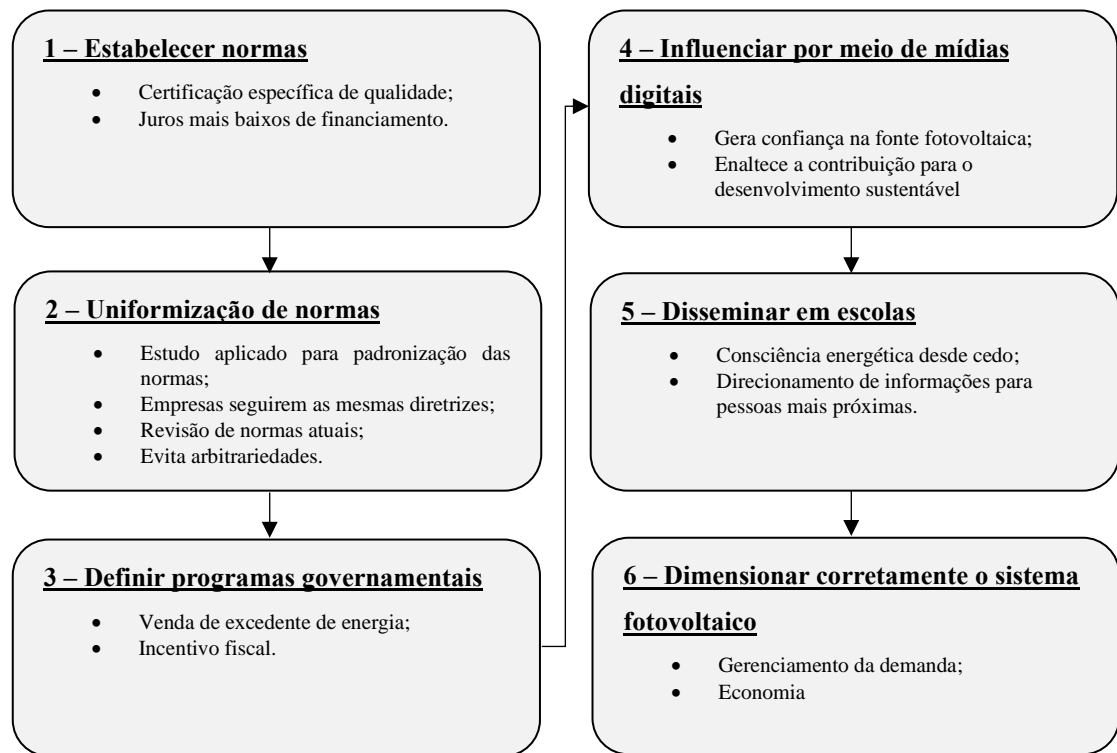
E por fim, o terceiro aspecto mais importante do grupo Fatores Externos, “Uniformização de normas”, é caracterizado pela grande diversidade de normas entre os estados no Brasil para a implementação de sistemas fotovoltaicos. Tem-se como exemplo o estado de Minas Gerais que isenta totalmente o ICMS de arranjos fotovoltaicos de até 5MW (BRASIL, 2017) diferentemente de outros estados que isentam somente até arranjos fotovoltaicos de 1 MG. Um estudo aplicado a fim de padronizar as normas referentes a energia solar entre os estados brasileiros com uma norma nacional por exemplo que contribuísse para as empresas seguirem uma mesma diretriz e não cada estado seguir sua própria norma, poderia contribuir para a disseminação da fonte solar. A uniformização das normas proporcionaria credibilidade pois far-se-ia necessário uma análise detalhada dos estados a fim de evitar arbitrariedades. A divergência e inconsistência legislativa no setor energético é uma característica histórica no Brasil, a adoção de processos inovativos institucionais e regulatório no setor com a inclusão de forma significativa da fonte solar fotovoltaica é uma necessidade (MORIGGI, 2017).

Um caminho a ser explorado seria uma norma nacional para energia solar fotovoltaica de escopo similar a NBR ISO 50001:2018 que trata de “Sistemas de gestão da energia — Requisitos com orientações para uso” e seu escopo baseia-se nos requisitos para estabelecer, implementar, manter e melhorar um sistema de gestão da energia (SGE) em uma organização, dando orientações para alcançar a melhoria contínua do desempenho energético e do Sistemas de gestão da energia (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018). Uma norma similar para a energia solar fotovoltaica poderia explorar um planejamento para implementar a fonte renovável para diferentes tipos de perfis de consumo, como também descrever os impactos decorrentes com a implementação em termos mínimos (como economia de energia para o consumidor, gerenciamento de demanda) ou em termos máximos (como impacto ambiental). As normas atuais NBR sobre energia solar fotovoltaica discorrem sobre “Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – Requisitos de projeto NBR 16690” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2019); “Instalações elétricas de baixa tensão NBR 5410” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) e “Sistemas fotovoltaicos conectados à rede — Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho NBR 16274” (ASSOCIAÇÃO

BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Outra vertente seria a revisão do PRODIST e a Resolução Normativa 687 da ANEEL, bem como a revisão das existentes que comprometem interpretações diferentes em determinados projetos. No PRODIST, por exemplo, que se caracteriza pelos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, no Módulo 3 (Acesso ao Sistema de Distribuição) (ANEEL, 2017) os prazos de cumprimento das etapas de implementação variam de um estado para outro. A Figura 18 exibe um esquema de forma a implementar em etapas as diretrizes propostas.

Figure 18 – Implementação das diretrizes propostas.



Fonte: Produção da própria autora.

A energia solar fotovoltaica obteve um crescimento expressivo no Brasil nos últimos anos e em vista dos dados expostos como empecilhos no setor para aumento de maior alcance da fonte, é necessário ações que favoreça o cenário cada vez mais. As diretrizes propostas objetiva a implementação da fonte de forma macro no país, tecendo sobre aspectos de vários segmentos do setor como o econômico, ambiental e social.

Em relação ao setor econômico, uma vertente não mencionada diz respeito às questões atuais dos subsídios concedidos para quem instala o sistema em uma residência pela resolução da ANEEL 682, que caracteriza pelo sistema de compensação de energia. Em comissão sobre

o código brasileiro de Energia Elétrica, realizada em 29 outubro de 2019, houve questões levantadas sobre os mínimos benefícios concedidos pelo governo. O representante da ANEEL justifica a taxação da energia injetadas na rede, entre diversos fatores, pelo pagamento dos encargos setoriais pelos consumidores com GD não ocorrer, porém é constatado divergência na informação em vista de que os encargos são pagos por meio do custo de disponibilidade cobrado pela concessionária de energia. Ainda em reação aos encargos setoriais, a energia injetada pela GD na rede é consumida pelos vizinhos, por meio do efeito vizinhança. Durante o horário solar, a distribuidora usa a energia injetada pela GD, entrega esta energia para consumidores vizinhos e fatura integralmente estes consumidores como se a energia tivesse vindo do sistema nacional. A energia que é injetada na rede não vai para o sistema nacional para depois ser redistribuída, isso é feito instantaneamente assim que a energia excedida é injetada na rede, é transferido para o consumidor sem GD mais próximo, evitando vários encargos setoriais de distribuição e não obtendo as perdas (CANAL ENERGIA, 2019).

Nesse sentido, é constatado divergência de opiniões e informações sobre a fonte solar fotovoltaica em território nacional, então a criação de diretrizes objetiva também a mitigação de litígios, que podem vir a ocorrer com tais mudanças acontecendo no setor de GD. Um estudo feito para a Itália demonstra reclamações relacionadas a desempenho ou falhas acerca de aspectos contratuais na construção de usinas solares por exemplo, e os autores sugerem diretrizes para sanar as várias questões críticas (PROVENZANO; IDDAS, 2020).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho contribuiu para desenvolver e validar um método capaz de identificar e priorizar os aspectos mais importantes referentes a implementação de sistemas solares fotovoltaicos em residências.

Com base nos resultados obtidos com a pesquisa foi possível concluir que os objetivos originalmente formulados foram atingidos. Com relação ao primeiro objetivo – Identificar os aspectos mercadológico, legislativo, ambiental, social e econômico mais importantes de sistemas solares fotovoltaicos em residências – foi efetuado com a descoberta de seis aspectos (“Desconhecimento sobre o tema”; “Falta de prioridade”; “Cultural”; “Uniformização de normas”; “Falta de influenciadores” e “Custos”) mais relevantes divididos em dois grupos (Fatores Internos e Fatores Externos) de classificação. Os aspectos “Custos” e “Desconhecimento sobre o tema” apresentam as prioridades relativas máximas, considerados como os mais relevantes. Os aspectos “Falta de influenciadores” e “Falta de prioridade” apresentam prioridades intermediárias e os aspectos “Uniformização de normas” e “Cultural” apresentam as menores prioridades relativas.

Com o desenvolvimento do estudo de caso, houve a aplicação prática de toda teoria deste trabalho obtendo como resultado uma redução de custos mensais com energia em 50%. O valor obtido do custo nivelado de energia da fonte solar, R\$0,39, é considerado elevado em comparação a outro estudo de caso desenvolvido na Índia, R\$0,20, mesmo a Índia sendo um país economicamente parecido com o Brasil. A diferença é resultado de programas governamentais do país, que reduzem os custos dos sistemas fotovoltaicos e outros custos secundários.

No que concerne o terceiro objetivo – Comparar as políticas públicas referentes a energia solar fotovoltaica no Brasil com outros países líderes no segmento – foi atingido com um estudo teórico por meio de uma extensa revisão de literatura dos países líderes (China, Estados Unidos, Japão, Alemanha e Itália). Infere-se que os países têm características em comum para disseminar a fonte solar como programas de subsídios, venda de excedente de energia que é injetado na rede, investimento em pesquisa tecnológica e incentivos para armazenamento de energia em baterias.

O primeiro questionário, respondido por cinco especialistas da área, poderia ser respondido de forma aberta, em que os especialistas escreveram no próprio formulário quais aspectos são pertinentes de acordo com seu conhecimento analítico, sintético e simbólico. Devido a esta característica do questionário, as respostas precisaram ser analisadas para a

unificação de aspectos com mesmo significado.

Um segundo levantamento por questionário foi efetuado com o objetivo de priorizar (em relação ao outro do mesmo grupo) os aspectos identificados com o primeiro questionário. O questionário, que conteve seis perguntas, foi respondido pelos mesmos especialistas da primeira pesquisa e as respostas obtidas foram tratadas com o AHP, que foram validadas pela taxa de consistência (CR), sendo inferior a 0,1, validando a confiabilidade as prioridades relativas obtidas dos aspectos.

Com a identificação dos aspectos mais importantes de sistemas solares fotovoltaicos em residências foi possível a proposição de diretrizes. Entre as propostas mencionadas estão: a disseminação da fonte solar em escolas; a padronização das normas entre os estados e uma norma nacional de energia solar fotovoltaica com escopo similar a ISO 50001 (Sistemas de gestão da energia – Requisitos com orientações para uso); dimensionamento correto do sistema e gerenciamento da demanda de consumo energético.

Por fim, é válido comentar que a metodologia proposta é interdisciplinar e fornece uma referência abrangente e útil para a avaliação de implementação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede em residências contribuindo para a sociedade científica. Como sugestão de pesquisa futura é considerado a análise conjunta de gerenciamento da demanda, eficiência energética (medidores inteligentes, mudança tarifária como a transferência para Tarifa Branca - para residências - ou outras modalidades, como azul ou verde - para indústrias) bem como a implementação de um sistema fotovoltaico.

REFERÊNCIAS

- ADDY, M. N.; ADINYIRA, E.; AYARKWA, J. Identifying and weighting indicators of building energy efficiency assessment in Ghana. **Energy Procedia**, Kumasi, v. 134, p. 161-170, 2017.
- AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Atlas de energia elétrica. Energia Solar**. 2. ed. Brasil, 2007. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf). Acesso em: 5 jun. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL, **Bandeira tarifária**: sala de imprensa. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa>. Acesso em: 5 jun. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Municípios de cada distribuidora**. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/relatoriosrig/\(S\(pzveoqkb34it0unop4tlprte\)\)/relatorio.aspx?folder=sfe&report=MunicipiosdecadaDistribuidora](http://www2.aneel.gov.br/relatoriosrig/(S(pzveoqkb34it0unop4tlprte))/relatorio.aspx?folder=sfe&report=MunicipiosdecadaDistribuidora). Acesso em: 18 fev. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa 414, de 9 de setembro de 2010. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução Normativa 687, de 24 de novembro de 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2019.
- AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Banco de informações de geração**: Matriz de Energia Elétrica. 2019. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>. Acesso em: 2 fev. 2019.
- AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição**. 2017. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/modulo-3>. Acesso em: 2 fev. 2019.
- AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Ranking das tarifas**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>. Acesso em: 15 nov. 2017.
- AL-ATHEL, S. A. Solar energy in the Kingdom of Saudi Arabia. **International Journal of Global Energy Issues**, Arábia Saudita, v. 9, p. 53-67, 1997.
- ASHEIM, B.; VANG, J. Face-to-face, buzz, and knowledge bases: sociospatial implications for learning, innovation, and innovation policy. **Environment and Planning C: Government**

and Policy, Lunda, v. 25, p. 655 – 670, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA – ABINEE. **Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira: grupo setorial de sistemas fotovoltaicos da ABINEE**. 2012. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISAS – ABEP. **Critério Brasil**. 2019. Disponível em: <http://www.abep.org/criterio-brasil>. Acesso em: 5 ago. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA – ABSOLAR. **Energia solar fotovoltaica: panorama, oportunidade e desafios**. 2017. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/10184/15266087/painel+3+ap+7+2017.10.19+ABSOLAR+-+Energia+Solar+Fotovoltaica+-+Dr.+Rodrigo+Lopes+Sauaia.pdf/54f8b161-751b-0639-bd04-77a60cac45c3>. Acesso em: 5 ago. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 50001**: Sistemas de gestão da energia: requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16690**: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos: requisitos de projeto. Rio de Janeiro: ABNT. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16274**: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Rio de Janeiro: ABNT. 2014.

AUTOCAD. 2019. Disponível em: www.autodesk.com.br/. Acesso em: 3 out. 2019.

BANCO DO BRASIL – BB. **Negócios sustentáveis**. 2019. Disponível em: <https://www.bb.com.br/pbb/sustentabilidade/negocios-sustentaveis/#/>. Acesso em: 20 jul. 2019.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO – BNDES. **BNDES Finame - Energia Renovável**. 2019. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-energia-renovavel>. Acesso em: 20 jul. 2019.

BANCO DO NORDESTE – BNB. **Proposta de crédito**. 2019. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/proposta-de-credito>. Acesso em: 20 jul. 2019.

BLAKERS, A.; STOCKS, M.; LU, B. et al. Pathway to 100% renewable electricity, **IEEE Journal of Photovoltaics**, Camberra, v. 9, n. 6, p. 1828 - 1833, 2019.

BOCKEN, M. P. *et al.* A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. **J. Clean. Prod.**, Cambridge, v. 65, p. 42–56, 2014.

BRASIL. Decreto nº 56.874, de 23 de março de 2011. Introduz alterações no Regulamento do

Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação - RICMS, São Paulo, 2011.

BRASIL. Decreto nº 60.298, de 27 de mar. de 2014. Introduz alterações no Regulamento do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação - RICMS, São Paulo, 1998.

BRASIL. Decreto nº 61.439, de 19 de ago. de 2015. Introduz alterações no Regulamento do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação - RICMS, São Paulo, 1998.

BRASIL. Decreto nº 63.095, de 22 de dez. de 2017. Introduz alterações no Regulamento do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação - RICMS, São Paulo, 1998.

BRASIL. Decreto nº 5.793, de 29 de maio de 2006. Altera dispositivos do decreto no 3.520, de 21 de junho de 2000, que dispõe sobre a estrutura e o funcionamento do Conselho Nacional de Política Energética – CNPE, 2006.

BRASIL. Decreto nº 47.231, de 4 de agosto de 2017. Altera o regulamento do ICMS - RICMS -, aprovado pelo Decreto nº 43.080, de 13 de dezembro de 2002. Minas Gerais, 2017.

BRASIL. Medida Provisória Nº 688, de 8 de dezembro de 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13203.htm. Acesso em: 4 out. 2019.

BUCCIARI, Gilberto Paschoal. **Modelagem para identificação de indicadores de eficiência energética para edificações e plantas industriais**. 2014. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica - Transmissão e Conversão de Energia) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

CANALENERGIA. Políticos tentam influenciar debate sobre fim de subsídios a micro e mini GD: política Legislativo. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53116677/politicos-tentam-influenciar-debate-sobre-fim-de-subsidios-a-micro-e-mini-gd>. Acesso em: 2 fev. 2020.

CASTRO-DIAZ, L; LOPEZ, M. C; MORAN, E. Gender-differentiated impacts of the Belo Monte hydroelectric dam on downstream fishers in the brazilian amazon. **Human Ecology**, East Lansing, v. 46, p. 411-422, 2018.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA (CRESESB). Potencial solar - SunData v 3.0, 2020. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em: 20 fev. 2020.

CHERP, A. *et al.* Comparing electricity transitions: a historical analysis of nuclear, wind and solar power in Germany and Japan. **Energy Policy**, Budapest, v. 101, p. 612–628, 2017.

CHINA ELECTRICITY COUNCIL. **Basic data of electric power industry in 2011** (in Chinese)". Disponível em: <http://www.cec.org.cn/guihuayutongji/tongjixinxi/niandushuju/2013-04-19/100589.html>. Acesso em: 6 dez. 2018.

CHINA ELECTRICITY COUNCIL. **Basic data of electric power industry in 2017** (in Chinese). Disponível em: <http://www.cec.org.cn/guihuayutongji/tongjixinxi/niandushuju/2018-02-05/177726.html>. Acesso em: 6 dez. 2018.

CHINA NATIONAL RENEWABLE ENERGY CENTRE E ENERGY RESEARCH INSTITUTE OF ACADEMY OF MACROECONOMIC RESEARCH/NDRC. **China renewable energy outlook 2017**. 2017. Disponível em: <http://boostre.cnrec.org.cn/wp-content/uploads/2017/10/CREO-2017-EN-20171113-1.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2018.

CHO, D.; VALENZUELA, J. Scheduling energy consumption for residential stand-alone photovoltaic systems, **Solar Energy**, Alabama, v. 187, p. 393 - 403, 2019.

COMITÊ INTERMINISTERIAL SOBRE MUDANÇA DO CLIMA — CIM, Governo Federal. **Plano Nacional Sobre Mudança do Clima, PNMC**. Brasília: 2008. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/smcq_climaticas/_arquivos/plano_nacional_mudanca_clima.pdf. Acesso em: 6 dez. 2018.

CUSTÓDIO, Isadora Pauli. **Analysis of technical and economic feasibility of a mini solar photovoltaic generator integrated on university campus building envelopes**. Florianópolis, 2019. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2019.

COUNTRY ECONOMY. Compare a economia dos países: Brasil vs Índia. 2020. Disponível em: <https://pt.countryeconomy.com/paises/comparar/brasil/india>. Acesso em: 13 mar. 2020.

DAVID, T. M.; SABBADINI, F. S. Políticas públicas e eficiência energética em energia solar: uma análise comparativa entre Brasil e Alemanha. *In*: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 14., 2017, Resende. **Anais do simpósio de excelência em gestão e tecnologia**. Resende: Associação Educacional Dom Bosco – AEDB, 2017.

DAVIDSON, J. H.; WALKER, H. A. Design optimization of a two-phase solar water heater using R-123. **Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME**, Fort Collins, v. 114, p. 53-61, 1992.

DU, Y. *et al.* Evaluation of photovoltaic panel temperature in realistic scenarios. **Energy Conversion and Management**, Xangai, v. 108, p. 60-67, 2016.

EDP BANDEIRANTE. Sua conta SP. 2019 Disponível em: <https://www.edp.com.br/distribuicao-sp/saiba-mais/sua-conta-sp>. Acesso em: 1 out. 2019.

EDP BANDEIRANTE. Bandeira tarifária. 2019 Disponível em: <https://www.edp.com.br/distribuicao-es/saiba-mais/informativos/bandeira-tarifaria>. Acesso em: 6 out. 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco energético nacional: ano base 2017. 2018.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>. Acesso em: 6 out. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Consumo mensal de energia elétrica por classe (regiões e subsistemas) - 2004-2017.** 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Consumo-mensal-de-energia-eletrica-por-classe-regioes-e-subsistemas>. Acesso em: 6 ago. 2018.

ESPINOZA, R. *et al.* Feasibility evaluation of residential photovoltaic self-consumption projects in Peru. **Renewable Energy**, Lima, v. 136, p. 414-427, 2019.

FEARNSIDE, P. M. M. Belo Monte: atores e argumentos na luta sobre a barragem amazônica mais controversa do Brasil. **Revista Nera**, Manaus, v. 42, 2018.

FRAUNHOFER INSTITUTE FOR SOLAR ENERGY SYSTEMS ISE. **Power generation in Germany: assessment of 2017.** 2018. Disponível em: <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/en/documents/publications/studies/power-generation-from-renewable-energies-2016.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2018.

FREY, E. F.; MOJTAHEDI, S. The impact of solar subsidies on California's non-residential sector. **Energy Policy**, Long Beach, v. 122, p. 27-35, 2018.

FTHENAKIS, V.; MASON, J. E.; ZWEIBEL, K. The technical, geographical, and economic feasibility for solar energy to supply the energy needs of the US. **Energy Policy**, Colúmbia, v. 37, p. 387-399, 2009.

FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR. **Towards a circular economy: business rationale for an accelerated transition.** Novembro, 2015. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/TCE_Ellen-MacArthur-Foundation-9-Dec-2015.pdf. Acesso em: 8 nov. 2017.

GAUTHIER, C. *et al.* Hydroelectric infrastructure and potential groundwater contamination in the brazilian amazon: altamira and the Belo Monte dam. **The Professional Geographer**, East Lansing, v. 71, 2019

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6.ed. São Paulo: Atlas S.A, 2008.

HANG, Q.; JUN, Z.; XIAO, Y.; JUNKUI, C. Prospect of concentrating solar power in China: the sustainable future. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Tianjin, v. 12, p. 2505–2514, 2008.

HANSEN, K. Decision-making based on energy costs: comparing levelized cost of energy and energy system costs. **Energy Strategy Reviews**, Copenhagen, v. 24, p. 68-82, 2019.

HELIOSCOPE. Disponível em: <https://www.helioscope.com/>. Acesso em: 1 ago. 2019.

HUANG, L. *et al.* The changing risk perception towards nuclear power in China after the Fukushima nuclear accident in Japan. **Energy Policy**, Nanquim, v. 120, p. 294–301, 2018.

HURST, C. Establishing new markets for mature energy equipment in developing countries: experience with windmills, hydro-powered mills and solar water heaters. **World Development**, Luxemburgo, v. 18, p. 605-615, 1990.

INSTITUTE FOR SUSTAINABLE ENERGY POLICIES. **The share of renewable energy in total power generation in Japan in 2017**. Disponível em: <https://www.isep.or.jp/en/library/3362>. Acesso em: 6 dez. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **National survey report of photovoltaic applications in Japan 2017**: photovoltaic power systems programme. 2017. Disponível em: <https://common.isainfopedia.org/national-survey-reports-pv-power-applications-japan-2017>. Acesso em: 5 mar. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **National survey report of photovoltaic applications in United States of America 2017**: photovoltaic power systems programme. 2017. Disponível em: <http://docplayer.net/154192047-National-survey-report-of-photovoltaic-applications-in-united-states-of-america-2017.html>. Acesso em: 17 set. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Photovoltaic power systems technology colloboration programme: PVPS annual report 2017**. 2017. Disponível em: <https://iea-pvps.org/>. Acesso em: 9 jun. 2018.

JAIN, P. K.; NIJEGORODOV, N.; KARTHA, C. G. Role of solar energy in development in Botswana. **Renewable Energy**, Gaborone, v. 4, p. 179-188, 1994.

KABIR, E. *et al.* Solar energy: potential and future prospects. **Renew. Sustain. Energy Rev**, Mymensingh, n. 82, 894–900, 2018.

KAMAT, P. V. Meeting the clean energy demand: nanostructure architectures for solar energy conversion. **Journal of Physical Chemistry**, South Bend, v. 111, p. 2834-2860, 2007.

KOTHARI, C. **Research methodology: methods and techniques**. 2013.

LENA, N.; HEISKANEN, E.; STRUPEIT, L. The deployment of new energy technologies and the need for local learning. **Energy Policy**, Lunda, v. 101, p. 274–283, 2017.

LIANG, C. Overview of China's solar PV policies. **Digitimes Research**, Taipé, 2010.

LUNA, M. A. R. *et al.* Solar photovoltaic distributed generation in Brazil: the case of resolution 482/2012. **Energy Procedia**, Salvador, v. 159, p. 484-490, 2019.

MELEDDU, M.; PULINA, M. Public spending on renewable energy in italian regions. **Renewable Energy**, Sássari, v. 115, p. 1086-1098, 2017.

MIGUEL, P. A. C. *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

MINHA CASA SOLAR. 2019. Disponível em: <https://www.minhacasasolar.com.br/>. Acesso em: 13 maio 2019.

MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY AGENCY FOR NATURAL RESOURCES AND ENERGY. **Japan's energy: 20 questions to understand the current energy situation**. 2016 ed. 2016. Disponível em:

https://www.enecho.meti.go.jp/en/category/brochures/pdf/japan_energy_2017.pdf. Acesso em: 2 maio 2018.

MISRA, R. S. Performance evaluation of some pressurized and non-pressurized thermosyphonic solar water heating systems. **Energy Conversion and Management**, Hisar, v. 33, p. 173-191, 1994.

MORAIS, Luciano Cardoso. **Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e tendências futuras**. 2015. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2015.

MORIGGI, Bruno. **Evolução institucional e inovações recentes do setor de energia elétrica brasileiro: dilemas da regulação**. 2017. 100 f. Dissertação. (Mestrado em Economia) Faculdade de Ciências e Letras do Campus de Araraquara, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2017.

MOTA SILVA, Francisco David. **Projeto de uma miniusina solar fotovoltaica para o Centro de Intendência da Marinha em Natal (CEIMNA)**. 2018. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Centro de tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

NASCIMENTO, Álvaro Della Justina. **Geração fotovoltaica distribuída como elemento subsidiário para sistemas de armazenamento de energia em ambiente de tarifas diferenciadas**. 2019. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

OKIOGA, I. T.; SIRELI, J. W. Y.; HENDREN, H. Renewable energy policy formulation for electricity generation in the United States. **Energy Strategy Reviews**, Charlotte, v. 22, p. 365–384, 2018.

QUEIROZ, R. *et al.* Geração de energia elétrica através da energia hidráulica e seus impactos ambientais. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**, Santa Maria, v. 13, p. 2774 – 2784, 2013.

PEGELS, A.; LÜTKENHORST, W. Germany's energy transition a case of successful green industrial policy? contrasting wind and solar PV. **Energy Policy**, Bonn, v. 74, p. 522–534, 2014.

PEIPPO, K.; KAURANEN, P.; LUND, P. D. A multicomponent PCM wall optimized for passive solar heating. **Energy and Buildings**, Espoo, v. 17, p. 259-270, 1991.

PEREIRA, E. B. *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: 2006. Disponível em: http://labren.cst.inpe.br/atlas_2006.html. Acesso em: 7 nov 2018.

PEREIRA, E. *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed: 2017. Disponível em: http://labren.ccst.inpe.br/atlas_2017.html. Acesso em: 7 nov 2018.

PEREIRA, Naron Xavier. **Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no brasil: geração distribuída vs geração centralizada**. 2019. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia) Instituto de Ciências e Tecnologia Campus Sorocaba, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2019.

PESCIA, D.; GRAICHEN, P. **Understanding the Energiewende**: agora energiewende. 2015. Disponível em: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2015/Understanding_the_EW/Agora_Understanding_the_Energiewende.pdf. Acesso em: 2 nov 2017.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

PROVENZANO, P.; IDDAS, G. Legal And risk management issues in contracting renewable energy sources. **Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction**, West Lafayette, v. 12, n. 1, 2020.

RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY – REN21. **Renewables 2018 global status report**. 2018. Disponível em: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>. Acesso em: 1 fev 2018.

RESOLUÇÃO SMA nº 74, de 4 de agosto de 2017. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica por fonte solar fotovoltaica. São Paulo, 2017.

RODRIGUES, S. *et al.* Economic feasibility analysis of small scale PV systems in different countries. **Solar Energy**, Funchal, v. 131, p. 81-95, 2016.

SAATY, T. L. Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes. **European Journal of Operational Research**, Pittsburgh, v. 168 n. 2, p. 557-570, 2006.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, Pittsburgh, v. 1, n. 1, p. 83-97, 2008.

SANSANIWAL, S. K.; SHARMA, V.; MATHUR, J. Energy and exergy analyses of various typical solar energy applications: a comprehensive review. **Renew Sust Energy Rev**, Jaipur, n. 82, 1576–1601, 2018.

SCOPUS. Base de dados Elsevier. Disponível em: <https://www.scopus.com/home.uri>. Acesso em: 4 de out. 2019.

SECRETARIA DE ENERGIA E MINERAÇÃO. **Incentivo ao setor**. Disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/energias-renovaveis/solar/incentivo-ao-setor/>. Acesso em: 21 fev. 2019.

SEETHARAMAN, K. *et al.* Breaking barriers in deployment of renewable energy, **Heliyon**, Dubai, v. 5, n. 1, p. 1 – 23, 2019.

SHIMIZU, T. **Decisão nas organizações**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2006.

SILVA, R. M. **Energia Solar: dos incentivos aos desafios**. Texto para discussão nº 166. Brasília. Senado Federal: 2015. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td166> . Acesso em: 1 fev 2018.

SINDHU, S. P.; NEHRA, V.; LUTHRA, S. Recognition and prioritization of challenges in growth of solar energy using analytical hierarchy process: indian outlook. **Energy**, Khanpur, v. 100, p. 332-348, 2016.

SMITH, K. *et al.* Measuring innovation in the Oxford Handbook of Innovation. **Oxford University Press**, Oxford, p. 148 – 179, 2005.

SOLARGIS. **Mapas solares para o Brasil. 2013**. Disponível em: <http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/brazil>. Acesso em: 3 dez. 2018.

SUGANTHI, L.; INIYAN, S.; SAMUEL, A. Applications of fuzzy logic in renewable energy systems: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Chennai, p. 585-607, 2015.

SULTAN, M. *et al.* Cost and energy analysis of a grid-tie solar system synchronized with utility and fossil fuel generation with major issues for the attenuation of solar power in Pakistan. **Solar Energy**, Lahore, v. 174, p. 967–975, 2018.

SURVEY MONKEY. Disponível em: <https://pt.surveymonkey.com/>. Acesso em: 2 set. 2019.

TANAKA, K. *et al.* Decision-making governance for purchases of solar photovoltaic systems in Japan. **Energy Policy**, Tóquio, v. 111, p. 75–84, 2017.

TIBA, C.; FRAIDENRAICH, N., LYRA, F.J. Solar energy resource assessment- Brazil, **Renewable Energy**, Recife, v. 27, n. 3, p. 383-400, 2002.

TIEPOLO, Gerson Máximo. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná**. 2015. 229 f. Tese (doutorado), Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PPGEPS, Curitiba. 2015.

TOLMASQUIM, M. As origens da crise energética brasileira. **Ambiente e Sociedade**, Campinas, 2000.

TRENNEPOHL, N. **Modelos de negócios para a energia fotovoltaica na Europa**. Seminário energia+limpa. Florianópolis: 2014.

U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. 2018. **International energy statistics**, Disponível em: <https://www.eia.gov/beta/international/>. Acesso em: 5 dez. 2018.

VAN DE WATER, A. F. J.; LYSEN, E. H.; BOSSELAAR, L. Solar energy in the Netherlands

recent progress. **Renewable Energy**, Utrecht, v. 5, p. 1371-1378, 1994.

VEGA, A. *et al.* Active demand-side management strategies focused on the residential sector, **The Electricity Journal**, Bogotá, v. 33, n. 3, 2020.

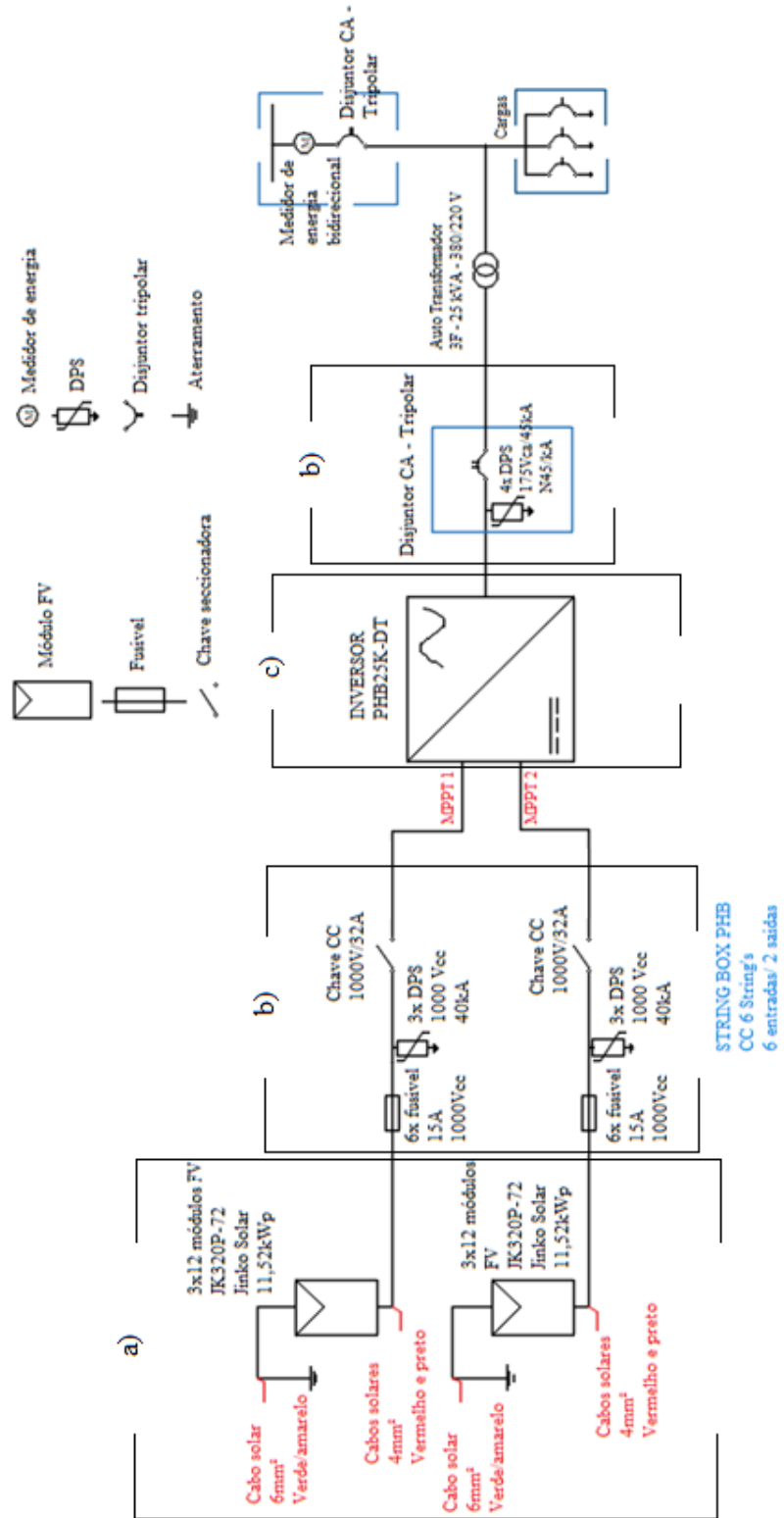
VILLAR, C. H.; NEVES, D.; SILVA, C. A. Solar PV self-consumption: an analysis of influencing indicators in the Portuguese context. **Energy Strategy Reviews**, Lisboa, v. 18, p. 224-234, 2017.

YADAV, S. K.; BAJPAI, U. Energy, economic and environmental performance of a solar rooftop photovoltaic system in India. **International Journal of Sustainable Energy**, Lucknow, p. 1 – 16, 2019.

ZENG, Y.; CHEN, W. The determination of concession period for build-operate-transfer solar photovoltaic power project under policy incentives: a case study of China. **Energies**, Tianjin, v. 12, 2019.

APÊNDICE A

DIAGRAMA UNIFILAR - Bidirecional



APÊNDICE B

PRIMEIRA PESQUISA – Questionário aplicado por meio da Ferramenta *Survey Monkey*.

Questionário sobre Sistemas Fotovoltaicos - Aplicado para os Especialistas

Questionário aberto

Este questionário enquadra-se numa pesquisa no âmbito de uma dissertação de Mestrado em engenharia de produção, realizada na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", com o tempo médio de resposta de apenas 5 MINUTOS. Os resultados obtidos serão utilizados apenas para fins académicos, sendo realçado que as respostas dos inquiridos representam apenas a sua opinião individual. Solicitamos que responda de forma espontânea e sincera a questão.

Partindo da implementação de um sistema fotovoltaico para consumidores da classe C, para você quais são os fatores e os aspectos importantes a serem observados para a decisão de implementar ou não um sistema fotovoltaico (FV) em uma residência?

O objetivo do questionário é identificar aspectos dos mais vários tipos como mercadológico, legislativo, ambiental, social e económico.

(Esta não é uma lista de prioridades, por favor não listar os mais importantes, mas sim todos que julgar pertinentes à questão).

1.	
2.	
3.	
4.	
5.	
6.	
7.	
8.	
9.	
10.	

APÊNDICE C

SEGUNDA PESQUISA - Questionário aplicado por meio da Ferramenta *Survey Monkey*.

Questionário sobre Sistemas Fotovoltaicos - Aplicado para os Especialistas

Este questionário enquadra-se numa pesquisa no âmbito de uma dissertação de Mestrado em engenharia de produção, realizada na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", com o tempo médio de resposta de apenas 10 MINUTOS. Os resultados obtidos serão utilizados apenas para fins académicos, sendo realçado que as respostas dos inquiridos representam apenas a sua opinião individual. Não existem respostas certas ou erradas. Por isso lhe solicitamos que responda de forma espontânea e sincera a todas as questões.

O objetivo deste questionário é avaliar, por meio da emissão de julgamentos de valor, qual é o grau de importância de um aspecto sobre o outro. Partindo-se dos aspectos a serem observados para a decisão de implementar ou não um sistema fotovoltaico para consumidores da classe C em uma residência.

Para a avaliação, você precisará decidir qual aspecto tem a importância maior sobre o outro e em seguida marcar o número para descrever o grau de importância. O número 1 indica que os dois aspectos são igualmente importantes para a avaliação e o número 9 indica que um é absolutamente importante do que o outro, quanto maior o número, maior o grau de importância relativa.

Obrigada pela sua colaboração.

* 1. O que é mais importante ? (marque a opção que indica sendo a mais importante atribuindo sua importância)

	1 - Importância igual	3	5	7	9 - Importância absoluta
Desconhecimento sobre o tema	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aspecto cultural	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

* 2. O que é mais importante ? (marque a opção que indica sendo a mais importante atribuindo sua importância)

	1 - Importância igual	3	5	7	9 - Importância absoluta
Desconhecimento sobre o tema	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Falta de prioridade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

* 3. O que é mais importante ? (marque a opção que indica sendo a mais importante atribuindo sua importância)

	1 - Importância igual	3	5	7	9 - Importância absoluta
Falta de prioridade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Aspecto cultural	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

* 4. O que é mais importante ? (marque a opção que indica sendo a mais importante atribuindo sua importância)

	1 - Importância igual	3	5	7	9 - Importância absoluta
Uniformização de normas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Falta de influenciadores	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

* 5. O que é mais importante ? (marque a opção que indica sendo a mais importante atribuindo sua importância)

	1 - Importância igual	3	5	7	9 - Importância absoluta
Uniformização de normas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Custos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

* 6. O que é mais importante ? (marque a opção que indica sendo a mais importante atribuindo sua importância)

	1 - Importância igual	3	5	7	9 - Importância absoluta
Falta de influenciadores	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Custos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

APÊNDICE D

CONTRIBUIÇÕES

Artigos publicados em periódicos

DAVID, T. M.; SOUZA, T. M.; RIZOL, P. M. S. R.; MACHADO, M. A. G.; GUIMARÃES, L. S. Medidas para reduzir o consumo de energia no setor residencial: uma revisão. **Sodebrás**, Guaratinguetá, v. 14, p. 88-96, 2019.

DAVID, T. M.; RIZOL, P. M. S. R.; MACHADO, M. A. G.; BUCCIERI, G. P. Future research tendencies of solar pv energy management, 2000 - 2019. **Heliyon**, Guaratinguetá, v. 6, n. 7, 2020.

Trabalhos publicados em Anais de Congressos

DAVID, T. M.; RIZOL, P. M. S. R.; MACHADO, M. A. G.; BUCCIERI, G. P. Sizing matrix and opportunity for grid-connected photovoltaic system. *In*: LATIN AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION, 13., 2019, Santiago. **Anais [...]**. Santiago: Pontificia Universidade Católica de Valparaíso, 2019.

DAVID, T. M.; RIZOL, P. M. S. R.; MACHADO, M. A. G.; BUCCIERI, G. P. Estudo comparativo do custo nivelado de sistemas fotovoltaicos e do custo de energia tarifário convencional. *In*: WORKSHOP DE ENGENHARIA MECÂNICA E DE PRODUÇÃO UNESP, 3., 2019, Guaratinguetá. **Anais [...]**. Guaratinguetá: Universidade Estadual Paulista, 2019.