

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIDADES INTELIGENTES E SUSTENTÁVEIS

FABIO NOMACHI RODRIGUES

**MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA NA
CIDADE DE SÃO PAULO: OPORTUNIDADES E DESAFIOS**

São Paulo

2018

FABIO NOMACHI RODRIGUES

**MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA NA
CIDADE DE SÃO PAULO: OPORTUNIDADES E DESAFIOS**

**MICROGENERATION AND MINIGENERATION OF SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY IN
THE CITY OF SÃO PAULO: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Cidades Inteligentes e Sustentáveis da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre** em Cidades Inteligentes e Sustentáveis.

ORIENTADOR: Profa. Dra. Claudia Terezinha Kniess

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Luciano Caruggi de Faria

São Paulo

2018

Rodrigues, Fabio Nomachi.

Microgeração e minigeração de energia fotovoltaica distribuída na cidade de São Paulo: oportunidades e desafios. / Fabio Nomachi Rodrigues. 2019. 75 f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2019.

Orientador (a): Dr^a. Prof^a. Claudia Terezinha Kniess.

1. Energia solar fotovoltaica. 2. Geração distribuída. 3. ANEEL 482/2012. 4. ANEEL 687/2015.

I. Kniess, Claudia Terezinha.

II. Título.

CDU 711.4

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelos dons e por todas as pessoas especiais que participaram desta jornada.

Agradeço de maneira especial à minha orientadora Prof. Dra. Cláudia Terezinha Kniess, por ter me orientado e auxiliado em todos os momentos durante a execução deste trabalho.

Agradeço ao meu Co-orientador Professor Dr. Luciano Caruggi de Faria assim como aos professores e colegas do Programa de Mestrado em Cidades Inteligentes e Sustentáveis da UNINOVE, que compartilharam seu tempo e conhecimento para meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

À minha esposa Maria Fernanda, grande incentivadora e apoiadora desta nova fase da minha vida, que juntamente com meus filhos, Melissa e Rafael, compartilharam com muita paciência e amor todos os momentos para a realização deste trabalho.

Agradeço à minha Mãe por ter valorizado, incentivado e também se dedicado com muito amor ao meu desenvolvimento pessoal e intelectual. Ao meu Pai, que é meu grande professor da escola da vida e até hoje tenho o privilégio de aprender com ele.

Aos queridos Suely e Armando, pelo apoio e ajuda na conclusão deste trabalho.

À minha irmã, primeira companheira de jornada e que hoje comemora comigo mais uma etapa vencida.

Aos amigos Pedro Vitoriano e Gustavo Paduan, que além de sua amizade, auxiliaram na obtenção dos resultados deste trabalho.

À Uninove por acreditar e investir na minha capacitação.

À CAPES, por seu apoio financeiro durante a realização do Mestrado.

RESUMO

A energia solar fotovoltaica é a energia elétrica obtida por meio da conversão direta da radiação solar. Para converter a energia solar em energia elétrica, é necessário um sistema fotovoltaico, composto basicamente por placas fotovoltaicas, inversor e baterias. Esse tipo de energia, tem se popularizado nos últimos anos e aparece como uma alternativa à produção de eletricidade a partir de uma fonte renovável, ilimitada e distribuída por todo o planeta sem custos e resíduos. As recentes atualizações da legislação brasileira, por meio da resolução normativa ANEEL nº 482/2012 e posterior modernização com a resolução normativa ANEEL 687/2015, permitem ao cidadão comum gerar sua própria energia elétrica e direcionar o excedente da produção à rede elétrica. Esse excedente de energia elétrica produzida a partir de uma fonte renovável é convertido em créditos que podem ser utilizados em momentos que o consumo de energia elétrica é superior à produção. No caso da energia solar fotovoltaica, essa situação ocorre no período noturno e em dias nublados devido à baixa incidência de radiação solar. Em termos percentuais, a energia solar fotovoltaica é a fonte primária de energia que mais cresce no Brasil. Contudo, a conversão da radiação solar em energia elétrica ainda é responsável por uma pequena parcela em termos absolutos na composição da matriz elétrica brasileira. Dentro desse contexto, o objetivo deste estudo é analisar como se caracterizam a microgeração e minigeração distribuída de energia fotovoltaica na cidade de São Paulo. Este trabalho de natureza exploratória e abordagem metodológica qualitativa utilizou o estudo de caso como estratégia de pesquisa, abordando o fenômeno dentro do seu contexto real. Os principais envolvidos na geração fotovoltaica distribuída são os usuários, a distribuidora de energia e o integrador. Para os consumidores entrevistados, os benefícios ambientais proporcionados pela instalação de um sistema fotovoltaico associado a um *payback* de médio prazo são os fatores mais importantes para a tomada de decisão na aquisição deste sistema. Em relação à distribuidora, foi observado que a mesma possui uma postura passiva para expansão da energia fotovoltaica na cidade de São Paulo. O integrador está envolvido diretamente com o consumidor e a distribuidora, sendo responsável por toda intermediação comercial, técnica e burocrática. Segundo relatos dos consumidores e da distribuidora de energia, os integradores vêm realizando um trabalho satisfatório. A cidade de São Paulo possui um elevado potencial de geração de energia fotovoltaica em função das características favoráveis da radiação solar na região, a qual é densamente urbanizada, e desta maneira, possui elevada quantidade de telhados disponíveis para a instalação dos sistemas fotovoltaicos sem competir por espaço com outros aparelhos urbanos. Além disso, abriga uma das maiores distribuidoras de energia elétrica do país, e assim, devido ao seu elevado número de consumidores, tem potencial de ser uma das grandes distribuidoras de energia fotovoltaica distribuída. Contudo, a escassez de políticas públicas e linhas de crédito com taxas de juros acessíveis, representam os principais desafios para a expansão da energia fotovoltaica distribuída na cidade de São Paulo.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, Geração Distribuída, ANEEL 482/2012, ANEEL 687/2015

ABSTRACT

The aim of this research was to analyse the potential and requirements for distributed microgeneration and mini-generation of photovoltaic energy in the city of São Paulo. Photovoltaic energy is the electric energy generated by direct conversion of solar radiation. To convert solar energy into electrical energy, a photovoltaic system composed of photovoltaic panels, inverter and batteries is required. Photovoltaic panels have become popular in recent years and consist of an alternative to energy generation from a renewable and unlimited source, available throughout the planet with affordable cost for both implementation and maintenance and no waste. The recent updates of Brazilian legislation, through the ANEEL normative resolution n° 482/2012 and later update with the ANEEL normative resolution 687/2015, allow ordinary citizens to generate electric energy for their own consumption and direct the surplus of production to the electric grid. This surplus of electrical energy produced from a renewable source is converted into credits that can be used when electricity consumption is higher than production. In the case of photovoltaic solar energy, this occurs at night and on periods of overcast sky during day time. Solar photovoltaic energy is the primary source of energy with more potential to grow in Brazil, as shown in the Brazilian Energetic Balance. However, the conversion of solar radiation in electric energy represents in absolute terms a small fraction of the Brazilian energy matrix. In this context, the aim of this study was to analyse the characteristics and the potential for distributed microgeneration and mini-generation of photovoltaic energy in the city of São Paulo. This exploratory work with a qualitative methodological approach uses the case study as a research strategy, investigating the phenomenon within its real context. The main players involved in distributed photovoltaic generation are the users, the energy distributor and the integrator. For the consumers interviewed, the environmental benefits provided by the installation of a photovoltaic system associated with a medium-term payback are the most important factors for decision-making in the acquisition of this system. Regarding the distributor, it was observed that it has a passive posture for the expansion of photovoltaic energy in the city of São Paulo. The integrator is directly involved with the consumer and the distributor, being responsible for all commercial, technical and bureaucratic intermediation. According to reports from consumers and the energy distributor, the integrators have been doing a satisfactory work. The city of São Paulo has a high potential for photovoltaic energy generation due to the favorable characteristics of solar radiation in the region, which is densely urbanized, and thus has a high number of roofs available for the installation of photovoltaic systems without competing for space with other urban appliances. In addition, one of the country's largest electricity distributors is located in the city of São Paulo. However, the scarcity of public policies and lines of credit with affordable interest rates represent the main challenges for the expansion of distributed photovoltaic energy in the city of São Paulo.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy, Distributed Generation, Net Metering, ANEEL 482/2012, ANEEL 687/2015

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Total de energia primária por fonte.	18
Figura 2 -	Total do consumo energético por setor.	19
Figura 3 -	Fluxo energético BEN 2018.	20
Figura 4 -	Participação das energias renováveis na matriz elétrica da OECD em 2016.	21
Figura 5 -	Matriz elétrica brasileira.	22
Figura 6 -	Geração fotovoltaica distribuída.	24
Figura 7 -	<i>Payback</i> descontado.	27
Figura 8 -	Sistema PV-BESS (<i>battery energy storage systems from photovoltaic generation</i>).	32
Figura 9 -	Fluxograma da pesquisa.	35
Figura 10	Principais envolvidos na geração fotovoltaica distribuída e a relação entre eles	40
Figura 11 -	Matriz de amarração para desenvolvimento do protocolo de pesquisa para os consumidores de energia fotovoltaica.	41
Figura 12 -	Matriz de amarração para desenvolvimento do protocolo de pesquisa para o integrador de energia fotovoltaica.	41
Figura 13 -	Matriz de amarração para desenvolvimento do protocolo de pesquisa para distribuidora de energia elétrica.	43
Figura 14 -	Triangulação de dados provenientes de múltiplas evidências.	44
Figura 15 -	Média anual da incidência de radiação solar no estado de São Paulo.	52
Figura 16 -	Média da radiação solar anual na região metropolitana de São Paulo.	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Perfil dos entrevistados da pesquisa.	39
Tabela 2 -	Ranking das 10 cidades do estado de São Paulo em número de instalações fotovoltaicas interligadas a rede.	51
Tabela 3 -	Evolução dos sistemas fotovoltaicos interligados à rede.	52

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Problema de pesquisa	12
1.2	Objetivos	13
1.2.1	Objetivos específicos	13
1.3	Justificativa	14
1.4	Estrutura do trabalho	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Energia ao longo da história	16
2.2	Matriz energética	17
2.3	Matriz elétrica	20
2.4	Energia solar	23
2.5	Energia Solar como Projeto de Investimento no Brasil	25
2.6	Legislações e Políticas Públicas para Energia Solar no Brasil	28
2.7	Legislações e Políticas Públicas para Energia Solar no Mundo	31
3	METODOLOGIA DE PESQUISA	34
3.1	Estratégia de pesquisa estudo de caso	34
3.2	Delineamento da Pesquisa	35
3.3	Caso em Estudo	36
3.4	Coleta de Dados	36
3.4.1	Sujeitos da Pesquisa	37
3.4.2	Instrumento de Coleta de Dados	40
3.5	Análise dos Dados	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1	A Cadeia de Energia Fotovoltaica	45
4.1.1	Papel dos Integradores na Comercialização dos Sistemas Fotovoltaicos	46
4.1.2	Papel da Distribuidora de Energia Elétrica na Geração Distribuída de Energia Fotovoltaica	47
4.1.3	Papel do Consumidor na Geração e Distribuição de Energia Fotovoltaica	48
4.2	Cenário da Energia Fotovoltaica no Mundo	49
4.3	Cenário da Energia Fotovoltaica na Cidade de São Paulo	51
4.4	Entrevistas com os Integradores de Energia Fotovoltaica	54
4.5	Entrevista com a Distribuidora de Energia Elétrica	58
4.6	Entrevistas com os Usuários de Energia Fotovoltaica	60
4.7	Considerações Gerais sobre as Entrevistas Realizadas	68
5	CONCLUSÕES	69
6	REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico e tecnológico, a humanidade tem consumido cada vez mais energia (ONU, 2016). Contudo, existe uma preocupação crescente com o meio ambiente e a utilização das tradicionais fontes de energia provenientes de combustíveis fósseis precisam ser substituídas, uma vez que as mesmas vêm causando diversos problemas ambientais relacionados às mudanças climáticas, aquecimento global, poluição atmosférica e chuva ácida (Tyagiet. *al.*, 2013).

A energia solar fotovoltaica aparece como alternativa de geração de eletricidade limpa, convertendo a radiação solar em energia elétrica. O potencial da fonte é considerado inesgotável do ponto de vista da longevidade humana e é possível considerar a energia fotovoltaica como uma das mais promissoras na geração de eletricidade isenta de carbono no mundo (Schiermeieret. *al.*, 2008).

Para converter a energia solar em energia elétrica é necessário um sistema fotovoltaico, composto basicamente de quatro elementos: placa fotovoltaica, inversor, baterias e controlador de carga, quando necessário. O sistema trabalha de maneira estática, não emite som e funciona sem queimar combustível (Sampaio & González, 2017).

Esse sistema costuma ser interligado à rede elétrica que recebe o excedente da energia produzida. Esta modalidade é conhecida internacionalmente como *net metering*, *distributed generation* ou sistema *on Grid*. No Brasil este sistema é denominado de geração distribuída. Por outro lado, os sistemas fotovoltaicos que funcionam de maneira isolada da rede, normalmente por estarem situados em regiões não atendidas por energia elétrica, possuem um banco de baterias para suprir a necessidade energética noturna (Sampaio & González, 2017).

Os painéis comercializados atualmente são compostos por células conectadas umas às outras em séries por filamentos condutores, encapsulados entre películas de acetato de vinil etileno (EVA), com cobertura de vidro temperado e com uma proteção na parte posterior de filme de fluoreto de polivinila (PVF). Posteriormente, esse conjunto é montado em um perfil de alumínio (Machado & Miranda, 2015).

Segundo o último Balanço Energético Nacional divulgado (BEN 2018), a participação de energias renováveis na Matriz Energética Brasileira é uma das mais elevadas do mundo (42,9%), comparada à média mundial que é de 13,7%. Entre as fontes de energias renováveis, a que possui maior participação é a de biomassa de cana com 17%. A matriz hidráulica ocupa a segunda posição com 12,0% seguida pela lenha e carvão vegetal com 8,0%. Alívia em conjunto com outras fontes renováveis como a eólica e a fotovoltaica representa 5,9% da matriz energética (MME, 2018).

Ao analisar apenas a matriz elétrica brasileira, observa-se que a participação de energias renováveis é também uma das mais elevadas no mundo. Em 2017 a participação foi de 80,4%, enquanto a média mundial é em torno de 22,8% (MME, 2018).

A fonte hidroelétrica é a que possui maior participação na matriz elétrica brasileira com aproximadamente 65,2%. O gás natural ocupa a segunda posição com 10,5%, a biomassa participa com 8,2%, eólica 6,8% e derivados de petróleo 3,0% (BEN 2018).

Apesar da pequena participação da energia solar no total da matriz elétrica renovável, apenas 0,1%, o MME destaca a importância e prevê um crescimento contínuo dessa matriz energética no relatório de projeção de demanda de energia elétrica 2014 – 2024 (BEM 2018).

Desde abril de 2012, quando entrou em vigor a resolução normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e fornecer o excedente para a rede de distribuição de energia (ANEEL 2017).

De acordo com a resolução normativa REN 482/2012, quando a quantidade de energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico em determinado período é superior à energia consumida, o consumidor adiciona créditos à sua conta que serão descontados no momento em que a geração de eletricidade for inferior ao consumo, como em dias de muita nebulosidade ou no período noturno.

A Resolução Normativa ANEEL 482/2012 regulamenta o Sistema de Compensação de Energia Elétrica assim como a Geração Distribuída, destacando seu potencial benefício proporcionado ao sistema elétrico, como o adiamento de investimentos na expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, minimização das perdas, baixo impacto ambiental e diversificação da matriz energética.

Em 2015 a ANEEL publicou a resolução normativa nº 687/2015, modernizando e ampliando a abrangência da resolução anterior, permitindo, por exemplo, o uso de qualquer fonte renovável e de cogeração qualificada dentro dos limites estabelecidos.

O Ministério de Minas e Energia (MME) relaciona o aumento na produção da energia fotovoltaica distribuída no Brasil à resolução REN 482/2012 da ANEEL, assim como o conhecimento da tecnologia, conscientização ambiental e diminuição de custo de aquisição e instalação dos sistemas fotovoltaicos (MME 2013).

A regulamentação do sistema de Geração Distribuída foi um importante avanço, mas o país ainda necessita de mecanismos de incentivo ou subsídio para uma expansão mais expressiva desta fonte de energia. Medidas como taxas de financiamentos menores ou subsidiadas, assim como uma reavaliação da cobrança do Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) sobre a conta de energia elétrica dos geradores de energia fotovoltaica, podem contribuir com a expansão desse tipo de energia (Machado, Borba & Maciel, 2016).

De maneira geral, os sistemas fotovoltaicos são pouco atrativos do ponto de vista econômico e por isso, muitos países possuem uma política pública de subsídios para aumentar a participação desta fonte na matriz energética. Os motivos da baixa atratividade variam de uma região para outra, mas é possível citar alguns exemplos como: a pouca incidência de radiação solar, indisponibilidade de mão de obra especializada, incertezas jurídicas, ausência de crédito subsidiado para aquisição de sistemas fotovoltaicos, entre outros (Karakaya & Sriwannawit, 2015).

A *International Energy Agency (IEA)* destaca a importância da energia fotovoltaica para os países pertencentes à Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD – *Organization for Economic Co-operation and development*) uma vez que esta fonte apresentou o maior crescimento percentual entre todas as renováveis, com uma taxa média anual de crescimento de 43,3% medidos desde 1990, quando teve início o levantamento de dados dessa série histórica (IEA, 2017).

Em 2016, a energia fotovoltaica representou 8,4% de toda eletricidade produzida a partir de fontes renováveis entre os países membros da OECD. Os cinco maiores geradores deste tipo de energia foram os Estados Unidos, Japão, Alemanha, Itália e Reino Unido que, combinados, produziram 75,7% de toda energia solar fotovoltaica produzida no mundo (IEA, 2017).

Apesar do aumento no número de sistemas fotovoltaicos nos últimos anos, a produção a partir da fonte solar ainda pode ser considerada baixa em relação às tradicionais fontes de energia. Aspectos políticos, econômicos, sociais e tecnológicos aparecem como algumas das barreiras enfrentadas no cenário mundial para ampliação da energia solar fotovoltaica (Karakaya & Sriwannawit, 2015).

Entre as diversas políticas públicas adotadas para incentivar a produção de energia a partir de fontes renováveis, pode-se citar o sistema de *Feed-in tariff (FIT)* e o *Renewable Portfolio Standards (RPS)*.

A cidade de São Paulo possui diversas características favoráveis para a utilização da energia fotovoltaica distribuída, incluindo condições climáticas, número elevado de consumidores e a presença da maior distribuidora de energia elétrica do país. Entretanto, a escassez de políticas públicas que visem o incentivo e a ampliação da geração de energia fotovoltaica distribuída, faz com que a cidade de São Paulo seja a segunda cidade do estado em número de instalações fotovoltaicas.

Neste contexto, esta pesquisa busca analisar como se caracterizam a microgeração e minigeração distribuída de energia fotovoltaica na cidade de São Paulo, bem como estudar a relação entre os envolvidos na microgeração e minigeração distribuída. Espera-se também identificar os desafios e oportunidades, contribuindo com sugestões no sentido de incrementar a participação da energia solar fotovoltaica na cidade de São Paulo.

1.1 Problema de Pesquisa

O Brasil está predominantemente situado em regiões tropicais. Por este motivo, possui elevada incidência de radiação solar, um dos principais fatores necessários para viabilização dos sistemas de geração de energia fotovoltaica (Martins *et. al.*, 2005).

Além disso, a elevada intensidade de radiação solar no Brasil pode tornar o retorno sobre o investimento do sistema fotovoltaico mais rápido, uma vez que a produção da energia elétrica está relacionada com a conversão direta de radiação solar em eletricidade (Byrne *et. al.*, 2015).

Assim, como já foi observado em outras tecnologias, os custos das inovações diminuem com o passar do tempo e a confiabilidade dos usuários aumenta. Desta maneira, o mercado vem explorando essas vantagens, recentemente percebidas pelos possíveis usuários, para alavancar a comercialização dos sistemas fotovoltaicos (Karakaya & Sriwannawit, 2015).

Apesar desses fatores, a energia fotovoltaica ainda representa uma pequena parcela no total de energia elétrica produzida no Brasil, inferior inclusive a países muito menos favorecidos do ponto de vista de incidência de radiação solar, como os países pertencentes à União Europeia.

Segundo IEA, a Alemanha e o Reino Unido figuram entre os cinco maiores produtores globais de energia solar fotovoltaica no planeta. Esse fato relaciona-se com as políticas públicas de regulamentação para aumentar a produção de energia limpa, assim como aos programas de subsídio financeiro utilizados para estimular a implantação dos sistemas de microgeração e minigeração de energia elétrica distribuída (Li, 2016).

Diversos países possuem experiências bem-sucedidas do ponto de vista da participação de energia fotovoltaica na matriz elétrica. Um dos principais sistemas de incentivo à expansão da energia fotovoltaica é o *feed-in tariff* (FIT) que paga um prêmio à energia produzida a partir de uma fonte renovável e costuma estar associado a linhas de crédito subsidiados. A combinação da segurança do marco regulatório com programas de subsídio incentiva a expansão deste tipo de energia no mundo (Rella, 2017).

Neste contexto, verifica-se que a resolução normativa ANEEL 482/2012 fundamenta questões do ponto de vista regulatório no setor energético, mas não contempla programas de incentivo ou subsídio para aquisição dos sistemas voltaicos.

Segundo dados do IBGE, a cidade de São Paulo ocupa uma posição de destaque no contexto nacional e estadual. A cidade possui o maior PIB do estado, apresenta também a maior atividade industrial e de serviços, contudo ocupa apenas a segunda posição em número de instalações fotovoltaicas entre os municípios do estado de São Paulo (<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/pesquisa/38/47001?tipo=ranking>)

&indicador=47008; http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_estadual_detalhe.asp?uf=SP, recuperado em 17/11/2018).

Como descrito anteriormente, o Brasil possui elevado potencial para expansão e utilização de energia fotovoltaica distribuída como uma alternativa para diversificação da matriz energética, principalmente devido às condições naturais que favorecem sua produção, incluindo a incidência solar privilegiada. Neste contexto, uma vez que a cidade de São Paulo possui papel relevante na economia do país bem como se beneficia do clima, consumidores e estrutura de distribuição de energia, estudar as características da microgeração e minigeração distribuída de energia fotovoltaica, sua legislação e possíveis subsídios, assim como identificar os desafios, o potencial e as oportunidades envolvidas na implementação de sistemas fotovoltaicos na cidade de São Paulo se faz necessário.

Nesse sentido, este trabalho busca responder a seguinte questão de pesquisa: Como se caracterizam a microgeração e minigeração distribuída de energia fotovoltaica na cidade de São Paulo?

1.2 Objetivos

Analisar como se caracterizam a microgeração e minigeração distribuída de energia fotovoltaica na cidade de São Paulo.

1.2.1 Objetivos específicos

- a) Identificar os principais envolvidos no processo de geração e distribuição de energia fotovoltaica e a relação entre eles;
- b) Fazer um levantamento e análise da legislação que envolve a microgeração e minigeração de energia fotovoltaica distribuída no Brasil;
- c) Identificar as oportunidades e desafios na microgeração e minigeração distribuída de energia fotovoltaica na cidade de São Paulo;
- d) Realizar um levantamento das ações e programas de incentivo à utilização de energia fotovoltaica na cidade de São Paulo;
- e) Levantar experiências internacionais bem-sucedidas sob o aspecto de políticas públicas e possíveis subsídios financeiros para a adoção de microgeração e minigeração de energia fotovoltaica;
- f) Sugerir alternativas no sentido de incrementar a participação da energia fotovoltaica na matriz elétrica da cidade de São Paulo.

1.3 Justificativa

O Brasil possui condições naturais que tornam o país um grande produtor de energia renovável limpa. Contudo, a participação de novas energias renováveis, como a fotovoltaica, ainda é pequena na nossa matriz energética (MME, 2017).

Ao analisar os dados relativos à radiação solar, condição básica para geração de energia fotovoltaica, o Brasil pode ser considerado um país privilegiado por esta fonte primária de energia. Verificando as médias de radiação solar no território nacional, é possível identificar uma grande variação, contudo as piores médias nacionais que são de aproximadamente 1.500 kWh/m², são melhores que as maiores médias da Alemanha, país que possui uma das altas capacidades instaladas de energia fotovoltaica do mundo, recebendo uma incidência de radiação solar de aproximadamente 1.300 kWh/m² nas regiões mais favorecidas (Miranda, Szklo & Schaeffer, 2014).

Apesar da resolução normativa 482/2012 ter regulamentado o sistema de microgeração e minigeração de energia solar fotovoltaica distribuída, essa permissão não é acompanhada por políticas de incentivo ou subsídio financeiro. A falta de incentivos ou subsídios dificulta o acesso aos sistemas fotovoltaicos pelo cidadão comum (Zanetti Neto, Costa & Vasconcelos, 2014).

A resolução normativa 482/2012 trouxe importantes avanços para energia solar fotovoltaica que vem crescendo muito nos últimos anos, mas a ausência de políticas públicas de incentivo como as praticadas na Europa no sistema de FIT, ainda não foram contempladas pela legislação (Miranda, Szklo & Schaeffer, 2014).

De acordo com os dados publicados no BEN 2018, observa-se que o consumo de energia elétrica das residências do sudeste brasileiro, é responsável por aproximadamente 50% de todo consumo elétrico residencial, e o estado de São Paulo individualmente é responsável por aproximadamente 30% de todo consumo de energia elétrica residencial nacional (MME, 2018).

Apesar de a região sudeste possuir a maior potência instalada de energia fotovoltaica distribuída no país, ao analisar os dados da região por estado, São Paulo possui apenas a terceira maior potência instalada e ocupa a segunda posição em número de sistemas interligados à rede. Os estados de Minas Gerais e do Rio Grande Sul ocupam a primeira e a segunda posição respectivamente em potência instalada no país (http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_estadual_detalhe.asp?uf=SP).

A cidade de São Paulo é a segunda maior geradora de energia fotovoltaica no estado, com 459 sistemas fotovoltaicos. A cidade de Campinas é a que possui o maior número de sistemas fotovoltaicos, com 763 unidades (http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_estadual_detalhe.asp?uf=SP).

Recentemente, os sistemas fotovoltaicos tornaram-se mais baratos mundialmente devido à maturidade da tecnologia e à redução dos custos de produção dos equipamentos, tornando o sistema mais competitivo em relação às tradicionais fontes de energia não renovável. Contudo, é importante que os possíveis usuários de energia fotovoltaica possuam esta percepção para gerar um impacto positivo na adoção desta tecnologia (Karakaya & Sriwannawit, 2015).

Regiões como a da cidade de São Paulo, devido ao elevado número de edificações e densidade demográfica, apresenta por esta perspectiva uma interessante vantagem na adoção dos sistemas fotovoltaicos, já que utiliza de maneira geral os telhados das edificações e não competem por espaço com as pessoas ou aparelhos públicos, funcionando de maneira estática sem emissão de ruídos ou gases de efeito estufa (Miranda, Szklo & Schaeffer).

Neste contexto, pretende-se analisar como se caracterizam a microgeração e minigeração distribuída de energia fotovoltaica na cidade de São Paulo e contribuir com sugestões para o desenvolvimento de estratégias facilitadoras para microgeração e minigeração de energia fotovoltaica distribuída.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado em três capítulos. O primeiro contextualiza e define o problema de pesquisa assim como o objetivo geral e os objetivos específicos.

O segundo capítulo é o referencial teórico e contextualiza a energia na história, as diferentes fontes de energia e características da matriz energética e matriz elétrica brasileira e mundial. Apresenta também as características da energia solar fotovoltaica e em seguida, as principais características da resolução normativa ANEEL nº 482/2012 que fundamenta as diretrizes da microgeração e minigeração distribuída no Brasil, assim como sua posterior modernização com a resolução normativa ANEEL nº 687/2015.

O terceiro capítulo aborda os procedimentos metodológicos que foram utilizados para delinear a pesquisa. O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos e as discussões sobre o tema. O quinto capítulo pontua as conclusões e reflexões do tema abordado. Por fim, estão apresentadas as referências bibliográficas utilizadas no trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este trabalho baseia-se predominantemente em dois pilares teóricos. O primeiro aborda o conceito de energia de uma forma abrangente, contextualizando o histórico, os tipos de energia, sua utilização e relevância. Posteriormente, restringe-se um pouco mais o universo energético ao tratar assuntos relacionados a matrizes energéticas nacionais, internacionais e suas características.

O segundo pilar teórico conduz a pesquisa pela energia solar fotovoltaica, abordando brevemente as primeiras descobertas do fenômeno, assim como a repercussão da possibilidade de geração de energia sem queimar combustível. Em seguida, são descritos os sistemas fotovoltaicos comercialmente disponíveis e as particularidades dos sistemas interligados à rede elétrica no sistema conhecido como geração distribuída.

2.1 Energia ao Longo da História

Energia pode ser definida como a capacidade de realizar trabalho ou transferir calor. As necessidades energéticas da humanidade assim como sua utilização são tão antigas quanto sua existência e estão em constante evolução (Farias, 2011).

As fontes de energia também podem ser classificadas em renováveis e não-renováveis, dependendo da fonte de obtenção. As fontes de energia renováveis utilizam recursos que possuem a capacidade de manterem-se disponíveis por um longo prazo devido às características de renovação, ou inesgotáveis do ponto de vista da longevidade humana, como a radiação solar, ventos, água, biomassa e outros (Mantovani, 2016).

As fontes de energias não renováveis se encontram disponíveis de forma limitada na natureza e se extinguem após sua utilização, ou seja, uma vez esgotadas não poderão ser regeneradas. Pertencem a esse grupo, os combustíveis fósseis e o urânio (Mantovani, 2016).

A primeira fonte primária da energia foi o Sol, ao iluminar, aquecer e transferir energia para as plantas e a água, possibilitando desta forma a fotossíntese e o ciclo da água com as nuvens e a chuva (Hémere, 1993).

A luz do Sol em contato com a clorofila existente nas folhas das plantas, transforma a água e os sais minerais absorvidos pelas raízes em glicose. Essa substância é conduzida ao longo dos canais existentes na planta para todas as partes do vegetal que utiliza parte desse alimento para viver e crescer. A outra parte fica armazenada na raiz, caule e sementes sob a forma de amido (Hémere, 1993).

Um grande marco no aproveitamento energético assim como na sua armazenagem aconteceu nas grandes civilizações no mundo antigo há 4000 A.C. A utilização dos solos férteis do sudoeste e oeste asiáticos, nos vales aluviais, assim como o desenvolvimento

de técnicas de cultura irrigada de cereais proporcionaram o aumento da produtividade. O desenvolvimento desta técnica possibilitou o armazenamento de quantidades cada vez maiores de energia em forma de alimento, uma vez que a energia física dos homens, mulheres e animais eram as mais utilizadas na época (Farias & Sellitto, 2011).

O vento também é uma fonte de energia renovável disponível. Contudo, é considerada uma forma indireta de energia solar, uma vez que é resultante da movimentação do ar quente que sobe na região equatorial e se desloca para regiões mais frias num movimento regular e permanente da dinâmica do planeta (Farias & Sellitto, 2011).

Novas formas de produzir energia foram descobertas com o aprimoramento da matemática e engenharia, promoveram o desenvolvimento de dispositivos mecânicos complexos empregados na era do vapor, na revolução industrial, no surgimento do automóvel e exploração do petróleo (Silva Filho, 2007).

A energia elétrica é considerada uma forma secundária de energia pois é obtida de diferentes fontes primárias de energia. Sua primeira aplicação foi no campo da comunicação com o telégrafo. Thomas Edison construiu em 1882 a primeira usina geradora em corrente contínua utilizada para a iluminação (Silva Filho, 2007).

A facilidade no transporte da energia elétrica e da possibilidade da conversão direta em diversos tipos de energia fez da energia elétrica um dos principais produtos da Era Contemporânea. Sua importância pode ser verificada pelo aumento contínuo na sua utilização pelos países industrializados (Farias & Sellitto, 2011).

2.2 Matriz Energética

A matriz energética contempla todos os tipos de energia liberada para ser transformada, distribuída e consumida para diversas finalidades. É importante ressaltar que a matriz energética é formada por fontes primárias de energias, como a solar, petróleo, biomassa, carvão, gás natural, hidráulica entre outras (Mantovani, 2016).

Fundamentalmente, um país precisa ser capaz de prover logística e energia para desenvolvimento da produção em condições competitivas e ambientalmente sustentáveis (Tolmasquim, 2012).

Do ponto de vista energético, a matriz brasileira é citada mundialmente como referência devido a elevada participação de fontes renováveis como a hidráulica, etanol, biomassa e eólica. Entre as fontes não renováveis, o país também é citado como referência internacional na produção de petróleo em águas profundas (Tolmasquim, 2012).

A inserção de fontes alternativas de energia na matriz energética, em especial as renováveis, aparece com uma opção de redução da dependência dos combustíveis fósseis

assim como também da elevada dependência da fonte hidroelétrica, a qual é sensível aos períodos de estiagem (Machado, Borba & Maciel, 2016).

A constituição da matriz energética mundial é predominantemente proveniente de fontes não renováveis. Segundo dados da Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency – IEA*) no relatório publicado *World Energy Balance overview, 2017 edition*, 81,7% de toda energia produzida no mundo é proveniente de combustíveis fósseis e a participação das fontes está detalhada no gráfico abaixo (Figura 1) (IEA, 2017).

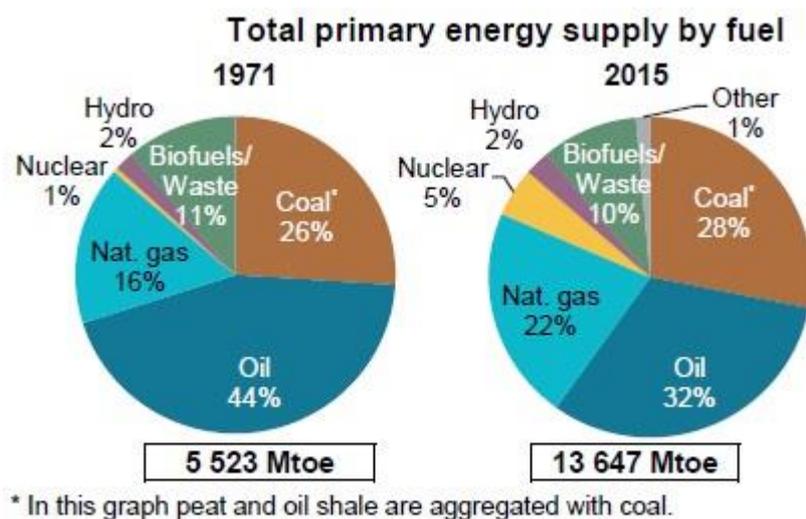


Figura 1. Total de energia primária por fonte.
Fonte: IEA, 2017.

Em 2015, a China foi responsável por quase 50% de toda energia produzida por carvão no mundo. Já os Estados Unidos e França produziram juntos 50% de toda energia produzida por fonte nuclear (IEA, 2017).

Apenas 9,6% da produção mundial de energia é proveniente de bicombustíveis e biomassa, e 2,4% é proveniente de hidroelétricas. Apesar da expressiva expansão das novas fontes renováveis nos últimos anos, como a solar, eólica e geotérmica, essas fontes ainda representam menos de 2% de toda energia produzida no mundo (IEA, 2017).

Ao analisar-se o consumo energético dos países que integram a Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico (OECD), verificamos que este consumo mais que dobrou entre os anos de 1971 e 2015(IEA, 2017).

A indústria é o maior consumidor de energia e permanece nesta posição desde 1971. Logo em seguida aparece o setor de transporte e em terceiro lugar o consumo energético residencial. Assim como a indústria vem ocupando a primeira posição desde a década de 70, os setores de transporte e residencial também ocupam a segunda e terceira

posição desde a década de 70, respectivamente. Estes três setores representaram 88% do consumo de toda energia produzida no planeta em 2015 (Figura 2) (IEA, 2017).

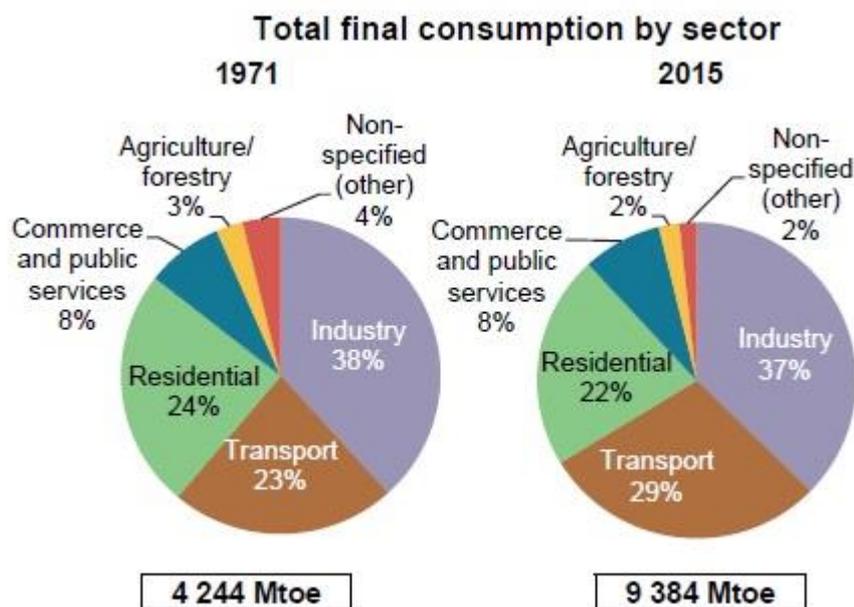


Figura 2. Total do consumo energético por setor.
Fonte: IEA, 2017.

O perfil brasileiro de consumo energético por setor também se assemelha com o padrão de consumo mundial, como demonstrado no relatório de Balanço Energético Nacional 2018. Assim, a indústria é a maior consumidora de energia com 32,9% de consumo. O setor de transporte ocupa a segunda posição com 32,7%, seguido pelo setor residencial com 9,7% do consumo nacional.

Assim como acontece na OECD, observamos que o consumo nacional energético dos setores industriais, transportes e residenciais aparecem respectivamente na primeira, segunda e terceira posição. Contudo, o setor residencial nacional consome apenas 9,7% enquanto nos países pertencentes à OECD o setor residencial representa 24%. Tolmasquim (2007) destaca que o consumo per capita brasileiro foi sempre baixo comparado aos países europeus, mas este perfil de consumo deve se alterar nos próximos anos devido à migração da população rural para a cidade e com a expectativa de crescimento de renda da população (BEM, 2018; Tolmasquim, 2007).

O Brasil possui uma das mais elevadas participações de fontes de energias renováveis na matriz energética. De acordo com os dados publicados no Balanço Energético Nacional 2018, essa participação é de 42,9%, contra a média mundial de 13,7% e a média da OCDE de 10,1% (MME, 2018). Entre as fontes renováveis, a biomassa da cana representa 17%, seguida pela energia hidráulica com 12%, lenha e

carvão vegetal com 8% e em quarta posição estão lixívia e outras renováveis com 5,9% (Figura 3).

As fontes não renováveis representam 57,1% do consumo nacional brasileiro, no qual os derivados de petróleo constituem 36,4% do consumo, seguidos pelo gás natural com 13% e o carvão mineral com 5,7% (Figura 3) (MME, 2018).

A elevada participação de energia renovável na matriz energética, o extenso e integrado sistema de transmissão de energia elétrica e a riqueza de alternativas disponíveis para a possível diversificação da matriz energética identificam o Brasil como grande potência energética e ambiental mundial (Tolmasquim, 2012).

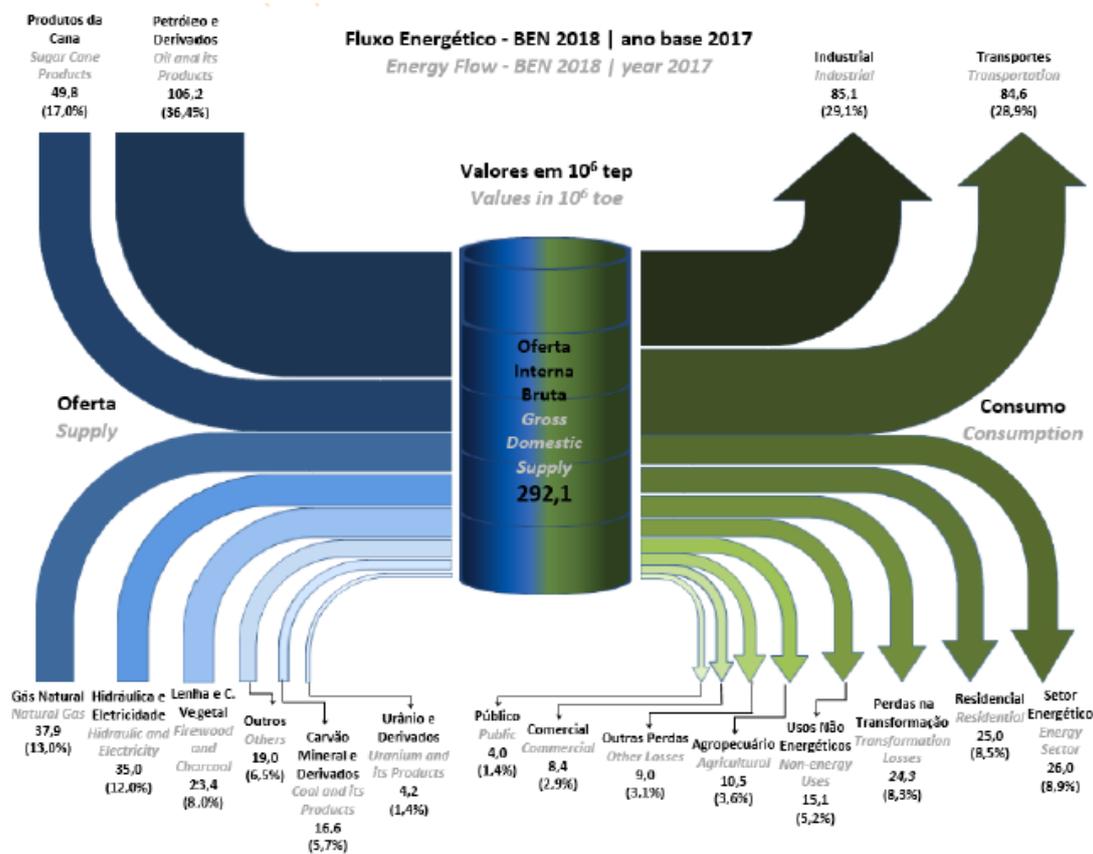


Figura 3. Fluxo energético BEN 2018.

Fonte: MME, 2018.

2.3 Matriz Elétrica

A matriz elétrica é parte integrante da matriz energética e pode ser obtida a partir de diversas fontes primárias renováveis e não-renováveis. Contudo, as fontes não-renováveis ainda são responsáveis pela geração de 76,2% de toda energia elétrica produzida nos países da OECD (IEA 2017).

A participação de 23,8% de energia proveniente de fontes renováveis na matriz elétrica na OECD é a maior participação desde o início dos dados da série histórica que começaram em 1990 (Figura 4). O aumento dessa participação se deve principalmente à ampliação dos parques eólicos e fotovoltaicos que cresceram a uma média anual de 24% e 45,5%, respectivamente (IEA 2017).

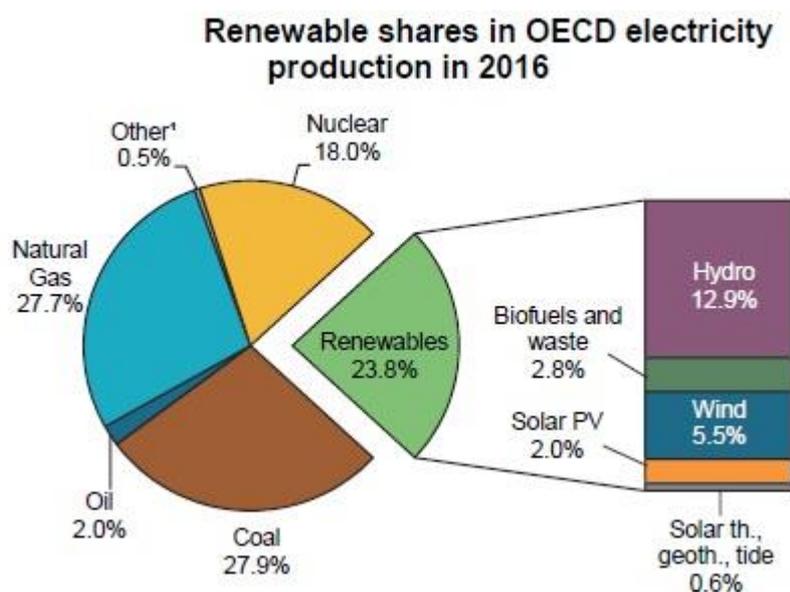


Figura 4: Participação das energias renováveis na matriz elétrica da OECD em 2016.

Fonte: IEA, 2017.

A energia solar fotovoltaica assume importante destaque na matriz elétrica renovável da OECD com o maior crescimento médio anual entre todas as fontes renováveis. Crescendo a uma média anual de 43,3%, essa fonte representa ainda uma pequena parcela entre as renováveis em termos absolutos. Porém, seu rápido crescimento traz boas expectativas na busca de alternativas aos tradicionais combustíveis fósseis responsáveis por elevada emissão de carbono e o aquecimento global (IEA 2017).

Ao analisar-se os dados referentes à participação de energias renováveis na matriz elétrica Brasileira, identificamos uma das maiores participações mundiais com 80,4% (MME, 2018).

A fonte hidroelétrica é a que possui maior participação na matriz elétrica brasileira com 65,2%, o gás natural ocupa a segunda posição com 10,5%, a biomassa participa com 8,2% e a eólica com 6,8 % (Figura 5) (MME, 2018).

Apesar da pequena participação da energia solar fotovoltaica no total da matriz elétrica renovável, apenas 0,1 %, o MME ressalta a importância dessa matriz energética e destaca que a energia solar fotovoltaica apresentou o maior crescimento percentual entre todas as fontes de energia, com 875% de crescimento do ano 2016 para 2017.

A fonte hidroelétrica possui a maior participação na matriz elétrica brasileira e é considerada renovável. Porém, do ponto de vista ambiental não é considerada como a melhor solução ecológica. As hidroelétricas demandam para suas construções enormes represas, inundando imensas áreas de matas e interferindo nos cursos dos rios, prejudicando a fauna, flora e na ocupação humana (Inatomi & Udaeta, 2007).

Dada a característica da nossa matriz elétrica, a dependência da fonte hidroelétrica é muito elevada, e com a aleatoriedade das chuvas bem como períodos de prolongada estiagem associados a operações imprecisas dos reservatórios de água, podem levar o país a um racionamento de energia como o ocorrido em 2001 (Tolmasquim, 2001).

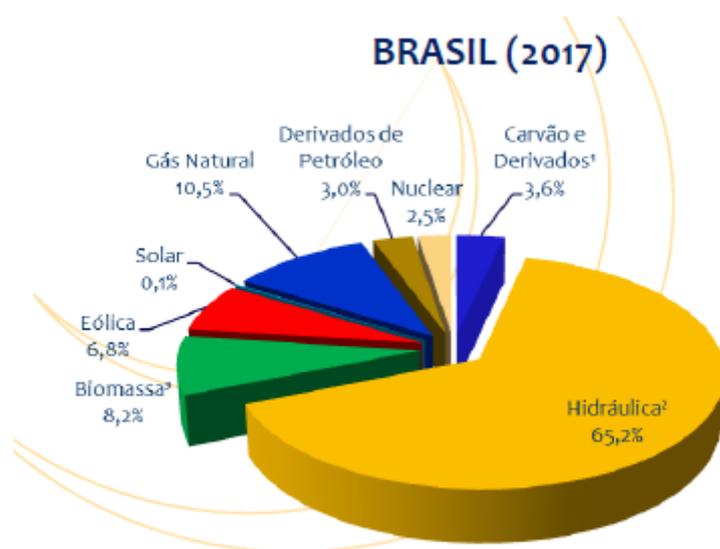


Figura 5: Matriz elétrica brasileira.

Fonte: MME, 2018.

Uma forma encontrada pelo governo para fazer com que a demanda responda a situação do sistema, foi a criação das bandeiras tarifárias. Desta maneira, o consumidor não pode permanecer inerte, pois o preço da energia varia de acordo com a vulnerabilidade de abastecimento, como por exemplo, os níveis dos reservatórios das hidroelétricas ou a necessidade de acionamento das termoeletricas (Takigawa, Fernandes, Aranha Neto & Sica, 2016).

Assim, faz-se necessária a diversificação da nossa matriz elétrica, tornando-a menos vulnerável a crises hídricas e evitando o acionamento das termoelétricas que além de produzirem energia a um custo mais elevado, produzem gases de efeito estufa. Esses, entre outros motivos, tornam a energia solar fotovoltaica cada vez mais atraente para o país (Rosa & Gasparin, 2016).

2.4 Energia solar

A produção de eletricidade utilizando o sol como fonte não é exatamente uma novidade. Edmond Becquerel, físico francês, observou em 1839 que duas placas de latão imersas em um eletrólito líquido produziam eletricidade se expostas à luz solar. A este fenômeno foi dado o nome de efeito fotovoltaico (Komp, 1982).

As contribuições e desenvolvimento da energia solar fotovoltaica continuaram ocorrendo com diversas descobertas pelo mundo. Em 1883, Charles Fritts, um inventor americano, construiu a primeira bateria solar. Seu dispositivo possuía uma eficiência baixa de conversão elétrica, apenas 1%, mas repercutiu de maneira expressiva, pois não se acreditava na época haver possibilidade de produção de energia sem a queima de combustíveis. Em 1954, cientistas da Bell Labs desenvolveram a primeira célula solar preparada a base de silício. A célula possuía eficiência de 6% e, desde então, as pesquisas no ramo cresceram progressivamente (Komp, 1982).

No mesmo ano, o jornal americano “The New York Times” anunciou que as células desenvolvidas pelos cientistas da Bell Labs poderiam mudar o futuro da energia uma vez que aproveitam uma fonte de energia ilimitada (Komp, 1982).

A reportagem estava correta e a quantidade de energia ou radiação solar que atinge o planeta em 1 hora é suficiente para suprir a demanda energética mundial diversas vezes. Este suprimento ilimitado de energia é distribuído mundialmente, sem custos e resíduos. No entanto, essa fonte de energia ainda não é muito utilizada devido aos seus elevados custos de aquisição e aos longos prazos necessários para retorno sobre o investimento (Service, 2005; Schiermeier *et al.*, 2008).

Para conversão direta da radiação solar em energia elétrica é necessário um sistema fotovoltaico composto basicamente de placa fotovoltaica, inversor, baterias e controlador de carga quando necessário (Figura 6).

A placa fotovoltaica é composta por diversas células de material semicondutor agregadas em série, para a formação de módulos. A conexão dos módulos em série e paralelo formam a placa fotovoltaica. Esse dispositivo é fundamental no sistema fotovoltaico, pois realiza a conversão direta da radiação solar em energia elétrica. O semicondutor mais utilizado atualmente é o Silício, encontrado com relativa abundância na crosta terrestre (MME, 2007).

O inversor de corrente transforma a corrente contínua (CC) produzida pelo painel fotovoltaico em corrente alternada (CA) para que a mesma possa ser utilizada pelos equipamentos elétricos. O controlador de carga efetua a gestão da carga das baterias que são utilizadas no período noturno ou de baixa incidência de radiação solar. Os sistemas fotovoltaicos que funcionam com baterias no Brasil não costumam estar interligados às redes de distribuição elétrica (Machado, 2015).

As células fotovoltaicas comercialmente disponíveis no mercado são basicamente de silício monocristalino, silício policristalino ou de silício amorfo. As células de silício monocristalino apresentam a melhor eficiência, em torno de 12-15%, as de silício policristalino entre 11-14% e as de silício amorfo entre 6-7% (Mori *et. al.*, 2007).

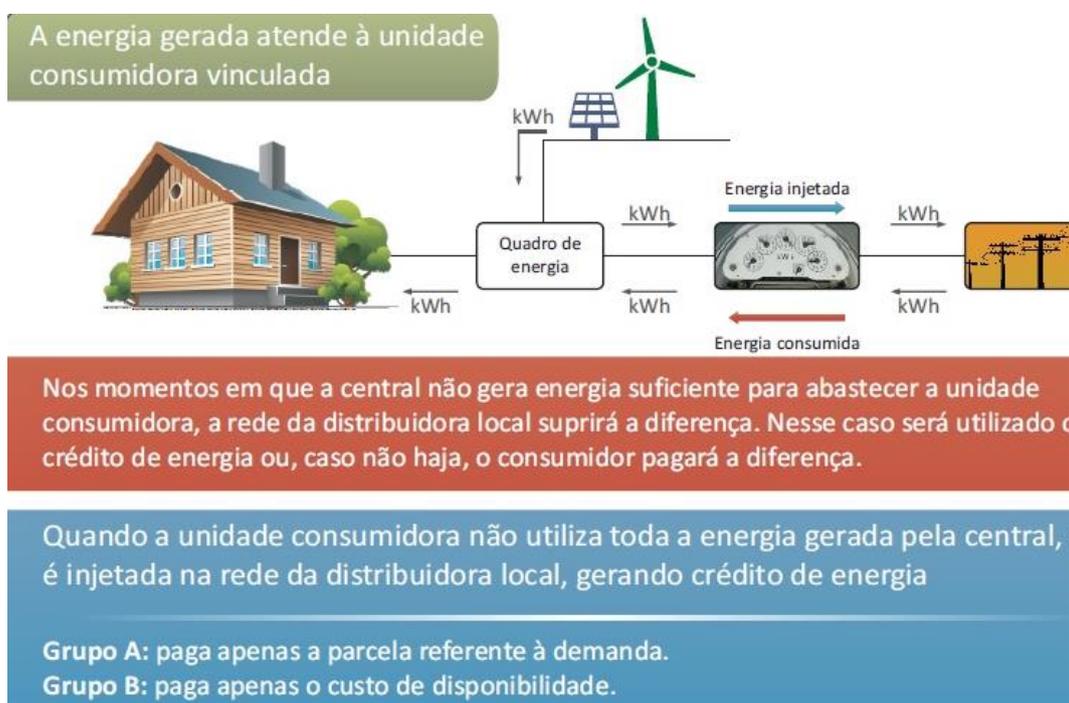


Figura 6: Geração fotovoltaica distribuída.

Fonte: ANEEL, 2016.

Recentemente, os sistemas fotovoltaicos tornaram-se mais competitivos devido à maturidade da tecnologia e à redução dos custos de produção dos equipamentos. Entretanto, é importante que os possíveis usuários de energia fotovoltaica possuam esta percepção para gerar um impacto positivo na adoção desta tecnologia (Karakaya & Sriwannawit, 2015).

O sistema fotovoltaico trabalha de maneira estática, não emite som e funciona sem queimar combustível. É considerado como boa alternativa para produção de eletricidade sem emissão de gases de efeito estufa (Sampaio & González, 2017).

De maneira geral, os sistemas fotovoltaicos são considerados de baixa manutenção, mas demandam mão de obra especializada para realização do processo de integração (Karakaya & Sriwannawit, 2015).

Por este motivo, a utilização de energia fotovoltaica é atrativa também do ponto de vista da criação de empregos. Para a comercialização, dimensionamento, instalação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos é necessário o envolvimento direto de um grupo de profissionais especializados (Karakaya & Sriwannawit, 2015).

O Ministério de Minas e Energia (MME) entende que a disseminação da energia fotovoltaica distribuída se deve à possibilidade de créditos na conta de energia elétrica regulamentados na resolução normativa da ANEEL 482/2012, assim como pela difusão desta tecnologia, conscientização ambiental e diminuição de custo de aquisição e instalação dos sistemas fotovoltaicos (MME, 2016).

De acordo com os dados do Balanço Energético Nacional (BEN), a energia solar teve destaque na matriz energética brasileira devido ao crescimento de 875% em 2017, comparado ao ano de 2016. Este fenômeno de crescimento também é observado internacionalmente e, assim como no Brasil, recebe especial destaque nos balanços energéticos mundialmente (MME & EPM, 2018; IEA 2017).

A nova norma prevê também a possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios. Com isso, há possibilidade de os interessados constituírem uma cooperativa ou consórcio, instalarem uma microgeração ou minigeração distribuída e utilizarem os créditos provenientes da geração energia para a redução das faturas dos consorciados ou cooperados (ANEEL, 2017).

2.5 Energia Solar como Projeto de Investimento no Brasil

Um projeto de investimento pode ser descrito de maneira simplificada como um conjunto sistemático de informações que serão utilizados de base para a tomada de decisão relativa à alocação de capital (Lucas, 2016).

Para uma boa tomada de decisão do ponto de vista financeiro, devem-se identificar os aspectos mais relevantes envolvidos no projeto, como a relação entre o risco e o retorno sobre o investimento, assim como o fluxo de caixa. Desta forma é possível mitigar riscos na tomada de decisão de investimento (Abreu Filho, Souza, Gonçalves & Cury, 2012)

A seguir são apresentados também conceitos amplamente utilizados nas análises de viabilidade de investimentos que utilizam a matemática financeira para projetar o valor do dinheiro no tempo.

Taxa mínima de atratividade (TMA), também conhecida pelo termo em inglês *capital asset pricing model* (CAPM), pode ser definida como a remuneração mínima esperada por um ativo. É comum utilizar nestes casos como referência, um ativo livre de risco (Abreu Filho *et. al.*, 2012).

Valor presente líquido (VPL), ou em inglês *net present value* (NPV), pode ser considerado como um dos critérios mais rigorosos para comparação de projetos diferentes, mas com o mesmo horizonte de tempo. Matematicamente, o VPL é o valor presente equivalente de um fluxo de caixa de projeto calculado a uma determinada taxa de desconto. Desta forma, se o VPL for positivo na análise de projetos, significa que o mesmo possui atratividade (Abreu Filho *et. al.*, 2012).

Payback descontado (PBD), em termos práticos, apresenta uma perspectiva do tempo de recuperação do investimento, levando em conta o valor do capital no tempo ao utilizar a taxa mínima de atratividade no cálculo. Pode apontar riscos caso o período de permanência do capital for muito prolongado em um determinado projeto. Este método deve ser utilizado em conjunto com outros métodos, pois em diversos casos não é possível identificar a criação de valor para o investidor (Abreu Filho *et. al.*, 2012).

As recentes diminuições nos custos dos sistemas fotovoltaicos tornaram o sistema mais atrativo do ponto de vista de um investimento. Segundo informações das empresas integradoras, o retorno sobre o investimento (*payback*) de um sistema fotovoltaico para uma residência unifamiliar com consumo médio mensal de 240 kWh na cidade de São Paulo, acontece aproximadamente entre o quinto e o sexto ano. Para determinação deste *payback*, as empresas integradoras utilizam o conceito do *payback* simples (Rodrigues, 2018).

Contudo, ao analisar este cálculo com mais rigor técnico, o método mais apropriado é o *payback* descontado. Ao utilizar o conceito de *payback* descontado, o retorno sobre o investimento aumenta em torno de 5 anos, ou seja, em média o mesmo sistema fotovoltaico passa a ter um *payback* de aproximadamente 10 anos (Rodrigues, 2018) (Figura 7).

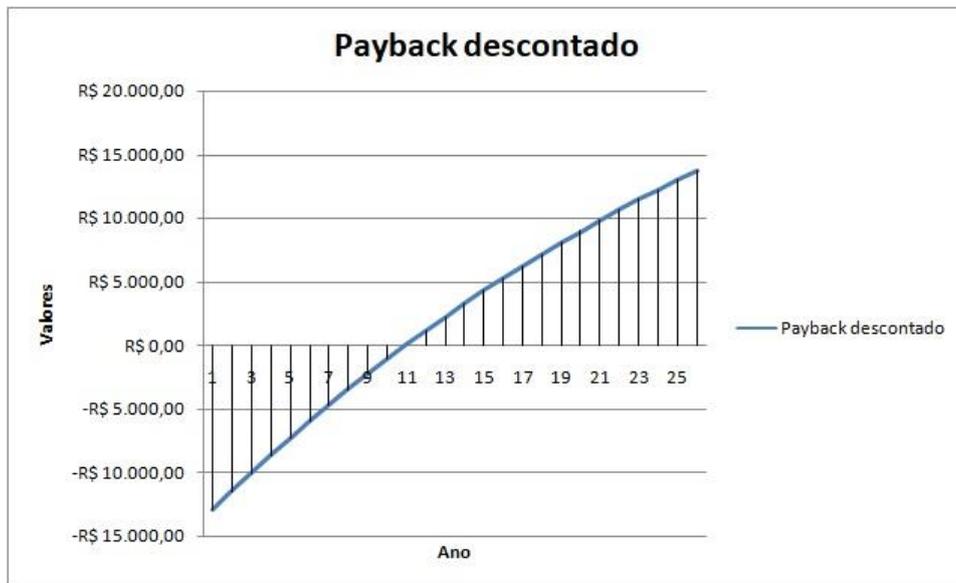


Figura 7: *Payback* descontado.

Fonte: Rodrigues, 2018.

Ao analisar o tempo do retorno sobre o investimento por meio do *payback* descontado, identifica-se retorno de todo capital investido após 10 anos. Levando em conta que o sistema possui uma vida útil de aproximadamente 25 anos, o investimento também se demonstra viável por esta perspectiva.

Para o desenvolvimento deste cálculo de retorno sobre o investimento, foi levado em conta que o interessado na aquisição do sistema fotovoltaico tenha todo o capital disponível para a compra do sistema fotovoltaico à vista. No entanto, o mesmo investimento poderia ter o *payback* maior caso o interessado precisasse fazer um empréstimo bancário.

Características peculiares da macroeconomia do país, como a elevada taxa SELIC, diminuem a atratividade sobre o investimento, uma vez que pode ser usada como referência a taxa mínima de atratividade nos projetos de investimentos e nos cálculos do *payback* descontado (Lucas, 2016).

A taxa SELIC é uma faceta importante a ser considerada na composição da taxa de juros praticada pelos bancos. Entre os diversos argumentos utilizados para justificar as elevadas taxas de juros nos financiamentos bancários, a taxa SELIC é o principal argumento nas justificativas. Porém, estudos demonstram que a elevada concentração bancária brasileira pode ser a maior responsável, pois não cria um ambiente competitivo entre as instituições que multiplicam de quatro a oito vezes a SELIC para disponibilizar crédito às pessoas e empresas, dificultando assim diversos projetos de investimentos (Cintra & Etlin, 2003).

2.6 Legislações e Políticas Públicas para Energia Solar no Brasil

Em abril de 2012, entrou em vigor a resolução normativa ANEEL nº 482/2012 que fundamenta as diretrizes da microgeração e minigeração distribuída no Brasil. Este documento fundamental no campo das políticas públicas do setor energético inaugurou o novo modelo do sistema elétrico brasileiro, permitindo que o consumidor possa gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada, assim como fornecer o excedente de energia produzida para a rede de distribuição de energia (ANEEL, 2015).

A microgeração distribuída se caracteriza por uma central geradora de energia elétrica que utiliza fontes renováveis de energia com potência instalada menor ou igual a 75 kW, conectada à rede elétrica por meio de uma unidade consumidora (ANEEL, 2017).

A minigeração distribuída possui uma central geradora proveniente de fonte renovável de energia com potência instalada superior a 75 kW e inferior a 3MW. Para fontes hídricas, a resolução permite uma potência instalada de até 5MW conectada à rede elétrica por uma unidade consumidora (ANEEL, 2017).

Quando a quantidade de energia gerada em determinado período é superior à energia consumida, o consumidor adiciona créditos que serão descontados no momento em que a geração for inferior ao consumo, como por exemplo, no período noturno. Essa operação de crédito e débito de energia é realizada por meio de empréstimo gratuito para distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa, nunca com crédito ou débito de importâncias monetárias, sendo conhecido internacionalmente pelo termo em inglês *Net Metering*. No Brasil esse sistema é denominado de Sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2015).

A geração distribuída se destaca pelo potencial benefício proporcionado ao sistema elétrico como adiamento de investimentos na expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, minimização das perdas, baixo impacto ambiental e diversificação da matriz energética (ANEEL, 2015).

Alguns avanços relativos a incentivos tributários podem ser notados na legislação brasileira nos casos de geração distribuída de energia elétrica produzida a partir de fonte renovável.

Segundo Machado, o sistema de compensação de energia, também denominado de *net metering*, descrito na resolução normativa 482/2012, foi analisado pelo Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) e classificado como operação de compra e venda de energia elétrica, e, portanto, sujeito a incidência do Imposto de Circulação de Mercadoria (ICMS). Assim, fica estabelecida a cobrança do valor deste tributo sobre toda energia consumida pelo cliente antes de qualquer desconto relativo à compensação da energia produzida pela unidade (Machado, Borba & Maciel, 2016).

Contudo, ainda naquele ano, por meio do convênio ICMS 16/2015, o Conselho Nacional de Política Fazendária - CONFAZ, na sua 238ª reunião extraordinária, realizada

em Brasília, DF, tendo em vista o disposto na Lei Complementar nº 24, de 7 de janeiro de 1975 e na Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, resolve celebrar o seguinte:

“... conceder isenção do ICMS incidente sobre a energia elétrica fornecida pela distribuidora à unidade consumidora, na quantidade correspondente à soma da energia elétrica injetada na rede de distribuição pela mesma unidade consumidora com os créditos de energia ativa originados na própria unidade consumidora no mesmo mês, em meses anteriores ou em outra unidade consumidora do mesmo titular, nos termos do Sistema de Compensação de Energia Elétrica, estabelecido pela Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.” (recuperado em 21/11/2018: https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/CV016_15).

Com o avanço desta resolução, o usuário de energia fotovoltaica passa a pagar o ICMS apenas sobre a energia ativa faturada, ou seja, pagar imposto apenas sobre a diferença produzida e a consumida, tornando o sistema mais interessante do ponto de vista do retorno sobre o investimento.

Outro importante avanço relativo à redução tributária nos sistemas fotovoltaicos foi o convênio ICMS 156/2017, que isenta as placas fotovoltaicas assim como todos os periféricos necessários para montagem do sistema fotovoltaico, demonstrando a importância desta fonte de energia para a matriz energética brasileira ([https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2017 /CV156_17](https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2017/CV156_17), recuperado em 23/11/2018).

Em 2015, a ANEEL revisou a resolução normativa nº 482/2012 e publicou a resolução normativa nº 687/2015 com objetivo de melhorar e ampliar a resolução anterior. Entre as principais melhorias que entraram em vigor em 1º de março de 2016, destaca-se a ampliação do prazo de validade dos créditos que pode ser utilizada para abatimento na fatura que passa de 36 meses para 60 meses (ANEEL, 2015).

O Ministério de Minas e Energia (MME) & Empresa de Pesquisa Energética (EPE) afirmam que este tipo de mini e micro geração fotovoltaica vem crescendo nos últimos anos incentivados por recentes ações regulatórias como a que possibilita a compensação da energia excedente produzida (MME, 2013).

Em nota técnica de projeção de demanda de energia elétrica 2014 – 2024, ressalta-se que a regulamentação REN 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a qual possibilitou a compensação da energia excedente produzida, promoverá a expansão da geração distribuída da energia fotovoltaica para aproximadamente 1.257GWh em 2023 (MME 2013).

Atualmente, os custos dos geradores e eventuais financiamentos não são estabelecidos pela ANEEL. A iniciativa da instalação e a análise do custo x benefício devem ser do consumidor, uma vez que cada caso envolve características muito

particulares como tipo de tecnologia, tarifa local de energia, localização e custos de adequação de infraestrutura (ANEEL, 2017).

A resolução normativa 482/2012 atualizada prevê novas modalidades de micro e mini geração distribuída como a geração compartilhada, o autoconsumo remoto e o empreendimento com múltiplas unidades consumidoras. Nestas novas modalidades, a instalação da unidade geradora de energia distribuída pode ser realizada em um local diferente do ponto de consumo desde que respeite determinados parâmetros (ANEEL, 2017).

A Geração compartilhada se caracteriza pela reunião de consumidores pertencentes à mesma área de uma concessionária de energia elétrica, organizados por meio de consórcio ou cooperativa e que possuam uma unidade geradora de energia elétrica integrada à rede de distribuição em local diferente das unidades consumidoras. O critério de divisão dos créditos de energia provenientes da central geradora distribuída é livre entre os participantes e obedece a indicação percentual previamente indicada à concessionária de energia (ANEEL, 2017).

O autoconsumo remoto é caracterizado por unidades consumidoras de uma mesma pessoa física ou jurídica que possua unidade geradora interligada à rede elétrica em local diferente ao de consumo, mas pertencentes à mesma concessionária de energia elétrica (ANEEL, 2017).

Empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras (condomínios) são caracterizados pela utilização de energia de maneira independente, onde cada fração de utilização individualizada constitui uma unidade consumidora e o consumo da área comum constitui uma unidade consumidora distinta de responsabilidade do condomínio. Todas as unidades consumidoras, assim como o equipamento de mini ou microgeração de energia interligado a rede elétrica, devem estar na mesma propriedade ou dispostas de tal maneira que não se utilizem de vias públicas, passagens subterrâneas, aéreas ou propriedade de terceiros durante a transmissão da energia produzida para as unidades consumidoras individuais. Nesse sistema também, os critérios de divisão dos créditos de energia provenientes da central geradora distribuída são livres entre os participantes e obedece a indicação percentual previamente indicada à concessionária de energia (ANEEL, 2017).

É importante destacar que um terreno que receberá uma unidade de micro ou minigeração de energia remota ou compartilhada deverá primeiro ser cadastrado como unidade consumidora conforme descrito na resolução normativa 482/2012 (ANEEL, 2017).

Zanetti Neto et al. (2014) destacam que a resolução normativa ANEEL 482/2012 foi um importante passo na regulamentação deste setor para o Brasil, mas que essa regulamentação isolada de campanhas que mobilizem o cidadão comum a conhecer e instalar estes sistemas não tem a mesma efetividade.

Do ponto de vista financeiro, a resolução normativa ANEEL 482/2012 também não prevê subsídios ou incentivos, situação que desestimula a ampliação dos sistemas fotovoltaicos (Zanetti Neto, 2014).

2.7 Legislações e Políticas Públicas para Energia Solar no Mundo

Entre os anos de 2005 e 2015, a produção de energia elétrica na União Europeia a partir de fontes renováveis vem crescendo percentualmente mais do que a economia, com especial destaque para energia solar fotovoltaica e eólica (Arantegui, 2018).

No esforço de promover as energias renováveis, autoridades governamentais formularam diversas políticas para incentivar a utilização de energia proveniente de fontes renováveis, uma vez que estudos realizados na União Europeia apontam que grande parte da emissão de gases do efeito estufa está diretamente relacionada à utilização de combustíveis fósseis para geração de energia elétrica (Li, Chang & Chang, 2016).

Entre as políticas adotadas destacam-se acordos de compra de energia de fonte renovável, empréstimos subsidiados, incentivos fiscais, *leasing*, investimentos em pesquisa e desenvolvimento para introdução de geração em larga escala de energia renovável (Li, 2016).

O sistema conhecido como *feed-in tariff* (FIT), utilizado principalmente na União Europeia, consiste na compra da energia elétrica gerada a um valor fixo e por um tempo determinado, sendo esse valor normalmente superior ao valor cobrado do kWh consumido (Machado, Borba & Maciel, 2016).

Segundo Couture, o sistema de FIT é uma das políticas mais efetivas para encorajar um rápido desenvolvimento das fontes renováveis. Um dos pontos fortes deste sistema consiste na possibilidade de oferecer garantias de preço e prazos pela geração a partir de fontes renováveis, além de adequar a tarifa prêmio para diferentes fontes e tamanhos de geradores (Couture & Gagnon, 2009).

No sistema de *leasing*, o cliente não precisa desembolsar nenhum valor para utilizar um sistema fotovoltaico, pois paga um aluguel mensal pelo sistema gerador (Machado, *et. al.*, 2016).

A outra modalidade de incentivo, a *Renewable Portfolio Standards* (RPS), consiste em um sistema de cotas onde um percentual da energia vendida aos consumidores deve ser proveniente de fontes renováveis, podendo beneficiar os produtores de duas maneiras diferentes, pela venda da energia produzida ou com a venda de certificados de produção de energia limpa (Li *et. al.*, 2016).

Subsídios financeiros também são disponibilizados e promovem a expansão da energia renovável na União Europeia, e desta maneira, o consumidor não precisa dispor

de todo valor para aquisição do sistema fotovoltaico. Os juros subsidiados reduzem o prazo do retorno sobre o investimento e tornam o negócio mais atrativo (Li *et. al.*, 2016).

O acordo de Paris, firmado em novembro de 2016, contribuiu também para a continuidade das políticas de utilização e expansão da energia solar fotovoltaica. A Comunidade Europeia é atualmente a maior economia com um plano de metas legalmente estabelecido. A meta determina que 27% do consumo de energia seja proveniente de fonte renovável até 2030. O compromisso com geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis será de aproximadamente 1650 TWh em 2030, o dobro da produção de 2014 (Arantegui, 2018).

O subsídio ofertado especialmente nos primeiros anos como forma de incentivo a novas fontes de energias renováveis foram importantes tanto para difusão da tecnologia como para o aumento da escala de produção dos equipamentos dos sistemas fotovoltaicos, amadurecimento tecnológico e redução de preços (Rujula, Burgio, Leonowicz, Menniti, Pinnarelli & Sorrentino, 2017).

Atualmente, além do sistema fotovoltaico interligado à rede de distribuição, alguns países já possuem opções para o sistema fotovoltaico trabalhar de forma integrada com a rede elétrica e com baterias, sendo conhecido internacionalmente como sistema PV-BESS (*battery energy storage systems from photovoltaic generation*). Adicionalmente ao sistema fotovoltaico, é instalado um gerenciador inteligente que determina os parâmetros ou a melhor maneira de consumir ou armazenar a energia que está sendo gerada naquele instante. Devido às diferentes maneiras de como os países cobram ou beneficiam a energia distribuída, é possível escolher a melhor forma ou o melhor momento de enviar energia elétrica para a rede de distribuição (Figura 8) (Rujula *et. al.*, 2017).

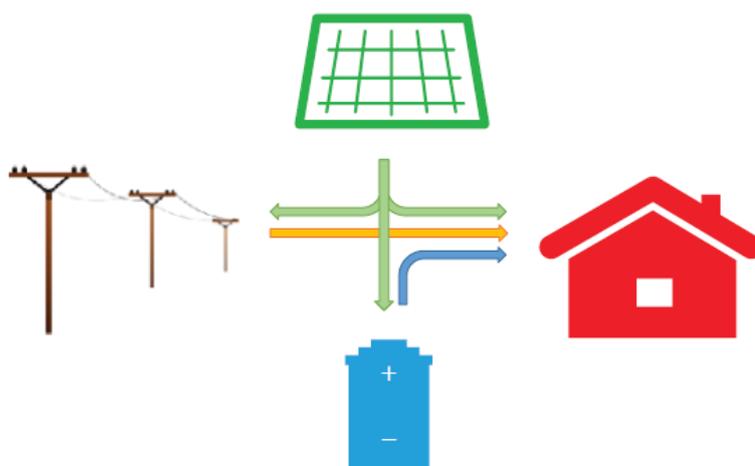


Figura 8: Sistema PV-BESS (*battery energy storage systems from photovoltaic generation*).

Fonte: Rujula *et. al.*, 2017.

O Sol é a principal fonte de energia primária e diversas fontes de energia dependem diretamente dele como a energia eólica, hidroelétrica e biomassa. Uma alternativa para obtenção de energia consiste nos sistemas fotovoltaicos, os quais são capazes de transformar a radiação solar em energia elétrica.

Mundialmente, 22,8% da matriz elétrica são representadas por energias renováveis, sendo este índice o mais alto já obtido. Em relação à matriz elétrica brasileira, apesar de possuir uma das maiores participações de fontes renováveis (80,4%), somente 0,1% de toda energia elétrica produzida é proveniente da energia fotovoltaica.

No Brasil, esse tipo de energia possui retorno sobre o investimento considerado de médio a longo prazo, tornando-se assim pouco interessante para o cidadão comum. Além disso, a ausência de políticas públicas e subsídios dificultam o acesso a esta tecnologia.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

O trabalho possui natureza exploratória e abordagem metodológica qualitativa, utilizando como estratégia de pesquisa o estudo de caso.

Os trabalhos exploratórios caracterizam-se pela exposição de determinada população ou fenômeno e pode ampliar-se estabelecendo correlações bem como pode servir de base para explicar fenômenos como o que será descrito neste trabalho (Vergara, 1990).

A abordagem qualitativa se caracteriza pela descrição, interpretação e compreensão de fatos e fenômenos, utilizando-se do ambiente natural como fonte de dados. O pesquisador é instrumento chave para realização deste tipo de pesquisa, auxiliando no entendimento, compreensão e descrição dos fenômenos (Martins & Theófilo, 2009).

Neste trabalho, a estratégia de pesquisa selecionada será o estudo de caso. Ao abordar o fenômeno dentro do seu contexto real, o pesquisador não tem controle sobre os eventos e variáveis, compreendendo, descrevendo, interpretando uma situação diante da complexidade de um caso real, contudo delimitando o foco para objeto ou tema de pesquisa (Martins & Theófilo, 2009).

3.1 Estratégia de pesquisa estudo de caso

A estratégia de pesquisa Estudos de Casos é adequada quando são propostas questões de pesquisa do tipo “como” e “por que” e nas quais o pesquisador não possua controle sobre os eventos inseridos nos contextos da vida real (Yin, 2015).

O Estudo de Caso utiliza-se de uma investigação empírica de um fenômeno real, mediante a uma avaliação profunda do assunto delimitado. Desta maneira, faz-se importante a perseverança e raciocínio crítico do pesquisador na construção de explicações que possibilitem a extração cuidadosa de conclusões, associadas a evidências que possibilitem a triangulação dos dados e evidências em busca de atingir o objetivo proposto no problema de pesquisa (Martins & Theófilo, 2009).

Na fase de coleta de dados primários, as evidências compuseram o material sobre o caso, foram coletadas diretamente da fonte por entrevistas semiestruturadas junto aos envolvidos (Yin, 2015).

Para obtenção dos dados secundários, foi realizado levantamento bibliográfico em revistas, livros, periódicos, jornais, sites, legislações e congressos, em busca de analisar, explicar e contribuir com tema objeto desta pesquisa (Martins & Theófilo, 2009).

A utilização de várias das fontes de evidência foi utilizada posteriormente na fase de análise e triangulação dos resultados para facilitar a compreensão e a discussão dos resultados (Yin, 2015).

3.2 Delineamento da Pesquisa

O desenvolvimento deste estudo de caso se inicia com uma minuciosa revisão da literatura. Desta forma, o pesquisador passa a compreender aspectos teóricos, políticos e normativos relativos ao estudo de caso (Yin, 2015).

Ao estudar estes aspectos, o pesquisador prepara-se melhor para a pesquisa de estudo de caso. Esta preparação permite questionar informações durante o período de coleta de dados primários, oferecendo ao entrevistado, por exemplo, a possibilidade de tratar de assuntos não identificados previamente na formulação das perguntas utilizadas na entrevista. Contudo, o pesquisador deve lembrar sempre do objetivo original do estudo de caso (Yin, 2015).

Após essas etapas, ocorreu a coleta de dados primários por meio de entrevista semiestruturada utilizando a matriz de amarração de Mazzon (Mazzon, 1981). As descobertas provenientes destas entrevistas foram trianguladas com múltiplas evidências coletadas, proporcionando diversas avaliações do mesmo fenômeno, conferindo confiabilidade às descobertas deste estudo de caso (Yin, 2015). A Figura 9 apresenta o fluxograma detalhado da pesquisa.

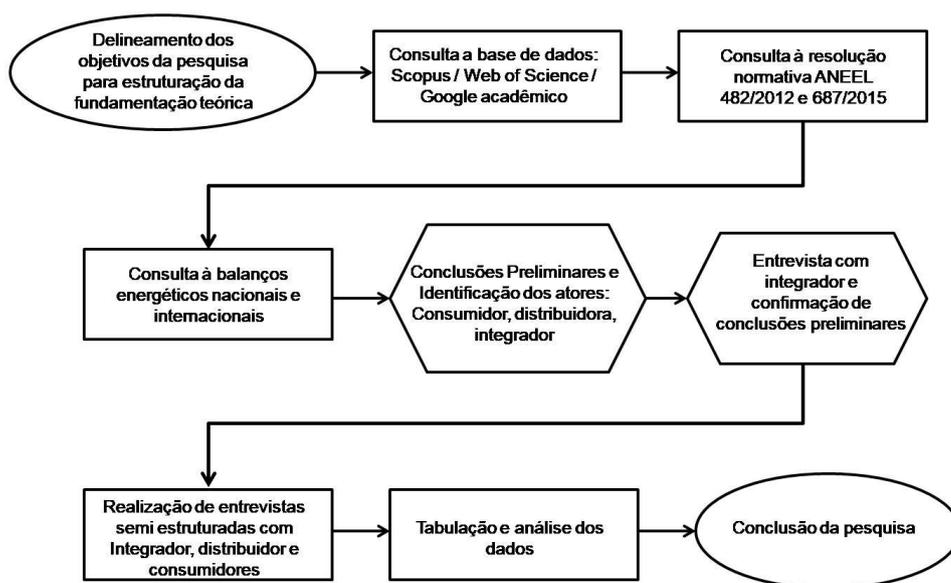


Figura 9. Fluxograma da pesquisa.

Fonte: Autor.

3.3 Caso em Estudo

O desenvolvimento deste estudo de caso foi conduzido na cidade São Paulo, analisando as características da microgeração e minigeração distribuída de energia solar fotovoltaica distribuída.

A cidade de São Paulo é a maior e a mais importante cidade do estado de São Paulo. Do ponto de vista econômico é também a mais importante do país. O potencial de geração de energia solar fotovoltaica distribuída é elevado e poderia gerar demanda suficiente para formar um mercado competitivo (Mitscher & Ruther, 2012).

A região também é densamente urbanizada, e por esta razão, a quantidade de telhados disponíveis torna-se também um recurso para a instalação dos sistemas fotovoltaicos sem competir por espaço com outros aparelhos urbanos (Miranda, 2014).

A cidade também abriga uma das maiores distribuidoras de energias elétrica do país, que devido ao seu elevado número de consumidores tem potencial de ser uma das grandes distribuidoras de energia fotovoltaica distribuída (Miranda, 2014).

Devido à relevância da cidade de São Paulo, o potencial de expansão da energia fotovoltaica e a possibilidade de levantamento de dados primários com importantes atores do cenário da energia fotovoltaica, a escolha da cidade São Paulo aparece como uma boa opção para o estudo de caso de microgeração e minigeração fotovoltaica distribuída.

3.4 Coleta de Dados

Para levantamento dos dados secundários, utilizou-se como fonte as bases de dados do *Scopus*, *Web of Science* e Google acadêmico. As palavras-chave utilizadas foram: ANEEL 482; ANEEL 687; Geração Distribuída; *Distributed Generation*; *Net metering*; *Feed In Tariff*; Energia solar fotovoltaica; *Photovoltaic solarenergy*; *Photovoltaic incentives*; *Photovoltaic policies*; *Photovoltaic Europe*.

Os artigos inicialmente selecionados pelas bases de dados tiveram apenas os resumos e conclusões avaliados pelo pesquisador para determinar a real relação com esta pesquisa. Os artigos que apresentaram maior aderência ao tema e que poderiam contribuir com o referencial teórico foram selecionados para uma leitura minuciosa e parte deles foi utilizado nesta pesquisa.

Além dos artigos selecionados das bases de dados mencionadas, utilizou-se a resolução normativa da ANEEL 482/2012 e sua respectiva modernização descrita na resolução normativa 687/2015, dada a relevância das mesmas para a regulamentação da microgeração e minigeração distribuída no Brasil.

Dados do Balanço Energético Nacional (MME, 2018) e da Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency – IEA*) contabilizam a oferta e o consumo de energia no Brasil e no mundo, com foco internacional nos países integrantes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) e também compõe o referencial teórico.

A análise documental também foi utilizada para corroborar com esta pesquisa, aumentando as fontes de evidências e proporcionando detalhes específicos de determinados comportamentos, padrões de consumo, escolhas e posturas dos sujeitos envolvidos neste estudo de caso (Yin, 2015). Desta maneira, foram selecionados dados de pesquisa de mercado obtidos pela empresa Greener assim como dados dos usuários de energia fotovoltaica fornecidos pelos integradores.

A coleta dos dados primários foi realizada por meio de entrevistas semiestruturadas com os principais atores envolvidos na geração e distribuição de energia fotovoltaica. As mesmas foram conduzidas de acordo com critérios definidos nas estratégias de estudo de caso (Yin, 2015), conforme descrito a seguir.

3.4.1 Sujeitos da Pesquisa

Ao analisar a literatura de estudo e as resoluções normativas ANEEL 482/2012 e 687/2015, identificam-se a distribuidora de energia elétrica, o consumidor e o responsável técnico pelo projeto do sistema fotovoltaico como os principais atores envolvidos na microgeração e minigeração de energia fotovoltaica distribuída.

A figura do responsável técnico normalmente é representada por uma empresa com objetivo de atender os consumidores interessados em gerar sua própria energia elétrica por meio de um sistema fotovoltaico. Esta empresa ou profissional é denominado pelo mercado como integrador.

Neste contexto, realizou-se uma entrevista preliminar comum integrador, uma vez que este ator está em contato direto com os outros dois principais envolvidos na microgeração e minigeração de energia fotovoltaica distribuída.

Neste estudo de caso, o integrador escolhido foi uma empresa de iniciativa privada, situada na cidade de São Paulo. Esta empresa possui aproximadamente 30 funcionários divididos em departamento técnico, treinamento, instalação, comercial e administrativo e foi denominada como Empresa Alfa.

O profissional escolhido para esta entrevista na empresa integradora foi o gerente técnico, devido ao seu envolvimento com a distribuidora de energia elétrica e o consumidor. Este profissional possui graduação em engenharia de produção e trabalha na empresa Alfa há cinco anos.

A entrevista preliminar aconteceu na última semana de maio de 2018, durou aproximadamente 1 hora e é denominada de entrevista curta de estudo de caso. A finalidade deste tipo de entrevista é de corroborar de maneira preliminar com determinadas descobertas feitas no levantamento bibliográfico. Neste estudo de caso, especificamente, o objetivo foi identificar os principais envolvidos na microgeração e minigeração de energia fotovoltaica distribuída (Yin, 2015).

De acordo com os resultados identificados nesta entrevista preliminar, foi possível identificar o consumidor como o maior responsável pela tomada de decisão na microgeração e minigeração distribuída. A distribuidora não participa diretamente da tomada de decisão, uma vez que a resolução normativa da ANEEL 482/2012 determina com clareza as condições que a distribuidora deve aceitar em relação ao novo microgerador ou minigerador.

Segundo o ponto de vista do entrevistado, a empresa integradora não é significativamente decisiva na tomada de decisão de instalação da microgeração e minigeração distribuída. Normalmente o consumidor já tomou a decisão ou está avaliando a possibilidade de instalar um sistema de geração de energia fotovoltaica e procura uma empresa integradora para avaliação de viabilidade e solicitação de um orçamento.

Para aprofundar essas percepções e colher informações suficientes para triangulação de dados, foram realizadas na segunda fase do trabalho mais duas entrevistas com empresas integradoras, uma entrevista com uma distribuidora de energia elétrica e com quatro consumidores que instalaram o sistema fotovoltaico de microgeração ou minigeração distribuída na cidade São Paulo.

A primeira empresa integradora entrevistada, denominada nesta pesquisa de E1, atua no segmento desde 2010, possui 40 funcionários, 120 sistemas fotovoltaicos homologados até a ocasião desta entrevista em novembro de 2018. A escala de atuação é predominantemente de microgeração, contudo possui capacidade para atender clientes interessados na minigeração. A empresa tem a sede localizada na cidade de São Paulo onde possui diversos sistemas homologados e outros ainda em fase de homologação. Executa também projetos em outras cidades. O profissional entrevistado nesta integradora, trabalha há 3 anos na empresa, ocupa posição de diretor e é graduado em engenharia com pós-graduação em gestão ambiental.

A segunda integradora entrevistada, denominada de E2, foi fundada em 2015, possui 8 funcionários e 25 sistemas homologados até novembro de 2018. Todos os sistemas homologados são de microgeração, mas a empresa também possui capacidade de atender clientes interessados na minigeração. A região de atuação é na cidade de São Paulo, mas executa também serviços em outros estados, especialmente no Mato Grosso onde possui uma parceria com outra integradora. A profissional entrevistada é graduada em engenharia, ocupa posição de diretora na empresa e trabalha desde a fundação em 2015.

A distribuidora de energia elétrica entrevistada, denominada de E3, possui atualmente mais de 7 milhões de clientes na região metropolitana da cidade de São Paulo e aproximadamente 23 mil funcionários. O profissional que concedeu a entrevista trabalha há 22 anos na empresa e ocupa posição gerencial, possui graduação em engenharia e pós-graduação em gestão empresarial. A entrevista foi concedida em novembro de 2018 e durou aproximadamente 45 minutos.

Em novembro de 2018 foram entrevistados 4 usuários de energia fotovoltaica na cidade de São Paulo, denominados E4, E5, E6 e E7. A duração média das entrevistas foi de 25 minutos e o perfil dos entrevistados pode ser verificado na Tabela 1.

Entrevistados	Idade	Gênero	Escolaridade	Profissão
E4	57	Masculino	Pós Graduado	Veterinário
E5	73	Masculino	Superior	Administrador
E6	51	Masculino	Superior	Empresário
E7	40	Masculino	Superior	Engenheiro

Tabela 1: Perfil dos entrevistados da pesquisa.

Fonte: Autor

Além dos principais envolvidos (consumidor, integrador e a distribuidora), foi possível identificar a participação de outros atores assim como a relação entre eles. O integrador é o único ator que possui relação direta com todos os envolvidos. Os fabricantes de equipamentos fotovoltaicos, a ANEEL, federação, estados e municípios estão também envolvidos com a energia fotovoltaica, mas participam de maneira passiva no dia a dia. Na figura 10 é possível identificar a relação direta e indireta entre os atores. As linhas pontilhadas representam uma possibilidade de relação.

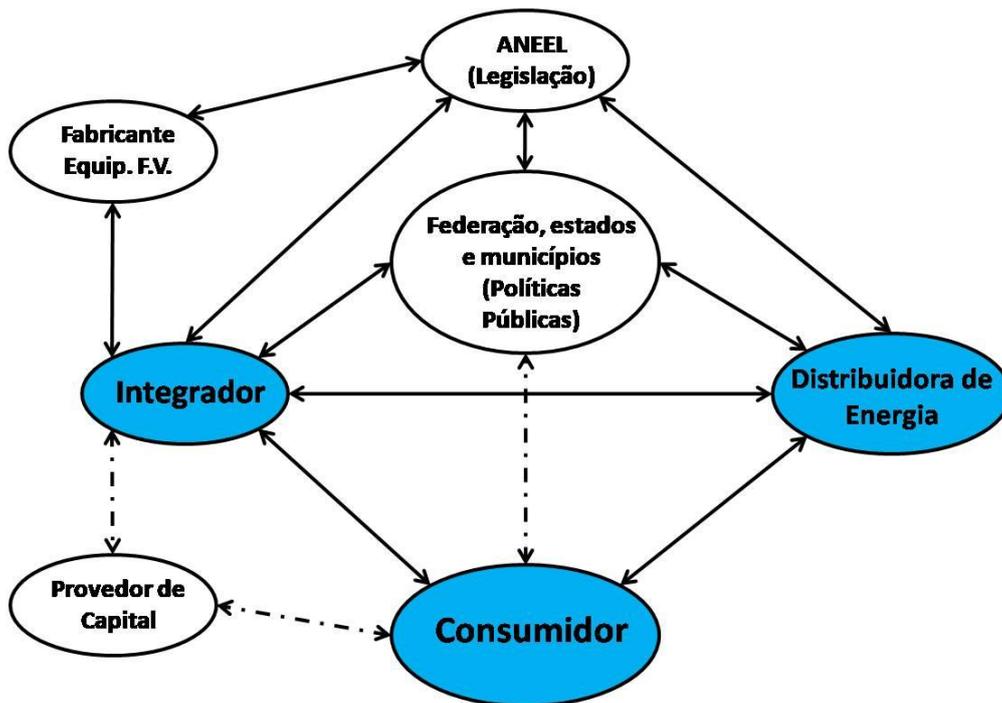


Figura 10: Principais envolvidos na geração fotovoltaica distribuída e a relação entre eles.

Fonte: Autor

A participação do cidadão comum na iniciativa de instalação dos sistemas fotovoltaicos foi percebida como fundamental na difusão desta fonte de energia. Alguns pesquisadores têm explorado também as motivações do consumidor ao fazer a opção de instalar um sistema fotovoltaico nos países europeus (Fleiss, 2016).

3.4.2 Instrumento de Coleta de Dados

Para complementar a avaliação do cenário paulistano, foi preparado um questionário para entrevistas semiestruturadas com os principais atores envolvidos na microgeração e minigeração de energia fotovoltaica distribuída, utilizando como base a matriz de amarração de Mazzon (Mazzon, 1981).

As figuras 11, 12 e 13 apresentam as questões que foram utilizadas para coleta dos dados primários por meio de entrevistas semiestruturadas com os usuários, integradores e distribuidora de energia fotovoltaica, respectivamente. As questões estão relacionadas com os objetivos específicos e foram formuladas com base em descobertas realizadas nas pesquisas bibliográficas.

Objetivo específico	Questões	Referencial teórico
Identificar os principais envolvidos no processo de geração e distribuição de energia fotovoltaica e a relação entre eles	Quem esteve diretamente envolvido com você no processo de viabilização e instalação do sistema fotovoltaico?	Fleiss, 2016; MME 2007; Keirstead, 2007; Zhai, 2011; Karakaya, 2015;
Identificar oportunidades e desafios na energia solar fotovoltaica	Como você ficou sabendo a respeito da possibilidade de instalar o sistema fotovoltaico em sua residência?	Service, 2005; Schiermeier et al., 2008; Fleiss, 2016; MME 2007; Keirstead, 2007; Zhai, 2011; Karakaya, 2015;
	Você teve dificuldade para aquisição do sistema fotovoltaico?	
	Entre os benefícios citados, qual o mais importante para a tomada de decisão na aquisição do sistema fotovoltaico?	
	Você teve dificuldade para interligar o sistema fotovoltaico a rede de energia?	
	Para você, quais os benefícios da utilização de energia solar fotovoltaica?	
	Você considera importante a redução da sua conta de energia elétrica ao utilizar o sistema fotovoltaico?	
	Qual importância você atribuiu para o retorno sobre o seu investimento ao adquirir e utilizar o sistema fotovoltaico?	
	Qual foi o tempo informado para retorno sobre o investimento (<i>payback</i>)?	
	Esta estimativa de retorno sobre o seu investimento está sendo cumprida em realidade?	
	Do seu ponto de vista de que maneira a utilização de energia solar fotovoltaica pode ajudar o meio ambiente?	
	Durante o processo de decisão de aquisição do sistema fotovoltaico, você considerou a possível valorização do imóvel após a instalação do sistema fotovoltaico?	
Você recomenda a instalação de um sistema fotovoltaica a um amigo ou familiar?		
Realizar um levantamento das ações e programas de incentivo à utilização de energia fotovoltaica na cidade de São Paulo	Você foi informado ou identificou algum subsídio tributário (redução de impostos) para aquisição do sistema fotovoltaico?	Li, 2016; MME 2007; Keirstead, 2007; Zhai, 2011; Karakaya, 2015;
	Você utilizou capital próprio ou alguma linha de crédito para aquisição do sistema de energia fotovoltaica?	
	Caso tenha utilizado uma linha de crédito a mesma possuía algum subsídio?	

Figura 11: Matriz de amarração para desenvolvimento do protocolo de pesquisa para os consumidores de energia fotovoltaica.

Objetivo específico	Questões	Referencial teórico
Identificar os principais envolvidos no processo de geração e distribuição de energia fotovoltaica e a relação entre eles	Quem são os principais envolvidos para a aquisição, instalação, implementação e projetos dos sistemas fotovoltaicos?	Fleiss, 2016; MME 2007; Keirstead, 2007; Zhai, 2011; Karakaya, 2015.
Identificar oportunidades e desafios na energia solar fotovoltaica	Por que você decidiu investir neste ramo?	Fleiss, 2016; MME 2007; Keirstead, 2007; Zhai, 2011; Karakaya, 2015; Sampaio & González, 2017; Machado & Miranda, 2015; ANEEL, 2017.
	Quando um cliente solicita um estudo de viabilidade técnica ou orçamento, quais os motivos mais comuns que inviabilizam novos projetos?	
	Qual o ponto mais valorizado pelos clientes na apresentação da proposta comercial?	
	Existem dificuldades técnicas para instalação dos sistemas fotovoltaicos?	
	Existem dificuldades do ponto de vista burocrático para instalação do sistema?	
	A tecnologia disponível é adequada? Caso negativo, onde poderiam ser melhoradas?	
Realizar um levantamento das ações e programas de incentivo à utilização de energia fotovoltaica na cidade de São Paulo	Qual você considera que possui maior potencial de mercado a ser desenvolvido, microgeração, minigeração ou usinas?	Li, 2016; MME 2007; Keirstead, 2007; Zhai, 2011; Karakaya, 2015.
	Existem subsídios tributários para aquisição de sistemas fotovoltaicos? Quais?	
	Existem linhas de crédito subsidiadas para aquisição de sistemas fotovoltaicos? Quais?	
	Existe algum subsídio para empresas integradoras	
	Quais são as oportunidades e desafio na energia solar fotovoltaica?	

Figura 12: Matriz de amarração para desenvolvimento do protocolo de pesquisa para o integrador de energia fotovoltaica.

Objetivo específico	Questões	Referencial teórico
Identificar os principais envolvidos no processo de geração e distribuição de energia fotovoltaica e a relação entre eles	Quem são os principais envolvidos nos projetos de sistemas fotovoltaicos?	Fleiss, 2016; MME 2007; Keirstead, 2007; Zhai, 2011; Karakaya, 2015.
Identificar oportunidades e desafios na energia solar fotovoltaica	Como é o procedimento de ligação de um sistema fotovoltaico interligado a rede?	Sampaio & González, 2017; MME 2007; ANEEL, 2017.
	Os sistema de microgeração ou minigeração distribuídas interferem de na distribuição de energia?	
	Os integradores realizaram um bom trabalho do ponto de vista técnico?	
	Os integradores realizam um bom trabalho do ponto de vista burocrático?	
	As resoluções normativa da ANEEL 482/2012 e 687/2015 são satisfatórias?	
	Quais são as oportunidades e desafios no mercado de energia solar fotovoltaica?	
Realizar um levantamento das ações e programas de incentivo à utilização de energia fotovoltaica na cidade de São Paulo	As políticas públicas são satisfatórias?	Li, 2016; MME 2007; Keirstead, 2007; Zhai, 2011; Karakaya, 2015.

Figura 13: Matriz de amarração para desenvolvimento do protocolo de pesquisa para distribuidora de energia elétrica.

3.5 Análise dos Dados

As entrevistas foram realizadas seguindo critérios cuidadosos definidos pela metodologia de estudo de caso, preocupando-se em não direcionar o estudo a uma posição preconcebida ou possibilitar a defesa de uma orientação, ocasionando desta forma um viés de pesquisa (Yin, 2015).

A triangulação dos dados provenientes das múltiplas fontes de evidência proporcionou várias avaliações do mesmo fenômeno, com o objetivo de assegurar a qualidade e confiabilidade das descobertas, como esquematizado na Figura 14 (Yin, 2015).

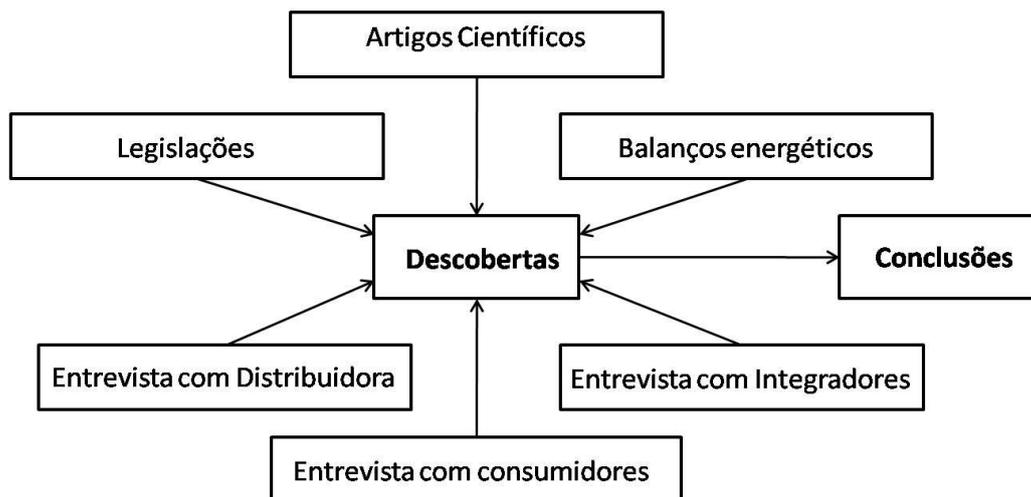


Figura 14: Triangulação de dados provenientes de múltiplas evidências.
Fonte: Autor, adaptado de Yin, 2015

4..RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo, foi abordada a Cadeia de Energia Fotovoltaica com o objetivo de contextualizar o cenário atual da geração distribuída no país e na cidade de São Paulo bem como a legislação e a relação entre integrador, consumidor e distribuidora de energia. Adicionalmente, o cenário internacional de utilização de energia fotovoltaica e as políticas públicas mais efetivas no mundo são também apresentadas e discutidas.

4.1 A Cadeia de Energia Fotovoltaica

Do ponto vista legal, a resolução normativa ANEEL 482/2012 fundamentou as diretrizes da geração distribuída no país e com a modernização da legislação por meio da resolução normativa ANEEL 687/2015, o país deu importante passo reafirmando a importância desta fonte de energia, pois ampliou e melhorou as condições dos usuários da geração distribuída.

Posturas de órgãos reguladores do país que ampliam regulamentações são importantes e dão segurança para o desenvolvimento, ampliação e investimentos no mercado. Segundo dados do Balanço Energético Nacional 2018, a energia fotovoltaica cresceu 875%, e foi mais uma vez a fonte energética com o maior crescimento percentual entre todas as fontes (MME, 2018).

A utilização dos sistemas fotovoltaicos possuem aspectos positivos que vão além da produção de energia limpa, pois diversificam a matriz energética e geram elevado número de empregos (Karakaya & Sriwannawit, 2015).

Desta maneira, o Brasil também começa a observar a energia fotovoltaica além da geração energética distribuída, pois possui um mercado formal dedicado às diversas operações logísticas e comerciais envolvidas, desde a prospecção do cliente, estudo de viabilidade e dimensionamento do sistema fotovoltaico, comercialização dos equipamentos e instalação dos sistemas fotovoltaicos.

Além das questões diretamente relacionadas à comercialização e instalação dos sistemas fotovoltaicos, existe também um mercado de cursos de aprendizagem, treinamentos e manutenção especialmente voltados ao mercado fotovoltaico que demanda mão de obra especializada e constante aperfeiçoamento em função das novidades e mudanças tecnológicas.

Os avanços tecnológicos, associados ao aumento de produção e vendas dos sistemas fotovoltaicos nos últimos anos também proporcionaram escala a esta tecnologia, que teve seu preço diminuído nos últimos anos e pôde ser percebido por muitos

consumidores como uma tecnologia mais acessível e confiável (Fleiss, Hatzl, Seebauer & Posch, 2017).

Assim, com a recente redução dos custos dos sistemas fotovoltaicos, a utilização passou a ser também interessante do ponto de vista financeiro. Este fenômeno foi notado nos discursos dos usuários de energia fotovoltaica quando os mesmos relataram que tinham interesse na aquisição do sistema. Porém, ao identificarem que o sistema tinha um *payback* ou um retorno sobre o investimento dentro de um horizonte de médio prazo, estimado em aproximadamente 5 ou 6 anos utilizando o *payback* simples, o investimento fazia sentido também do ponto de vista financeiro.

Apesar das reduções de custos dos sistemas fotovoltaicos, a ausência de subsídios financeiros continua restringindo o acesso a esta tecnologia. Devido às vantagens ambientais, sociais e econômicas dos sistemas fotovoltaicos, subsídios ofertados às tradicionais fontes de geração de energia poderiam ser oferecidos para energia fotovoltaica como acontece com os juros subsidiados disponíveis para construção de grandes hidrelétricas (Mitscher & Ruther, 2012).

As resoluções normativas da ANEEL estabeleceram parâmetros que devem ser respeitados pelos geradores, integradores e distribuidoras que estão fortemente ligados no processo de geração distribuída. Questões como prazos, parâmetros técnicos, dimensionamentos, segurança, entre outras questões relevantes foram contempladas pelas resoluções normativas e diminuíram impasses da cadeia de geração distribuída.

4.1.1 Papel dos Integradores na Comercialização dos Sistemas Fotovoltaicos

O mercado de atuação dos integradores pode ser considerado relativamente recente no país, pois somente em 2012, com a regulamentação da resolução normativa 482/2012 foi possível desenvolver um trabalho assim como realizar investimentos com relativa segurança jurídica. Apesar dos avanços regulatórios, muitas instituições financeiras consideram ainda um setor de baixa maturidade para investimentos mais expressivos (Thormann, Cortimiglia & Todeschini, 2017).

O setor de integração de energia fotovoltaica é considerado emergente e diferentes modelos de negócios surgem com a intenção de criar e agregar valor para seus clientes por meio de uma articulação lógica, valorizando os aspectos positivos dos elementos envolvidos no negócio (Thormann *et. al.*, 2017).

Como observado nas entrevistas e literatura, o integrador é responsável pela comercialização, avaliação da viabilidade técnica do projeto de instalação do sistema fotovoltaico assim como da avaliação das condições da edificação, posicionamento das placas fotovoltaicas, dimensionamento do sistema e sua instalação.

O integrador realiza também o processo burocrático necessário para interligar o novo sistema fotovoltaico com a distribuidora. Este relacionamento do integrador com a distribuidora de energia é tão importante quanto o relacionamento técnico e comercial estabelecido com usuário do sistema fotovoltaico.

Este relacionamento com a distribuidora talvez não seja notado pelos usuários uma vez que relatam de maneira geral que a interligação foi simples, mas por trás desta simplicidade existe uma equipe empenhada com prazos e normas a fim de atender as necessidades dos clientes e das distribuidoras.

Segundo estudos realizados no mercado, há uma estimativa que aproximadamente quatro mil empresas integradoras atuam no mercado de energia fotovoltaica no Brasil, mas apenas uma pequena parcela possui demanda suficiente para realizar a aquisição dos equipamentos diretamente dos fabricantes. Assim, a maior parcela dos integradores realizam a aquisição dos equipamentos com distribuidoras de equipamentos fotovoltaicos (Greener, 2018).

Aproximadamente 50% das sedes das empresas integradoras brasileiras estão situadas na região sudeste do país, e essa concentração diminuiu no último ano em função do deslocamento de diversas empresas para o sul do país. Contudo, as empresas continuam atuando em São Paulo e em Minas Gerais, regiões que concentram aproximadamente 46% dos negócios deste setor (Greener, 2018).

4.1.2 Papel da Distribuidora de Energia Elétrica na Geração Distribuída de Energia Fotovoltaica

A distribuidora é o ator responsável por receber e distribuir toda energia produzida pelos sistemas fotovoltaicos interligados à rede de distribuição. Além destes novos sistemas, as tradicionais fontes de geração de energia como a hidroelétrica e termoeétrica também estão interligadas à mesma rede de distribuição.

A interligação do sistema de distribuição elétrica do país é um dos maiores do mundo e possui capacidade instalada superior a 130 GW. O sistema de interligação é considerado de elevada complexidade e devido às características de nossa matriz energética é possível observar grandes perdas de energia durante a transmissão. Assim, sistemas fotovoltaicos de geração distribuída podem auxiliar com a diminuição dos desperdícios, pois a geração está próxima ao consumo, poupando água das hidroelétricas durante o dia (Dalvi *et. al.*, 2015).

As distribuidoras têm papel ativo no dia a dia das unidades que apenas consomem energia, assim como daquelas que além de consumir, também geram e compartilham sua energia. Elas administram, executam a manutenção e garantem a transmissão de energia a todas as unidades.

Além desses compromissos, dependendo da potência instalada de microgeração ou minigeração distribuída em uma determinada região, a distribuidora de energia poderá precisar investir em um gerenciamento inteligente da rede, conhecido internacionalmente como *smartgrid*, assim como em dispositivos especiais de segurança, proteção das redes, instalações e pessoas (Melo Filho & Lopes, 2015).

Os investimentos em *smartgrid* ainda são pouco expressivos no Brasil, limitados a um pequeno número de projetos piloto. Os diversos estudos patrocinados pelo governo e por empresas privadas pesquisam eficiência energética, desenvolvimento de energias renováveis, redução de perdas e aumento de confiabilidade das redes de transmissão (Melo Filho & Lopes, 2015).

Assim, é possível observar a distribuidora atuando de forma relativamente passiva na difusão da energia fotovoltaica e executando as interligações das novas unidades consumidoras quando recebe a solicitação. Executa ainda os procedimentos técnicos e cumpre os prazos descritos na resolução normativa 482/2012 e 687/2015 da ANEEL.

4.1.3 Papel do Consumidor na Geração e Distribuição de Energia Fotovoltaica

O consumidor de energia elétrica é um grande protagonista entre os atores envolvidos na expansão da energia fotovoltaica distribuída. Do ponto de vista legal, a legislação brasileira autoriza a geração distribuída apenas a partir de uma unidade consumidora.

Portanto, áreas urbanas apresentam um elevado potencial de desenvolvimento em função da elevada densidade populacional, com alta capacidade de produção e consumo de energia fotovoltaica distribuída. Sendo assim, os benefícios característicos desta tecnologia podem ser maximizados, evitando por exemplo, os desperdícios de transmissão uma vez que a energia é produzida e consumida na mesma região (Castellanos, Sunter & Kammen, 2017).

Do ponto de vista financeiro, a decisão pela aquisição do sistema fotovoltaico é realizada pelo consumidor, o qual avalia a relação de custo x benefício, disponibiliza capital e uma determinada área de sua propriedade para instalação do sistema.

Os valores para aquisição dos sistemas fotovoltaicos têm diminuído nos últimos anos em função do aprimoramento tecnológico e escala de produção. Esse decréscimo nos custos também foi observado pelos consumidores e contribuiu para adoção desta tecnologia (Karakaya & Sriwannawit, 2015).

Apesar dos usuários de energia fotovoltaica não se relacionarem diretamente com os órgãos de regulamentação e com os fabricantes dos equipamentos fotovoltaicos,

relatam que consideram importante e que consultaram a legislação para se certificar que o integrador seja capaz de cumprir o prometido.

Informam também que a presença de marcas consagradas do ponto de vista do usuário, entre os componentes dos sistemas fotovoltaicos trazem credibilidade aos sistemas fotovoltaicos.

Identifica-se internacionalmente que o retorno financeiro sobre o investimento representa uma das principais motivações para a instalação do sistema fotovoltaico, contudo questões de motivação ambiental contribuem de maneira favorável e funcionam como um incentivo secundário na tomada de decisão na aquisição de um sistema fotovoltaico (Fleiss, 2016).

Em 2014, com o objetivo de realizar um ajuste da legislação, a ANEEL realizou uma pesquisa com consumidores que tinham instalado sistemas fotovoltaicos e observou que para 45% dos entrevistados a maior motivação foram os benefícios ambientais (Silva & Silva, 2015).

Ao observar os relatos dos consumidores entrevistados neste trabalho, foi possível observar que a motivação ambiental para aquisição dos sistemas é um importante fator de tomada de decisão. O retorno sobre o investimento também possui relevância para os usuários de energia fotovoltaica, contudo o retorno financeiro é citado pelos entrevistados como benefício interessante quando associado aos benefícios ambientais.

4.2 Cenário da Energia Fotovoltaica no Mundo

É possível identificar no cenário internacional diversas modalidades de subsídios para incentivar a utilização de energia fotovoltaica. O sistema de FIT é um dos programas mais adotados no mundo e é considerado como um dos principais incentivos responsáveis pela expansão desta tecnologia atualmente (Dalvi, *et. al.*, 2017).

Ao avaliar a efetividade do programa de FIT em relação ao RPS no Reino Unido, é possível identificar que a modalidade de FIT é especialmente interessante para energia fotovoltaica, pois o prêmio pago pela energia gerada a partir do sistema fotovoltaico encoraja a evolução tecnológica de eficiência de conversão de radiação solar em energia elétrica assim como na busca de equipamentos mais econômicos para maximizar o retorno sobre o investimento (Li *et. al.*, 2017).

O sistema de RPS é mais efetivo para controle dos custos das políticas públicas de incentivos porque ao validar as cotas geradas a partir das fontes renováveis, é possível manter o controle direto sobre as capacidades instaladas e indiretamente controlar os custos repassados para os consumidores, sendo este sistema mais efetivo para energia eólica (Li *et. al.*, 2017).

No Japão, especialmente após o desastre da usina nuclear e Fukushima, ocorreu um aumento por energias produzidas a partir de fontes renováveis. Em 2012, o Japão também adotou o sistema de FIT, instituindo a obrigatoriedade a partir de 2014 para distribuidoras de energia comprarem toda energia produzida a partir de fontes renováveis geradas em unidade com capacidade instalada de até 30MW (Dalvi, Oliveira Filho & Rodrigues, 2017).

Esse sistema impulsionou as instalações de sistemas fotovoltaicos no Japão, especialmente os sistemas não residenciais em função do elevado prêmio pago pela FIT. Entretanto, o país vem enfrentado atualmente outro desafio em função do baixo nível de interligação da rede de distribuição elétrica sendo que a capacidade de receber energia elétrica distribuída está próxima do máximo aceitável em algumas regiões (Dalvi *et.al.*, 2017).

A Alemanha foi até 2014 o país com a maior capacidade instalada de energia fotovoltaica no mundo. O sistema alemão de FIT foi copiado mundialmente e utilizado como referência de expansão da tecnologia fotovoltaica. Contudo, mudanças nas políticas públicas a partir de 2012 começaram a modificar o panorama do país. Os compromissos, inicialmente firmados com os primeiros usuários de energia fotovoltaica, que garantiam por 20 anos um bom prêmio para energia produzida a partir de fonte renovável não foi aplicada aos novos usuários (Wittenberg & Matthies, 2016).

Assim como na Alemanha, outros países da Europa, Austrália e regiões dos Estados Unidos da América onde o sistema de FIT não oferece mais um prêmio para a energia produzida a partir de uma fonte renovável como a fotovoltaica, a energia produzida por fontes renováveis respeita os preços impostos pelo mercado, obedecendo a lei da oferta e procura. Nessas regiões, alternativas aos sistemas convencionais de energia fotovoltaica vêm sendo estudados e alternativas de armazenagem de energia têm se mostrado atrativas do ponto de vista financeiro (Hesse, Martins, Musilek, Naumann, Truong & Jossen, 2017).

Um dos sistemas utilizados é denominado na Europa de PV-BESS e tem recebido crescente atenção conforme o número de instalações vêm aumentando. A viabilidade econômica do sistema depende das legislações vigentes do país, da escolha correta da bateria assim como do dimensionamento e operação do sistema (Hesse, *et. al.*, 2017).

A Alemanha é notadamente ainda um dos países que mais investe na exploração de energias renováveis no mundo, incluindo a sua armazenagem em diferentes escalas. Desde 2013 o banco estatal alemão garante empréstimos com juros subsidiados para sistemas PV-BESS, além dos juros subsidiados disponíveis para aquisição deste sistema pelo Ministério Federal de Cooperação e Desenvolvimento Econômico que paga 30% do valor das baterias de armazenamento. Estima-se que aproximadamente 34 mil sistemas PV-BESS foram instalados até janeiro de 2016 (Rujula, *et. al.*, 2017).

Na Espanha, o programa de incentivo à energia fotovoltaica iniciou em 1998 com a publicação do Decreto Real (RD) 281/1998. Após a publicação deste decreto, houve

atualizações em 2004, 2007 e 2008, mas em 2012 as condições foram drasticamente modificadas e as políticas de subsídios à energia fotovoltaicas foram retiradas. Em uma direção oposta a todas as políticas mundiais de produção de energia limpa, em 2015, a Espanha proibiu a armazenagem de energia solar em baterias, mas neste mesmo ano revisou a legislação permitindo o armazenamento de energia solar em baterias, contudo para essa energia armazenada, foi instituída uma taxa que ficou popularmente conhecida como Imposto do Sol. A associação espanhola de energia fotovoltaica lamenta as decisões e comenta que as atitudes desencorajam a utilização dos sistemas fotovoltaicos (Rujula, *et. al.*, 2017).

4.3 Cenário da Energia Fotovoltaica na Cidade de São Paulo

A cidade São Paulo possui atualmente 459 instalações de sistemas fotovoltaicos com geração distribuída, com um total de 3.387 kW de potência instalada, ocupando a segunda posição entre as cidades do estado de São Paulo (http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_estadual_detalhe.asp?uf=SP, recuperado em 17/11/2018).

A cidade de Campinas apresentou o maior número de sistemas fotovoltaicos interligados à rede, com 763 instalações e potência instalada de 3.647 kW. O Ranking das 10 cidades do estado de São Paulo em número de instalações fotovoltaicas interligadas a rede está descrita na Tabela 2.

Cidade	Número de Instalações
Campinas	763
São Paulo	459
São Jose do Rio Preto	256
Atibaia	246
Ribeirão Preto	220
Bauru	194
Presidente Prudente	186
Limeira	181
São José dos Campos	151
Rio Claro	136

Tabela 2: Ranking das 10 cidades do estado de São Paulo em número de instalações fotovoltaicas interligadas a rede.

Fonte: http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_estadual_detalhe.asp?uf=SP, recuperado em 17/11/2018.

Segundo informações disponíveis no site da ANEEL, a primeira ligação de sistema fotovoltaico interligado à rede ocorreu em 2014, ano em que foi registrado apenas 1 ligação. A evolução pode ser verificada na Tabela 3.

Ano	Número de Instalações
2014	1
2015	12
2016	117
2017	149
2018	180 (até 31/10/2018)

Tabela 3: Evolução dos sistemas fotovoltaicos interligados à rede.

Fonte: ANEEL, (compilação dos dados realizada pelo autor).

Do ponto de vista da radiação solar, o estado de São Paulo possui boas médias de radiação solar, algumas regiões no norte do estado possuem condições bem próximas às encontradas na região nordeste do país, considerada por especialistas como uma das regiões mais favoráveis para o desenvolvimento desta fonte de energia (Figura 15).

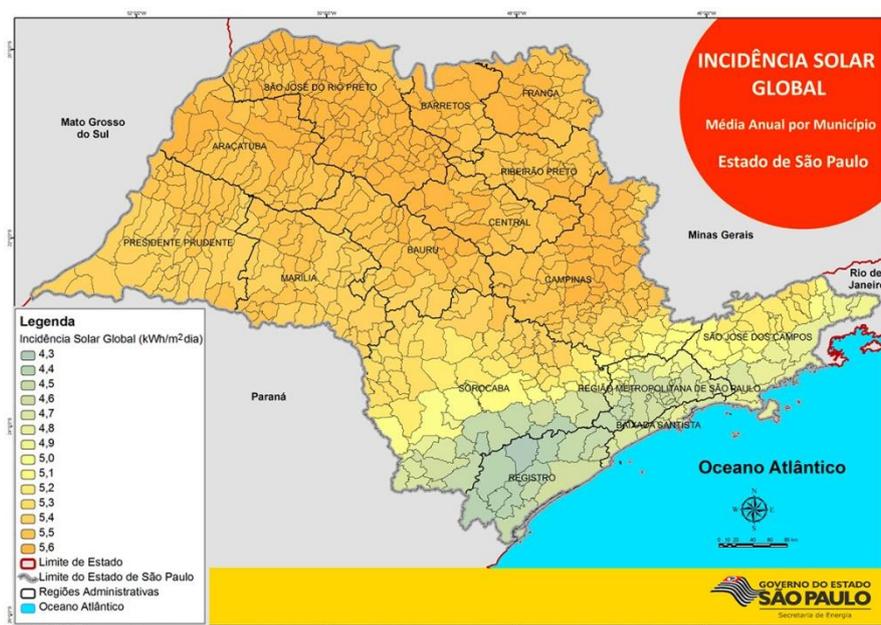


Figura 15: Média anual da incidência de radiação solar no estado de São Paulo.

Fonte: Energia Solar Paulista, 2013.

A região metropolitana da cidade de São Paulo não é tão favorecida pela radiação solar como a região norte do estado devido à elevada nebulosidade que ocorre em determinadas épocas do ano. Entretanto, a média anual de radiação solar na cidade de São Paulo é superior à média de importantes polos de geração de energia fotovoltaica da Europa (Figura 16).



Figura 16: Média da radiação solar anual na região metropolitana de São Paulo.
 Fonte: Energia Solar Paulista, 2013.

Segundo informações dos integradores, apesar da cidade de São Paulo possuir níveis de radiação solar interessantes do ponto de vista de geração fotovoltaica, características como a elevada verticalização da cidade, assim como a proximidade das edificações, dificultam a expansão desta tecnologia. Eles relatam que é necessária uma avaliação para cada projeto, pois dependendo da sombra ocasionada pelas edificações vizinhas ao interessado na aquisição do sistema fotovoltaico, o projeto pode se tornar muito caro, pois necessitará de um maior número de placas fotovoltaicas para ter a mesma eficiência de uma região sem sombra.

Ao realizar o levantamento nos sites oficiais da prefeitura da cidade de São Paulo, não foi possível identificar programas de incentivo à utilização de energia fotovoltaica para os cidadãos, assim como não foram encontradas resoluções que exijam a utilização de energia fotovoltaica nos empreendimentos públicos e privados da cidade. Ao consultar os consumidores, integradores e a distribuidora de energia da capital paulista, foi possível confirmar os resultados de ausência de políticas públicas no município de São Paulo.

4.4 Entrevistas com os Integradores de Energia Fotovoltaica

Para avaliação do papel dos integradores dentro da Cadeia de Energia Fotovoltaica na cidade de São Paulo bem como compreender o relacionamento dos mesmos com os consumidores e distribuidores de energia, foram realizadas duas entrevistas, às quais estão resumidas nos quadros 1 e 2.

Quadro 1 - Síntese da entrevista realizada com o integrador E1.

Perguntas	Pontos importantes
1) Por que você decidiu investir neste ramo?	Em 2010 quando a empresa foi fundada, os donos identificaram uma oportunidade de negócio em franca expansão mundial, mas ainda em estado bem inicial no país, que além de uma oportunidade de negócio, trazia a possibilidade de atuar em um segmento ligado com as crenças pessoais dos donos.
2) Quem são os principais envolvidos para a aquisição, instalação, implementação e projetos dos sistemas fotovoltaicos?	O cliente e a distribuidora de energia
3) Quando um cliente solicita um estudo de viabilidade técnica ou orçamento, quais os motivos mais comuns que inviabilizam novos projetos?	O preço do sistema fotovoltaico e a dificuldade de financiamento são os motivos que mais inviabilizam os novos projetos de sistemas fotovoltaicos
4) Qual o ponto mais valorizado pelos clientes na apresentação da proposta comercial?	A proposta comercial não tem um ponto mais valorizado, ela é estruturada para contextualizar os diversos aspectos que são importantes para o cliente. A proposta inicia com um texto explicativo esclarecendo diversos aspectos da energia fotovoltaica, logo em seguida faz uma contextualização dos benefícios ambientais proporcionados, depois faz um demonstrativo do retorno sobre o investimento e finaliza detalhando o sistema fotovoltaico dimensionado com o valor do investimento para aquisição do sistema fotovoltaico
5) Existem dificuldades técnicas para instalação dos sistemas fotovoltaicos?	A diversidade dos tipos de telhados e telhas é atualmente uma dificuldade para instalação dos sistemas fotovoltaicos
6) Existem dificuldades do ponto de vista burocrático para instalação do sistema?	Sim, o relacionamento com a distribuidora é um pouco complicado

7) A tecnologia disponível é adequada? Caso negativo, onde poderiam ser melhoradas?	Sim, a tecnologia é adequada
8) Qual você considera que possui maior potencial de mercado a ser desenvolvido, microgeração, minigeração ou usinas?	Microgeração, especialmente nas grandes cidades ou metrópoles como a cidade de São Paulo onde as casas possuem telhados menores, suficientes para uma microgeração
9) Existem subsídios tributários para aquisição de sistemas fotovoltaicos? Quais?	Sim, isenção de ICMS para aquisição das placas fotovoltaicas e todos os periféricos necessários na geração fotovoltaica, desde que faturados na mesma nota fiscal que os painéis fotovoltaicos.
10) Existem linhas de crédito subsidiadas para aquisição de sistemas fotovoltaicos? Quais?	Sim, algumas linhas de crédito para pessoa jurídicas, mas em geral muito burocráticas e demoradas
11) Existe algum subsídio para empresas integradoras	Não
12) Quais são as oportunidades e desafio na energia solar fotovoltaica?	A principal oportunidade está relacionada ao elevado crescimento do mercado. Um dos maiores desafios é a elevada competição entre os integradores, devido ao aumento do número de integradores nos últimos anos.

Quadro 2- Síntese da entrevista realizada com o integrador E2.

Perguntas	Pontos importantes
1) Por que você decidiu investir neste ramo?	Em 2014 quando resolvi empreender, procurei um negócio que combinasse boas expectativas de crescimento e que estivesse alinhado com meu perfil. Encontrei no neste segmento bons motivos para empreender.
2) Quem são os principais envolvidos para a aquisição, instalação, implementação e projetos dos sistemas fotovoltaicos?	A distribuidora de energia e o cliente
3) Quando um cliente solicita um estudo de viabilidade técnica ou orçamento, quais os motivos mais comuns	Muitos clientes comentam que o tempo do retorno sobre o investimento ainda é muito demorado, comentam também que não tem segurança do marco regulatório. Talvez o governo devesse fazer alguma campanha afirmando os compromissos assumidos em relação a geração distribuída.

que inviabilizam novos projetos?	
4) Qual o ponto mais valorizado pelos clientes na apresentação da proposta comercial?	A seriedade da empresa em cumprir os compromissos assumidos em contrato
5) Existem dificuldades técnicas para instalação dos sistemas fotovoltaicos?	Hoje em dia não, mas no início eu tinha que acompanhar a equipe de perto porque foi difícil encontrar mão de obra especializada. Hoje eles estão bem treinados e em geral não temos dificuldades.
6) Existem dificuldades do ponto de vista burocrático para instalação do sistema?	Sim, temos dificuldade no relacionamento com a distribuidora
7) A tecnologia disponível é adequada? Caso negativo, onde poderiam ser melhoradas?	Sim, a tecnologia é adequada
8) Qual você considera que possui maior potencial de mercado a ser desenvolvido, microgeração, minigeração ou usinas?	A microgeração é a que possui maior potencial de mercado, mas a minigeração é a mais interessante para a empresa integradora, pois o retorno financeiro é maior e as instalações maiores dão visibilidade para a empresa.
9) Existem subsídios tributários para aquisição de sistemas fotovoltaicos? Quais?	Sim, isenção de ICMS na aquisição dos sistemas fotovoltaicos
10) Existem linhas de crédito subsidiadas para aquisição de sistemas fotovoltaicos? Quais?	Existem linhas disponíveis, mas desconheço alguém que conseguiu comprar com uma linha específica para energia fotovoltaica. Nós dividimos o pagamento em até 3 vezes sem juros para os clientes.
11) Existe algum subsídio para empresas integradoras	Não
12) Quais são as oportunidades e desafios na energia solar fotovoltaica?	A maior oportunidade é a expectativa de crescimento, mas existe hoje em dia muita competição. Muitas vezes os clientes não conhecem as marcas dos produtos e fica difícil explicar que trabalhamos com equipamentos de qualidade certificada e que talvez nosso sistema fique um pouco mais caro, mas que o custo benefício vale a pena. Por exemplo, desde 2015 quando iniciamos nossas atividades, nenhum dos sistemas instalados precisou de manutenção

Após a análise dos relacionamentos estabelecidos entre os principais envolvidos na geração de energia fotovoltaica distribuída, é possível notar que o integrador estabelece diferentes papéis dentro da cadeia e está diretamente ligado aos principais envolvidos,

desde a análise de viabilidade técnica e legislação, até a instalação e homologação do sistema junto à concessionária

Uma premissa básica para o integrador é conhecer a fundo o que estabelece as resoluções normativas a fim de oferecer um projeto que se enquadre nas características permitidas pela lei, assim como dentro das especificações técnicas de dimensionamento e segurança.

Assim, os integradores ressaltam a importância da resolução normativa 482/2012 e da 687/2015 que possibilitaram a criação do mercado existente hoje de energia fotovoltaica distribuída, apesar de não contemplarem subsídios financeiros aos interessados na aquisição dos sistemas fotovoltaicos. Comentam também que algumas cláusulas destas legislações não são muito claras, como a aplicação do ICMS apenas sobre a diferença de energia faturada, que ainda não foi aceita em alguns estados.

O relacionamento com a distribuidora de energia é moroso e apesar da distribuidora respeitar os prazos, é comum que a obrigatoriedade se cumpra no prazo máximo permitido. Os integradores relatam também que é possível buscar informações nas distribuidoras, contudo não existe uma postura de encorajamento ou incentivo para adoção desta tecnologia.

O integrador também estabelece relacionamento comercial com os fabricantes e distribuidores dos equipamentos dos sistemas fotovoltaicos e menciona uma enorme diversidade de marcas e modelos. Os painéis fotovoltaicos possuem um grupo de aproximadamente 10 fabricantes classificados pelo mercado como “Tier 1”, ou seja, painéis de primeira qualidade com eficiência de conversão e preço aproximados.

Uma grande preocupação dos integradores, ainda na escolha dos equipamentos, é com relação ao inversor utilizado. Segundo os integradores, os poucos problemas que eventualmente ocorrem nos sistemas fotovoltaicos, normalmente ocorrem no inversor, por isso os mesmos costumam trabalhar com marcas que apesar de serem um pouco mais caras tem boa relação de custo x benefício.

O relacionamento inicialmente estabelecido com o cliente é muito importante, dada a elevada competitividade do setor. É importante ainda que o cliente tenha confiança que o integrador seja capaz de entregar o que foi prometido, e assim, a postura e conhecimento técnico do vendedor se fazem importante desde o início do relacionamento.

Apesar do crescimento do mercado trazer boas expectativas de ganhos para os integradores, a dificuldade de acesso a financiamentos e um *payback* de médio prazo aparecem como as principais barreiras para uma penetração maior desta tecnologia no país.

Além destas barreiras, os integradores também comentam que devido à ausência de campanhas de incentivo à utilização de energia fotovoltaica, muitos interessados têm baixa confiança de continuidade da legislação e na segurança no funcionamento do sistema fotovoltaico.

4.5 Entrevista com a Distribuidora de Energia Elétrica

Para avaliação do papel da Distribuidora de Energia Elétrica dentro da Cadeia de Energia Fotovoltaica distribuída na cidade de São Paulo, foi realizada uma entrevista, a qual está resumida no quadro 3.

Quadro 3 - Síntese da entrevista realizada com a distribuidora de energia elétrica E3.

Perguntas	Pontos importantes
1) Quem são os principais envolvidos nos projetos de sistemas fotovoltaicos?	Nossas equipes, os consumidores, os integradores e em determinadas ocasiões a ANEEL.
2) Como é o procedimento de ligação de um sistema fotovoltaico interligado a rede?	O procedimento de ligação das unidades consumidoras que instalaram o sistema fotovoltaico atualmente é considerado comum, realizado por um departamento responsável por estes assuntos. Internamente existe um boletim informativo, que é semelhante a uma cartilha, lá nossos funcionários podem encontrar os parâmetros técnicos necessários para interligação assim como os prazos a serem respeitados para cada procedimento. Contudo, foi necessário muito treinamento e curiosamente um departamento que é muito consultado a respeito deste assunto é o departamento de atendimento a clientes que precisou receber um treinamento especial para atender interessados neste tipo de tecnologia.
3) Os sistemas de microgeração ou minigeração distribuídas interferem na distribuição de energia?	Não, os sistemas de maneira geral não trazem prejuízo à distribuição, contudo os sistemas de minigeração demandam um estudo um pouco mais aprofundado da região para evitar possíveis problemas. É importante mencionar que tivemos que modificar nossos procedimentos de segurança operativa para a manutenção da rede de transmissão de energia, em função da geração distribuída, pois agora a rede recebe energia de vários pontos. Atualmente, as equipes já possuem treinamento e este procedimento de segurança é normalmente realizado.
4) Os integradores realizaram um bom trabalho do ponto de vista técnico?	Sim, realizam um bom trabalho. Eventualmente é necessário solicitar alguma modificação. De maneira geral cumprem os prazos.

5) Os integradores realizam um bom trabalho do ponto de vista burocrático?	Sim, melhorou muito nos últimos anos
6) As resoluções normativas da ANEEL 482/2012 e 687/2015 são satisfatórias?	Satisfatória para o momento, contudo é importante lembrar que ajustes são necessários com o tempo em função da dinâmica do mercado
7) As políticas públicas são satisfatórias?	Desconheço políticas públicas voltadas ao setor de distribuição de energia
8) Quais são as oportunidades e desafios no mercado de energia solar fotovoltaica?	<p>As empresas de distribuição entendem que precisam ser mais que uma distribuidora de energia, possivelmente oferecendo outros serviços e produtos dentro do permitido pela legislação local, afinal possuímos acesso a uma grande base de clientes.</p> <p>Normalmente as distribuidoras de energia pertencem a um grupo que possui outras empresas, muitas vezes essas empresas trabalham em segmentos complementares e o relacionamento entre elas é estimulado. Este tipo de relação pode de alguma maneira trazer novos negócios para as duas empresas.</p> <p>Por exemplo, um grande cliente logístico pode ter um telhado capaz de instalar uma quantidade muito grande de placas fotovoltaicas para produção de energia solar, talvez uma empresa do grupo tenha permissão de produzir e comercializar esta fonte de energia. Por que não juntar as duas empresas evitando assim gastos com arrendamento de terras e ainda distribuir a energia?</p>

A distribuidora de energia entrevistada relata que a geração de energia fotovoltaica distribuída é uma realidade internacional e que eles acreditam que o Brasil caminha no mesmo sentido, e desta forma, foi criado um departamento dentro da distribuidora que cuida especificamente destas questões.

O entrevistado comentou que o departamento de atendimento ao cliente também precisou se adequar a esta nova realidade brasileira e diversos treinamentos foram ministrados aos colaboradores para que possam fornecer informações precisas aos usuários e interessados nesta modalidade de geração e consumo.

Segundo o entrevistado, as resoluções normativas 482/2012 e 687/2015 foram importantes para fornecer parâmetros a todos os envolvidos no sistema de geração distribuída, mas devido à dinâmica do setor e às constantes evoluções tecnológicas, são necessários ajustes periódicos na legislação, conforme previsto para 2019.

Ao comentar a respeito da geração distribuída, foi relatado que a microgeração e a minigeração não causam interferência nem prejudicam a transmissão de energia, mas para a minigeração é necessário um estudo prévio para verificar a capacidade de

transmissão da região. A maior modificação causada pelos sistemas de geração distribuída foi no procedimento de manutenção da rede de transmissão, o qual precisou ser modificado devido às características da geração distribuída.

A distribuidora menciona também que os integradores, de maneira geral, realizam um bom trabalho do ponto vista técnico e burocrático. Quando precisam realizar ajustes são notificados e costumam cumprir prazos.

A distribuidora entende que por pertencer a um grupo de empresas, existem oportunidades previstas pela legislação para oferecer mais que o serviço de distribuição de energia aos clientes e ainda buscar maneiras em que empresas do grupo possam desenvolver atividades complementares como produção de energia renovável e transmissão.

4.6 Entrevistas com os Usuários de Energia Fotovoltaica

Para analisar os motivos relacionados com a aquisição da Energia Fotovoltaica pelos usuários na cidade de São Paulo, foram realizadas quatro entrevistas, as quais estão resumidas nos quadros 4, 5, 6 e 7.

Quadro 4- Síntese da entrevista realizada com o usuário E4.

Perguntas	Pontos importantes
1) Como você ficou sabendo a respeito da possibilidade de instalar o sistema fotovoltaico em sua residência?	Eu acompanho faz um bom tempo por diversos veículos de comunicação
2) Quem esteve diretamente envolvido com você no processo de viabilização e instalação do sistema fotovoltaico?	O integrador
3) Você teve dificuldade para aquisição do sistema fotovoltaico?	Não
4) Você teve dificuldade para interligar o sistema fotovoltaico a rede de energia?	Sim, durante a última etapa onde a concessionária de energia marcou 3 vezes para trocar o relógio tradicional por um bidirecional e não apareceu sem dar satisfação.
5) Para você, quais os benefícios da utilização	Ambiental e um retorno sobre o investimento de médio prazo

de energia solar fotovoltaica?	
6) Entre os benefícios citados, qual o mais importante para a tomada de decisão na aquisição do sistema fotovoltaico?	Ambiental / ecológico
7) Você considera importante a redução da sua conta de energia elétrica ao utilizar o sistema fotovoltaico?	Sim
8) Qual importância você atribui para o retorno sobre o seu investimento ao adquirir e utilizar o sistema fotovoltaico?	Relevante, ajuda muito, mas a questão ambiental é a mais importante
9) Qual foi o tempo informado para retorno sobre o investimento (<i>payback</i>)?	6 anos
10) Esta estimativa de retorno sobre o seu investimento está sendo cumprida em realidade?	Sim, provavelmente antes de 6 anos.
11) Do seu ponto de vista de que maneira a utilização de energia solar fotovoltaica pode ajudar o meio ambiente?	Diminuindo a emissão de carbono, aquecimento global e diversificando a matriz energética.
12) Durante o processo de decisão de aquisição do sistema fotovoltaico, você considerou a possível valorização do imóvel após a instalação do sistema fotovoltaico?	Não.
13) Você foi informado ou identificou algum subsídio tributário (redução de impostos) para aquisição do sistema fotovoltaico?	Não.
14) Você utilizou capital próprio ou alguma linha de crédito para aquisição do sistema de energia fotovoltaica?	Capital próprio.
15) Caso tenha utilizado uma linha de crédito a	Não utilizou linha de crédito.

mesma possuía algum subsídio?	
16) Você recomenda a instalação de um sistema fotovoltaica a um amigo ou familiar?	Sim.

Quadro 5- Síntese da entrevista realizada com o usuário E5.

Perguntas	Pontos importantes
1) Como você ficou sabendo a respeito da possibilidade de instalar o sistema fotovoltaico em sua residência?	Reportagens de TV, documentários.
2) Quem esteve diretamente envolvido com você no processo de viabilização e instalação do sistema fotovoltaico?	Integrador, mas antes de comprar o sistema li e estudei a respeito.
3) Você teve dificuldade para aquisição do sistema fotovoltaico?	Não, processo relativamente simples.
4) Você teve dificuldade para interligar o sistema fotovoltaico a rede de energia?	Não, o integrador cuidou de tudo.
5) Para você, quais os benefícios da utilização de energia solar fotovoltaica?	Redução do valor da conta e ajudar o planeta.
6) Entre os benefícios citados, qual o mais importante para a tomada de decisão na aquisição do sistema fotovoltaico?	Ajudar o planeta.
7) Você considera importante a redução da sua conta de energia elétrica ao utilizar o sistema fotovoltaico?	Sim.
8) Qual importância você atribui para o retorno sobre o seu investimento ao adquirir e utilizar o sistema fotovoltaico?	Relevante, eu já tinha interesse e com a diminuição do custo ficou interessante.
9) Qual foi o tempo informado para retorno	6 anos.

sobre o investimento (<i>payback</i>)?	
10) Esta estimativa de retorno sobre o seu investimento está sendo cumprida em realidade?	Sim, provavelmente antes de 6 anos.
11) Do seu ponto de vista de que maneira a utilização de energia solar fotovoltaica pode ajudar o meio ambiente?	Sim, muito diminuindo a pegada ambiental.
12) Durante o processo de decisão de aquisição do sistema fotovoltaico, você considerou a possível valorização do imóvel após a instalação do sistema fotovoltaico?	Não, isso foi uma consequência.
13) Você foi informado ou identificou algum subsídio tributário (redução de impostos) para aquisição do sistema fotovoltaico?	Não.
14) Você utilizou capital próprio ou alguma linha de crédito para aquisição do sistema de energia fotovoltaica?	Utilizei capital próprio, mas deveria haver alguma linha com baixas taxas de juros para aquisição.
15) Caso tenha utilizado uma linha de crédito a mesma possuía algum subsídio?	Não aplicável para este consumidor.
16) Você recomenda a instalação de um sistema fotovoltaica a um amigo ou familiar?	Sim.

Quadro 6 - Síntese da entrevista realizada o usuário E6.

Perguntas	Pontos importantes
1) Como você ficou sabendo a respeito da possibilidade de instalar o sistema fotovoltaico em sua residência?	Notícias de jornais e da economia informando que o <i>payback</i> tinha diminuído. Um colega também comentou a respeito dos benefícios e viabilidade econômica no clube que frequento. Como eu já tinha me interessado e ele comentou que agora

	estava economicamente viável decidi solicitar um projeto para minha casa e analisar.
2) Quem esteve diretamente envolvido com você no processo de viabilização e instalação do sistema fotovoltaico?	Só o Integrador.
3) Você teve dificuldade para aquisição do sistema fotovoltaico?	Sim, o primeiro integrador contratado não conseguiu concluir o projeto dentro das minhas expectativas, o projeto final apresentado não produzia a quantidade que eu solicitei, houve um desgaste comercial e acabei tendo que contratar outro integrador.
4) Você teve dificuldade para interligar o sistema fotovoltaico a rede de energia?	Não, ocorreu tudo tranquilo, dentro dos prazos.
5) Para você, quais os benefícios da utilização de energia solar fotovoltaica?	A princípio independência de energia elétrica, mas depois entendi que para ficar independente precisaria muitas baterias e não ficaria economicamente viável. Posteriormente achei o <i>payback</i> interessante e que eu sentiria menos os reajustes de preço da energia elétrica.
6) Entre os benefícios citados, qual o mais importante para a tomada de decisão na aquisição do sistema fotovoltaico?	Se eu precisasse enterrar esse monte de dinheiro sem previsão de retorno não daria para fazer, mas sabendo que existe um <i>payback</i> tenho muito prazer em ajudar o meio ambiente.
7) Você considera importante a redução da sua conta de energia elétrica ao utilizar o sistema fotovoltaico?	Sim.
8) Qual importância você atribui para o retorno sobre o seu investimento ao adquirir e utilizar o sistema fotovoltaico?	Fundamental para a tomada de decisão.
9) Qual foi o tempo informado para retorno sobre o investimento (<i>payback</i>)?	6 – 7 anos.
10) Esta estimativa de retorno sobre o seu investimento está sendo cumprida em realidade?	Sim, possivelmente antes do tempo previsto.
11) Do seu ponto de vista de que maneira a utilização de energia solar fotovoltaica pode ajudar o meio ambiente?	Sim, reduzindo o aquecimento global e evitando acionamento das termoelétricas e novas hidroelétricas que alagam grandes regiões.

12) Durante o processo de decisão de aquisição do sistema fotovoltaico, você considerou a possível valorização do imóvel após a instalação do sistema fotovoltaico?	Não.
13) Você foi informado ou identificou algum subsídio tributário (redução de impostos) para aquisição do sistema fotovoltaico?	Não.
14) Você utilizou capital próprio ou alguma linha de crédito para aquisição do sistema de energia fotovoltaica?	Utilizei capital próprio.
15) Caso tenha utilizado uma linha de crédito a mesma possuía algum subsídio?	Não aplicável para este cliente.
16) Você recomenda a instalação de um sistema fotovoltaica a um amigo ou familiar?	Sim, inclusive já indiquei para diversos amigos e familiares.

Quadro 7 - Síntese da entrevista realizada com o usuário E7.

Perguntas	Pontos importantes
1) Como você ficou sabendo a respeito da possibilidade de instalar o sistema fotovoltaico em sua residência?	Por um amigo da faculdade que trabalha com energia fotovoltaica.
2) Quem esteve diretamente envolvido com você no processo de viabilização e instalação do sistema fotovoltaico?	Somente o integrador.
3) Você teve dificuldade para aquisição do sistema fotovoltaico?	Não, foi muito fácil.
4) Você teve dificuldade para interligar o sistema fotovoltaico a rede de energia?	Não, o integrador cuidou de tudo.

5) Para você, quais os benefícios da utilização de energia solar fotovoltaica?	O maior benefício é diminuir a pegada de carbono.
6) Entre os benefícios citados, qual o mais importante para a tomada de decisão na aquisição do sistema fotovoltaico?	Os aspectos ecológicos.
7) Você considera importante a redução da sua conta de energia elétrica ao utilizar o sistema fotovoltaico?	Sim, mas é um benefício acessório.
8) Qual importância você atribui para o retorno sobre o seu investimento ao adquirir e utilizar o sistema fotovoltaico?	Não é a minha maior preocupação, inclusive quando o integrador foi fazer a análise e dimensionamento, ele comentou que meu telhado não tinha as condições mais adequadas em função da posição e inclinação, pois o melhor lugar do telhado estava ocupado por um sistema de aquecimento de água. Por este motivo eu precisava comprar um sistema maior e o <i>payback</i> seria mais demorado, mas eu estava disposto a fazer o investimento mesmo assim.
9) Qual foi o tempo informado para retorno sobre o investimento (<i>payback</i>)?	Não me recordo.
10) Esta estimativa de retorno sobre o seu investimento está sendo cumprida em realidade?	Não sei informar.
11) Do seu ponto de vista de que maneira a utilização de energia solar fotovoltaica pode ajudar o meio ambiente?	Economizando carbono e diminuindo minha pegada ecológica.
12) Durante o processo de decisão de aquisição do sistema fotovoltaico, você considerou a possível valorização do imóvel após a instalação do sistema fotovoltaico?	Não.
13) Você foi informado ou identificou algum subsídio tributário (redução de impostos) para aquisição do sistema fotovoltaico?	Não.
14) Você utilizou capital próprio ou alguma linha	Utilizei capital próprio.

de crédito para aquisição do sistema de energia fotovoltaica?	
15) Caso tenha utilizado uma linha de crédito a mesma possuía algum subsídio?	Não aplicável para este cliente.
16) Você recomenda a instalação de um sistema fotovoltaica a um amigo ou familiar?	Sim.

Durante as entrevistas foi possível notar a satisfação e o bom relacionamento estabelecidos entre o integrador e o usuário de energia fotovoltaica. O relacionamento do usuário também é bom com a distribuidora de energia, contudo os entrevistados comentam que a maneira como a fatura de energia elétrica é apresentada dificulta a compreensão da economia gerada.

É importante ressaltar que para os entrevistados desta pesquisa, o retorno sobre o investimento foi importante na tomada de decisão, mas apenas o retorno sobre o investimento de maneira isolada não é suficiente. As questões relacionadas com a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente aparecem no discurso como um benefício mais que acessório e provavelmente, tão importante quanto o *payback*.

Durante as entrevistas, foi relatado que os mesmos já possuíam outras práticas sustentáveis antes de utilizar o sistema fotovoltaico como aproveitamento de água de chuva, composteira de resíduo orgânico, utilização de veículo elétrico, aquecimento solar da água, coleta seletiva e preocupações com eficiência energética dos equipamentos.

Este comportamento surpreendeu o pesquisador durante as entrevistas, uma vez que os entrevistados além do discurso de consciência ecológica, demonstravam conhecimento de questões ambientais relevantes, utilizando termos específicos dentro de um contexto coerente como aquecimento global, pegada ecológica, matriz energética, impacto socioambiental das represas de novas hidroelétricas e sustentabilidade.

Nenhum dos entrevistados falou especificamente a respeito do tripé da sustentabilidade, destacando a sustentabilidade sob a óptica social, econômica e ambiental, mas é possível notar que essa relação está presente no discurso. Um dos entrevistados relata que a partir do momento que ele enxergou um *payback*, mesmo que a médio ou longo prazo, a aquisição do sistema fotovoltaico tornou-se viável pois o retorno ambiental é muito interessante.

Em função das respostas, que apresentaram um discurso com mais relevância ambiental que o esperado, o pesquisador entrou novamente em contato com o integrador com a intenção de perguntar a respeito da importância das questões relativas à sustentabilidade para os consumidores.

A resposta foi de que em geral os consumidores anteriores a 2016 possuíam um perfil onde as preocupações com as questões ambientais eram mais relevantes, ocasião em que os sistemas fotovoltaicos eram menos atrativos do ponto de vista financeiro. Assim, os consumidores que compravam os sistemas tinham uma motivação relacionada à preservação do meio ambiente, em geral maior que os atuais interessados na aquisição dos sistemas fotovoltaicos.

4.7 Considerações Gerais sobre as Entrevistas Realizadas

Durante as entrevistas realizadas, foi possível observar um comportamento ou motivação semelhante entre os usuários de energia fotovoltaica da cidade de São Paulo, contudo ampliar essa amostragem assim como realizar entrevistas com pessoas que solicitaram orçamento ao integrador e não realizaram a aquisição do sistema fotovoltaico se faz importante em uma futura pesquisa.

É importante destacar que o cálculo do retorno sobre o investimento ou *payback*, apresentado pelo integrador para os interessados na aquisição dos sistemas fotovoltaicos, utiliza o conceito de *payback* simples e costuma ficar em média, na cidade de São Paulo, entre 5 e 6 anos, contudo ao aplicar um conceito mais técnico, como o *payback* descontado, o retorno sobre o investimento pode subir para 10 ou 11 anos e possivelmente mudar a percepção do usuário de energia fotovoltaica.

Os sites oficiais da prefeitura de São Paulo não relatam programas de incentivo à utilização de energia fotovoltaica para o cidadão comum, assim como não mencionam resoluções que exijam a utilização de energia fotovoltaica nos empreendimentos públicos e privados da cidade. A confirmação da ausência destas políticas pode ser constatada também nas entrevistas realizadas com os consumidores, integradores e a distribuidora de energia da capital paulista.

Apesar dos desafios encontrados devido à baixa oferta de crédito e ausência de políticas públicas favoráveis a expansão desta tecnologia no município, identifica-se no âmbito estadual, algumas iniciativas de promoção desta tecnologia, como isenção de ICMS na venda dos sistemas fotovoltaicos assim como a incidência do ICMS apenas no consumo líquido da energia elétrica favorecendo assim o estado e o município de São Paulo.

5 CONCLUSÕES

A identificação dos principais envolvidos no processo de geração e distribuição de energia fotovoltaica e a relação entre eles foi obtida por meio das entrevistas semiestruturadas. Entre os principais envolvidos na geração de energia fotovoltaica distribuída no país, aparecem o consumidor, a distribuidora de energia elétrica e o integrador. Todos desempenham papéis importantes dentro do sistema de geração de energia fotovoltaica distribuída, mas a tomada de decisão fica a critério do consumidor que disponibiliza capital e espaço em sua propriedade para instalação dos sistemas fotovoltaicos.

O integrador está envolvido diretamente com o consumidor e a distribuidora. O integrador é responsável por toda intermediação comercial, técnica e burocrática. Segundo relatos dos consumidores e da distribuidora de energia, os integradores vêm realizando um bom trabalho.

A distribuidora atua de maneira mais passiva para expansão dos sistemas fotovoltaicos uma vez que aguarda a solicitação de um consumidor para interligar um novo sistema de geração distribuída. Segundo relatos dos integradores, as distribuidoras são um pouco morosas para interligação dos sistemas fotovoltaicos, ou seja, apesar de cumprirem os prazos, costumam levar até o prazo limite os processos de interligação.

Após a interligação do sistema fotovoltaico de geração distribuída com a rede de distribuição, os entrevistados não relataram problemas com a distribuidora de energia.

Para os consumidores entrevistados, os benefícios ambientais proporcionados pela instalação de um sistema fotovoltaico associado a um *payback* de médio prazo, são os fatores mais importantes para a tomada de decisão na aquisição de um sistema fotovoltaico interligado à rede de distribuição de energia.

O levantamento e análise da legislação que envolve a microgeração e minigeração de energia fotovoltaica distribuída no Brasil mostrou que é possível identificar avanços nas resoluções normativas. Essas ampliações foram compreendidas pelo mercado como uma sinalização de interesse na continuidade de ampliação e utilização da energia fotovoltaica distribuída.

Os últimos avanços da resolução normativa ANEEL 482/2012 por meio da resolução normativa ANEEL 687/2015 não contemplam uma tarifa prêmio para energia produzida a partir de uma fonte renovável ou um acesso simples a financiamentos subsidiados para aquisição de sistemas fotovoltaicos.

Contudo, nossa legislação pode ser considerada interessante por outra perspectiva, pois ao realizar a operação de crédito e débito de energia, no sistema de geração distribuída ou como é conhecida internacionalmente por termo *net metering*, o cliente paga apenas a diferença da energia consumida, existe assim uma segurança de que o kWh

produzido terá seu valor igual ao vendido pela distribuidora de energia, diferentemente do que acontece atualmente na Alemanha, que possui o valor do kWh determinado pela oferta e procura do mercado, assim em determinadas épocas do ano ou do dia o valor pago pela energia produzida por fontes renováveis é inferior ao valor da energia vendida pela distribuidora de energia elétrica.

Neste contexto, é possível afirmar que o avanço da energia fotovoltaica na cidade de São Paulo assim como no país, só foi possível após a regulamentação do setor por meio da resolução normativa ANEEL 482/2012, contudo poderia ser ainda melhor se associada a programas de incentivo e subsídio.

Ao identificar as oportunidades e desafios na microgeração e minigeração distribuída de energia fotovoltaica bem como as ações e programas de incentivo à sua utilização na cidade de São Paulo foi observado que apesar da cidade São Paulo não possuir um subsídio municipal para financiamento ou compra de um sistema fotovoltaico, o estado de São Paulo possui os benefícios fiscais de isenção de ICMS na venda do sistema fotovoltaico e da incidência de ICMS apenas na diferença registrada após a operação de crédito e débito de produção de energia, ajudando assim a reduzir o tempo do retorno sobre o investimento (*payback*) do sistema fotovoltaico.

A cidade de São Paulo possui atualmente 459 instalações de sistemas fotovoltaicos com geração distribuída, com um total de 3.387 kW de potência instalada, ocupando a segunda posição entre as cidades do estado, logo após a cidade de Campinas. Alguns especialistas afirmam que existe uma expectativa da cidade de São Paulo assumir a primeira posição em potência instalada dentro do estado no ano de 2019.

Após a regulamentação ANEEL 482/2012, identifica-se a oportunidade do cidadão comum gerar sua própria energia limpa, contribuindo assim para diversificação da matriz energética, diminuição das perdas nas transmissões e ainda criando um novo mercado passível de empregar diretamente um elevado número de profissionais. Porém, os desafios são tão grandes quantos os benefícios e a falta de subsídios, em especial de uma linha de crédito subsidiada, limita o acesso a este tipo de tecnologia uma vez que se faz necessário um aporte de capital relativamente alto, em um cenário onde a comparação do retorno sobre o investimento leva em conta a taxa SELIC, normalmente elevada no país.

O levantamento de experiências internacionais bem-sucedidas sob o aspecto de políticas públicas e possíveis subsídios financeiros para a adoção de microgeração e minigeração de energia fotovoltaica, mostrou que o sistema de FIT e os financiamentos com taxa de juros subsidiadas são posturas importantes adotadas internacionalmente onde a regulamentação da geração fotovoltaica distribuída é associada a programas de incentivo e subsídios para uma rápida expansão dos sistemas.

Como alternativas no sentido de incrementar a participação da energia fotovoltaica na matriz elétrica da cidade de São Paulo, considera-se importante a realização de campanhas publicitárias de incentivo à utilização de energia fotovoltaica e ampliação da

resolução normativa 687/2015, permitindo ao usuário da geração remota compensação dos créditos de energia em uma distribuidora diferente à da origem de geração.

6 REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. (2015). *Resolução Normativa N° 687*.
- Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. (2017). *Perguntas e respostas sobre a aplicação da Resolução Normativa N°482/20012*.
- Arantegui, R. L., Jager-Waldau, A. (2018). Photovoltaic and wind status in the European Union after Paris Agreement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81: 2460-2471.
- Abreu Filho, J. C. F., Souza, C. P., Gonçalves, D. A., Cury, M. V. Q. (2012). *Finanças Corporativas*. FGV Editora. RJ. Brasil. (11)
- Byrne, J., Taminiou, J., KIM, K. N., Seo, J., Lee, J. (2016). A solar city applied to six municipalities: integrating market, finance, and policy factors for infrastructure-scale photovoltaic development in Amsterdam, London, Munich, New York, Seoul, and Tokyo. *WIREs Energy Environ*, 5:68-88.
- Castellanos, S., Sunter D. A., Kammen D. M. (2017). Rooftop solar photovoltaic potential in cities: how scalable are assessment approaches? *Environmental Research Letters*.
- Cintra, M., Etlin, M. (2003). It's the spread, stupid. *Conjuntura Econômica*.22-23.
- Dalvi, G. G., Oliveira Filho, D., Rodrigues, E. M. B., (2017). Feed in tariff como alternativa de incentivo ao desenvolvimento da geração de energia elétrica por fontes renováveis no Brasil. *Revista Brasileira de Energia*. 23n2.
- Farias, L. M., Sellito, M. A., (2011). Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras. *Revista Liberato*, 12 n17, 7-16.
- Fleiss, E., Hatzl, S., Seebauer, S., Posch, A. (2016). Money, not morale: The impact of desires and benefits on private investment in photovoltaic citizen participation initiatives. *Journal of Cleaner Production*.
- Greener (2018). *Estudo estratégico mercado fotovoltaico geração distribuída segundo semestre 2018*.
- Hémery, D.,Bebier, J. C.,Deléage, J.P., (1993). *Uma História da Energia*. Brasília. Editora Universidade de Brasília.
- Inatomi, T.A.H. & Udaeta, M.E.M. (2007). *Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos*.
- International Energy Agency, (2017). *World Energy Balances: An Overview*.
- Karakaya, E., Sriwannawit, P. (2015). Barriers to the adoption of photovoltaic systems: The state of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

- Keirstead, J. (2007). Behavioral responses to photovoltaic systems in the UK domestic sector. *Energy Policy*.
- Komp, R. J. (1982). Practical photovoltaics: electricity from solar cells. *Aatec Publications*.
- Li, S., Chang, T., Chang, S., (2016). The policy effectiveness of economic instruments for the photovoltaic and wind power development in the European Union. *Renewable Energy*.
- Lucas, E. C. (2016). Finanças corporativas. *Fundação Getúlio Vargas*, SP.
- Machado, C. T., Miranda, F. S. (2015). Energia fotovoltaica: Uma breve revisão. *Revista Virtual de Química*, 7(1): 126-143.
- Machado, I. S., Borba, B. S. M. C., Maciel, R. S. (2016). Modeling distributed PV market and its impacts on distribution system: A Brazilian case study. *IEEE Latin America Transaction*, 14 (11).
- Mantovani, P. R. A., Neumann, P. N., Edler, M. A. R. (2016). Matriz Energética Brasileira: Em busca de uma nova alternativa. *Revista Interdisciplinar de Ensino, Pesquisa e Extensão*, 4 (1).
- Martins, F. R., Pereira, E. B., Abreu, S. L., Colle, S. (2005). Mapas de irradiação solar para o Brasil – Resultados do projeto SWERA. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, GO, Brasil, 16-21 abril 2005.
- Martins, G.A., Theóphilo, C.R. (2009). *Metodologia da Investigação Científica para Ciências Sociais Aplicadas* (2ª ed), São Paulo, Atlas S.A.
- Melo Filho, J. B., Lopes, J. A. (2015). Protection of electrical distribution system by smart grid, considering solar photovoltaic generation. *International Solar Energy Society. Solar World Congress*, Daegu, Korea, 08-12 November 2015.
- Mazzon, J. A. (1981) Análise do programa de alimentação do trabalhador sob o conceito de marketing social. *Tese (Doutorado) Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo*, São Paulo.
- Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética. (2007). *Plano Nacional de energia 2030*.
- Ministério de Minas e Energia. (2013). *Nota técnica DEA 28/13, Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2014-2023)*.
- Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética. (2016). *Balanco Energético Nacional 2016, Relatório Síntese ano base 2015*.
- Ministério de Minas e Energia & Empresa de Pesquisa Energética. (2018). *Balanco Energético Nacional 2018, Relatório Síntese ano base 2017*.
- Miranda, R. F. C., Szklo, A., Schaeffer, R. (2014). Technical-economic potencial of PV systems on Brazilian rooftop. *Renewable energy*.

- Mitscher, M., Ruther, R. (2012). Economic performance and policies for grid-connected residential solar photovoltaic systems in Brazil. *Energy Policy*.
- Mori, V., Santos, R. L. C., Sobral, L. G. S. (2007). Metalurgia do Silício: Processos de Obtenção e impactos ambientais, *CETEM/MCT*.
- Organização das nações Unidas, (2016). World Urbanization Prospects, the 2014 revision. *Department for Economic and Social Affairs, Population Division, United Nations– UN*.
- Rella, R. (2017). Energia solar fotovoltaica no Brasil. *Revista de Iniciação Científica Criciúma*.
- Rosa, A. R. O., Gasparin, F. P. (2016). Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. *Revista Brasileira de Energia Solar*, VII (2).
- Rodrigues, F. N. (2018). Avaliação da viabilidade de investimento para instalação de um sistema fotovoltaico em uma residência unifamiliar na cidade de São Paulo. *Anais do VII Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade*.
- Rujula, A. A. B., Burgio, A, Leonowicz, Z., Menniti, D., Pinnarelli, A.& Sorrentino, N. (2017). Recent Developments of photovoltaics integrated with battery storage system and related feed-in tariff policies: A Review. *International Journal of Photo energy*
- Sampaio, P. G. V., González, M. O. A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 590-601.
- Schiermeier, Q., Tollefson, J., Scully, T., Witze, A., Morton, O. (2008). Electricity without carbon. *Nature*, 453: 816-823.
- Secretaria de Energia e Subsecretaria de Energias Renováveis do Estado de São Paulo. (2013). *Energia Solar Paulista: Levantamento do Potencial*.
- Service, R. F. (2005). Is it time to shoot for the Sun? *Science*, 309:548-551.
- Silva Filho, M. T. (2007), *Fundamentos da eletricidade*. Brasil. LTC.
- Takigawa, F.Y,K, Fernandes, R.C., Aranha Neto, E.A.C, Tenfen, D., Sica, E.T. (2016). Energy Management by consumer with photovoltaic generation: *Brazilian Market*, 14(5).
- Tolmasquim, M.T. (2012). Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. *Estudos avançados* 26(74).
- Tolmasquim, M.T. (2000). As origens da crise energética brasileira. *Revista Ponto de Vista*.
- Tolmasquim, M. T. (2007) Matriz energética brasileira: Uma perspectiva. *Novos Estudos* 79.

- Thormann, A. L., Cortimiglia M. N., Todeschini B. V. (2017). Mapeamento de modelos de negócio de integradores para projetos de energia solar fotovoltaica no Brasil. *Brazilian Journal of Production Engineering*. (2) 69-88.
- Tyagi, V.V., Rahim, N. A. A., Rahim, N.A., Selvaraj, J. A. L. (2013). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20:443-461.
- Vergara, S. C. (1990). Tipos de Pesquisa em Administração. *Cadernos da Escola Brasileira de Administração Pública da Fundação Getúlio Vargas*, p.1-21.
- Wittemberg, I., Matthies, E. (2016). Solar Policy and practice in Germany: How do residential households with solar panels use electricity? *Energy Research & Social Science*. (21) 199-211
- Yin, R. K., (2015). Estudo de Caso: Planejamento e método. (5ª ed). Porto Alegre. Bookman.
- Zanetti Neto, G., Costa, W. T., Vasconcelos, V. B. (2014). A resolução Normativa No 482/2012 da ANEEL: Possibilidades e entraves para a microgeração distribuída. *Revista Brasileira de Energia Solar*. (2): 119-127.
- Zhai, P., Williams, E. D. (2011). Analyzing consumer acceptance of photovoltaics (PV) using fuzzy logic model. *Renewable Energy*.