

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS DE CURITIBA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**CAROLINE OGIBOSKI EDUARDO
VITOR LUIZ ORLANDINI KLEIN**

**BARREIRAS E DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS EM CURITIBA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA
2019**

CAROLINE OGIBOSKI EDUARDO

VITOR LUIZ ORLANDINI KLEIN

**BARREIRAS E DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS EM CURITIBA**

Trabalho de conclusão do curso de Graduação em Engenharia Elétrica apresentado à disciplina de Trabalho de conclusão de curso 2, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

CURITIBA

2019

Caroline Ogiboski Eduardo
Vitor Luiz Orlandini Klein

Barreiras e desafios da implementação de painéis fotovoltaicos em Curitiba

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 22 de novembro de 2019.

Prof. Antonio Carlos Pinho, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemarien Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Prof. Jair Urbanetz Junior, Dr. Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Jair Urbanetz Junior, Dr. Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Prof. Gerson Maximo Tiepolo, Dr. Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Jorge Assade Leludak, Dr. Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

AGRADECIMENTOS

Aos nossos pais, pois sabemos e valorizamos todos os seus esforços e a incansável jornada que trilharam para que sempre tivéssemos um estudo de qualidade, razão determinante para que chegássemos até aqui, e também pelo apoio, mesmo nos dias mais difíceis, e compreensão durante todo o processo, sempre nos incentivando a almejar coisas grandes. Também agradecer nossos demais familiares, cônjuges e amigos próximos pelo suporte, companhia, pelas palavras de incentivo e por entender todas as vezes que não estávamos presentes, sem menosprezar ou julgar nossas escolhas.

Ao nosso orientador, Jair Urbanetz, que nos inspira por todas as suas contribuições na área que escolhemos para desenvolver nosso estudo e que, mesmo com suas diversas atribuições, aceitou o nosso pedido e nos agraciou com tantas dicas, conhecimentos e conselhos, tendo nos direcionado da melhor forma, buscando o engrandecimento do nosso trabalho.

A todos aqueles que de alguma maneira nos ajudaram a chegar ao final dessa caminhada, profissional ou pessoalmente, nossa sincera gratidão.

RESUMO

EDUARDO, Caroline O.; KLEIN, Vitor L. O. **Barreiras e desafios da implementação de painéis fotovoltaicos em Curitiba**. 2019. 99 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação – Curso de Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

A crescente necessidade da implementação de fontes alternativas eficientes e ecológicas na matriz energética, para atender o aumento da demanda de energia elétrica, justifica a importância do uso de sistemas fotovoltaicos na geração de energia. Este trabalho estuda quais as principais barreiras e desafios determinantes para a implementação em grande escala dessa tecnologia na cidade de Curitiba, uma vez que suas vantagens são facilmente reconhecidas. Para tanto, foram realizadas pesquisas de campo com dois grupos distintos, primeiramente com consumidores que já possuíam sistemas fotovoltaicos em seus estabelecimentos, considerados como consumidores geradores, e em seguida, com os consumidores não geradores, ou seja, aqueles que não fazem uso de painéis fotovoltaicos em suas casas, comércios ou indústrias. Dessa maneira, foi possível identificar impasses, benefícios e dúvidas em ambos os cenários. Com o propósito de entender a situação atual da geração fotovoltaica no estado do Paraná e em sua capital, foi feita uma análise das informações disponibilizadas pela ANEEL, relativas à potência instalada, número de unidades, classes, etc., e também um estudo detalhado da caracterização de uma tarifa de energia elétrica relativa a uma unidade consumidora com geração fotovoltaica da cidade de Curitiba. Através dos estudos realizados, da interpretação da base de dados da ANEEL e das informações coletadas através das pesquisas de campo, se conclui que a desinformação, alinhada ao custo, são as grandes barreiras enfrentadas para potencializar a disseminação da energia fotovoltaica em Curitiba.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica. Implementação. Curitiba. Barreiras.

ABSTRACT

EDUARDO, Caroline O.; KLEIN, Vitor L. O. **Barriers and challenges for the implementation of photovoltaic panels in Curitiba**. 2019. 99 f. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação – Curso de Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

The growing need of the implementation of efficient and ecological alternative sources in the energy matrix to meet the increased demand for electricity, justifies the importance of using photovoltaic systems in power generation. This paper studies which are the main barriers and set up challenges for the massive implementation of this technology in the city of Curitiba, once its advantages are easily recognized. In this matter, field researches were conducted with two distinct groups, first with consumers who already had photovoltaic systems in their facilities, considered as generating consumers, and then with non-generating consumers, ie those who do not use photovoltaics panels in their homes, businesses or industries. Thus, it was possible to identify deadlocks, benefits and doubts in both scenarios. In order to understand the current situation of photovoltaic generation in the state of Paraná and its capital, an analysis was made using the information provided by ANEEL, regarding the installed power, number of units, classes, etc., as well as a detailed study of the composition of an electricity bill for a photovoltaic generating unit in the city of Curitiba. Through the studies performed, the interpretation of the ANEEL database and the information collected through the field researches, it is concluded that the disinformation, align with costs, are the main challenges to potentialize the implementation of photovoltaics energy in Curitiba.

Keywords: Photovoltaic Energy. Implementation. Curitiba. Barriers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes da radiação solar.	18
Figura 2 - Bandas de energia de um material condutor, semicondutor e isolante.....	20
Figura 3 - Ilustração da estrutura básica de uma célula fotovoltaica.	22
Figura 4 - Reação dos elétrons nas camadas semicondutoras quando expostos à luz.	23
Figura 5 - Exemplo de uma célula fotovoltaica monocristalina.	24
Figura 6 - Exemplo de uma célula fotovoltaica policristalina.....	25
Figura 7 – Curvas características dos painéis fotovoltaicos: a) curva I-V; b) curva P-V.....	29
Figura 8 - Esquema elétrico de um SFCR.....	31
Figura 9 - Topologias de SFCR: a) inversor central; b) inversor por string; c) inversor multi string; d) módulo CA	33
Figura 10 - Diferença da captação dos raios solares de acordo com o ângulo de inclinação do módulo.....	35
Figura 11 - Captação de energia ao longo do ano em razão da inclinação do módulo.....	35
Figura 12 - Variação do fator de espaçamento em relação à latitude de instalação.	36
Figura 13 - Ilustração dos parâmetros de definição do espaçamento mínimo entre módulos e obstáculos que possam causar sombreamento.	37
Figura 14 - Parcela da TE e TUSD na composição da tarifa de energia elétrica para a COPEL	41
Figura 15 - Representatividade da TE e TUSD na composição da tarifa de energia elétrica da COPEL Distribuidora ao longo dos anos.....	42
Figura 16 - Fatura de Energia Elétrica de uma residência com geração distribuída	47
Figura 17 - Fluxograma do cálculo da tarifa de energia elétrica	51
Figura 18 - Evolução da capacidade total instalada de sistemas fotovoltaicos no mundo. ...	52
Figura 19 - Potência instalada acumulada de sistemas fotovoltaicos no Brasil e projeção para 2018.....	53
Figura 20 - Comparação da distribuição das unidades geradoras no Paraná com a irradiação solar média no Estado.	55
Figura 21 - Distribuição do número de unidades geradoras por classe no estado do Paraná.	56
Figura 22 - Distribuição da potência instalada fotovoltaica por classe no estado do Paraná.....	56
Figura 23 – Quantidade de unidades consumidoras por subgrupo no estado do Paraná....	58
Figura 24 - Crescimento anual do número de unidades geradoras no Paraná.....	59
Figura 25 - Crescimento anual do número de unidades geradoras em Curitiba	59
Figura 26 - Representatividade de Curitiba em relação ao estado do Paraná.....	60
Figura 27 - Distribuição do número de unidades geradoras por classe na cidade de Curitiba	60
Figura 28 - Distribuição da potência instalada fotovoltaica por classe na cidade de Curitiba	61
Figura 29 - Perfil do público entrevistado	64
Figura 30 - Classe do público entrevistado	65
Figura 31 - Faixa de potência instalada das UCs entrevistadas	65
Figura 32 - Subgrupos do público participante	66
Figura 33 - Ano de conexão das UCs entrevistadas	66
Figura 34 - Mapa da localização das UCs entrevistadas.....	67

Figura 35 - Como você soube sobre a geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos?	68
Figura 36 - Na média, quanto de economia obteve com a geração do painel instalado?	69
Figura 37 - Qual o maior desafio para instalação de painéis fotovoltaicos?	70
Figura 38 - Qual foi o custo aproximado de instalação do sistema?	71
Figura 40 - Recomendaria à um amigo ou familiar?	73
Figura 41 - Você já ouvir falar sobre a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos?	74
Figura 42 - Caso sim, como você soube?	75
Figura 43 - Por qual motivo você não possui um sistema instalado em sua residência, comércio e/ou indústria?	76
Figura 44 - Quais dessas opções você acha que são vantagens de um sistema fotovoltaico?	77
Figura 45 - Quanto você acha que custa um sistema fotovoltaico capaz de produzir em média 300kWh/mês?	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de albedo para diferentes superfícies.....	18
Tabela 2 - Nível de eficiência dos diferentes tipos de células fotovoltaicas em laboratório .	26
Tabela 3 - Diferença dos fatores da tarifa com impostos.....	45
Tabela 4 - Valores unitários para tarifas TE e TUSD.....	48
Tabela 5 - Valor da energia injetada e compensada	50
Tabela 6 - Definições dos subgrupos para diferenciação das unidades consumidoras	57
Tabela 7 - Dados de unidade e potência instalada fotovoltaica por classe no estado do Paraná.	58

LISTA DE SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AT	Alta Tensão
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CdTe	Telureto de Cádmio
CIGS	Cobre-Índio-Gálio-Selênio
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
Cohab	Companhia de Habitação Popular de Curitiba
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
COSIP	Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública
DAELT	Departamento Acadêmico de Eletrotécnica
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EVA	<i>Ethylene vinyl acetate</i>
FB	Rede social Facebook
GWp	Giga Watts pico
Hz	Hertz
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEC 61215	<i>Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval</i>
IGP-M	Índice Geral de Preços do Mercado
IPCA	Índice nacional de Preços ao Consumidor Amplo
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i>
MT	Média Tensão
NOCT	<i>Nominal Operating Cell Temperature</i>
NTC	Normas Técnicas COPEL
PASEP	Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PIS	Programa Integração Social
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
REN	Resolução Normativa
SFCRs	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede
SFIs	Sistemas Fotovoltaicos Isolados
STC	<i>Standard Test Conditions</i>
TE	Tarifa de Energia Elétrica
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso

TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TWh	Tera Watts hora
UCs	Unidades Consumidoras
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
W/m ²	Watts por metro quadrado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. TEMA	13
1.1.1. Delimitação do Tema	14
1.2. PROBLEMA E PREMISSAS.....	14
1.3. OBJETIVOS	14
1.3.1. Objetivo Geral	14
1.3.2. Objetivos Específicos	15
1.4. JUSTIFICATIVA	15
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	15
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	17
2.1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	17
2.1.1. Radiação Solar	17
2.1.2. Física dos Semicondutores	19
2.1.3. Efeito Fotovoltaico.....	21
2.2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	21
2.2.1. Célula Fotovoltaica.....	21
2.2.2. Módulos Fotovoltaicos.....	27
2.2.3. Projetos de Sistemas Conectados à Rede	30
2.2.4. Inversores	31
2.2.5. Posicionamento Ideal dos Módulos	33
2.3. RESOLUÇÕES NORMATIVAS	37
2.3.1. ANEEL	37
2.3.2. COPEL.....	39
2.4. TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA	40
2.4.1. TE e TUSD.....	41
2.4.2. Impostos e Tributos.....	42
2.4.3. Base de Cálculo da Tributação	44
2.4.4. Isenções de Impostos	45
2.4.5. Composição da Tarifa com Geração Distribuída	46
2.5. PANORAMA ATUAL.....	51
3. METODOLOGIA E LEVANTAMENTO DE DADOS	55
3.1. GERAÇÃO NO ESTADO DO PARANÁ	55
3.2. GERAÇÃO NA CIDADE DE CURITIBA	59

3.3. COLETA DE DADOS.....	61
3.3.1. Consumidores com Geração Distribuída.....	61
3.3.2. Consumidores Não Geradores.....	62
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	64
4.1. PERFIL DO PÚBLICO ENTREVISTADO.....	64
4.1.1. Consumidores Geradores.....	64
4.1.2. Consumidores Não Geradores.....	67
4.2. RESULTADO DOS QUESTIONÁRIOS.....	68
4.2.1. Pesquisa com Usuários Geradores da Cidade de Curitiba.....	68
4.2.2. Pesquisa de Campo com Consumidores Não Geradores.....	73
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	79
5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	81
REFERÊNCIAS.....	82
APÊNDICE A.....	87
APÊNDICE B.....	91
ANEXO I.....	95

1. INTRODUÇÃO

1.1. TEMA

Devido à necessidade de se expandir o sistema elétrico brasileiro, para atender de maneira eficaz e ininterrupta a crescente demanda de energia requerida pela população e também para a conscientização das pessoas sobre os impactos que as atuais fontes empregadas na produção energética vêm causando sobre o meio ambiente, se faz necessária a busca por alternativas viáveis, eficientes e ecológicas para solucionar esse impasse.

Em outubro de 2019, a geração de energia por fontes hídricas e fósseis compõe praticamente toda a matriz elétrica brasileira, sendo 60,82% da geração pelo potencial hidráulico e 14,82% por fontes fósseis, como o carvão mineral, gás natural e petróleo (ANEEL, 2019). Sabe-se que, a opção mais utilizada para a geração de energia, caso das usinas hidrelétricas, possui alguns fatores na sua implementação que impossibilitam o suprimento de um crescimento imediato da demanda nacional, como espaço físico, alto custo, tempo elevado para início de operação e impactos ambientais e sociais.

Dentro desse cenário atual, a geração de energia fotovoltaica torna-se uma fonte alternativa para suprir esse crescimento da demanda do Brasil. Com projeção de crescimento de 3,1% ao ano, a demanda energética nacional deve chegar aos 1605 TWh no ano de 2050 (EPE, 2018). Por ser uma energia renovável, limpa, que pode ser introduzida também em lugares remotos e que tem operação quase imediata, explorar essa fonte abundante agrega uma vantagem competitiva para a tecnologia fotovoltaica em comparação à usinas termelétricas e hidrelétricas.

Além disso, a utilização desse tipo de energia é factível em aproximadamente todo o território brasileiro, que possui irradiação solar anual em superfícies horizontais que varia de 1654 kWh/m² até 2003 kWh/m², índice positivo comparado ao valor de irradiação horizontal na Alemanha, referência na geração de energia fotovoltaica mundial, que varia de 900 até 1.250 kWh/m² (PEREIRA *et al*, 2017)(PEREIRA *et al*, 2006).

Nos locais mais afastados dos grandes centros de produção energética, sua utilização contribui na diminuição das possíveis perdas de energia provenientes da transmissão. Nos centros urbanos, também disponibiliza energia que não necessita de área adicional pelo fato dos sistemas fotovoltaicos estarem instalados nas coberturas das edificações (TONIN, 2017).

De acordo com MME/EPE (2017),

Em 2026, estima-se que cerca de 770 mil adotantes de sistemas fotovoltaicos sob o regime da REN 482, totalizando 3,3 GWp, suficiente para atender 0,6% do consumo total nacional.

Mesmo com esses aspectos favoráveis, a exploração da energia fotovoltaica no Brasil ainda é limitada, pois existem barreiras determinantes para concretizar o sucesso do uso dessa tecnologia.

1.1.1. Delimitação do Tema

O objetivo da pesquisa é levantar dados atuais da geração fotovoltaica municipal, e investigar dificuldades e barreiras para a implementação de painéis na capital paranaense.

1.2. PROBLEMA E PREMISSAS

Mesmo com a crescente preocupação com o futuro da demanda energética nacional e com os métodos disponíveis para suprir essa necessidade de forma eficiente, legal e ambientalmente correta, ainda é notável que o uso da energia fotovoltaica, uma alternativa para esse impasse, não é tão abrangente como poderia ser.

Buscando evidenciar a importância, necessidade e benefícios que o uso dessa tecnologia pode trazer para constituir uma parte da solução para suprir o aumento da demanda energética, será desempenhada uma busca por dados que demonstrem a situação atual do quadro energético estadual e municipal.

Para viabilizar uma redução significativa de custos de produção da cadeia fotovoltaica no país é necessário estimular um maior desenvolvimento do mercado para a energia solar (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2012). Visando compreender o problema da não implementação intensa desse tipo de geração, serão retratadas as barreiras que pequenos consumidores enfrentam para efetivar o uso dessa tecnologia. Ou seja, explanar quais são os motivos que impedem o desenvolvimento dessa fonte, mesmo sendo de amplo conhecimento a existência de diversos pontos positivos e vantajosos na sua exploração.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Analisar as barreiras determinantes para a implementação da geração de energia fotovoltaica enfrentadas por unidades consumidoras de Curitiba.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Elucidar fundamentos teóricos sobre a geração fotovoltaica.
- Estudar normas, resoluções e tributações referentes à geração de energia e compensação.
- Reunir dados atualizados da capacidade de geração estadual e municipal.
- Realizar uma pesquisa de satisfação dos clientes que já utilizam a geração fotovoltaica.
- Realizar uma pesquisa com consumidores não geradores para comprovar fatores limitantes para a implementação da tecnologia.
- Sintetizar e analisar barreiras e desafios encontrados.

1.4. JUSTIFICATIVA

Levantamento atual da potência instalada ajudará a compreender o crescimento do mercado na capital paranaense, onde as pesquisas de campo possibilitarão assimilar o ponto de vista dos usuários, e estipular os desafios enfrentados para que haja um melhor aproveitamento do potencial energético da região, através da conscientização sobre essa forma de geração sustentável. Busca-se encorajar pequenos consumidores a difundir a geração fotovoltaica, trazendo todos os benefícios que essa tecnologia oferece e fomentando o mercado na capital paranaense.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Estudo bibliográfico sobre a geração de energia fotovoltaica, elucidando fundamentos e princípios dessa tecnologia. Exemplificação de um sistema fotovoltaico, com todos seus componentes, e fatores que determinam a qualidade da energia gerada.

Pesquisa de normas técnicas sobre os parâmetros que devem ser cumpridos de acordo com as especificações da ANEEL e também da concessionária de energia do estado do Paraná, a COPEL, descrevendo as normas relacionadas à geração de energia fotovoltaica e citando os requisitos de qualidade para implementação no Sistema Interligado Nacional.

Foi realizada uma pesquisa ampla para obter dados atualizados da geração de energia fotovoltaica no cenário estadual e municipal. Análise de dados disponibilizados pela ANEEL e classificação dos sistemas, com a criação de um relatório interativo para que seja analisado o

crescimento dessa forma de geração, sob distintos pontos de análise, no Estado e na cidade de Curitiba.

Pesquisa de satisfação e recomendação de unidades consumidoras que já possuem a geração fotovoltaica em suas residências e estabelecimentos, visando levantar dados e o impacto de quem já é adepto à geração distribuída na disseminação da mesma. Também foi elaborado um questionário voltado à população em geral, para que sejam analisados a visão e o conhecimento dos habitantes de Curitiba sobre o tema.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente estudo será estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1: Introdução, objetivos, justificativa e procedimentos metodológicos.

Capítulo 2: Estudo bibliográfico com a parte conceitual a respeito da constituição de um sistema fotovoltaico, apontando todos os componentes necessários e o princípio de funcionamento. Explicação das normas técnicas e tributações incidentes sobre a geração fotovoltaica.

Capítulo 3: Levantamento do cenário atual da matriz energética estadual e municipal, comparando as projeções realizadas e os dados coletados do crescimento da geração distribuída. Pesquisa de campo com unidades consumidoras que já utilizam essa forma de geração e outro estudo com consumidores não geradores, visando compreender alguns dos fatores que impedem a implementação massiva da energia fotovoltaica.

Capítulo 4: Estudo dos resultados obtidos nas duas pesquisas, buscando sintetizar as principais barreiras decisivas para o sucesso da implementação e uso em larga escala da tecnologia fotovoltaica na cidade de Curitiba.

Capítulo 5: Considerações finais abordando os tópicos e objetivos específicos desse trabalho, considerando os resultados e dados coletados ao longo do desenvolvimento, com sugestões de trabalhos futuros e novos desafios.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

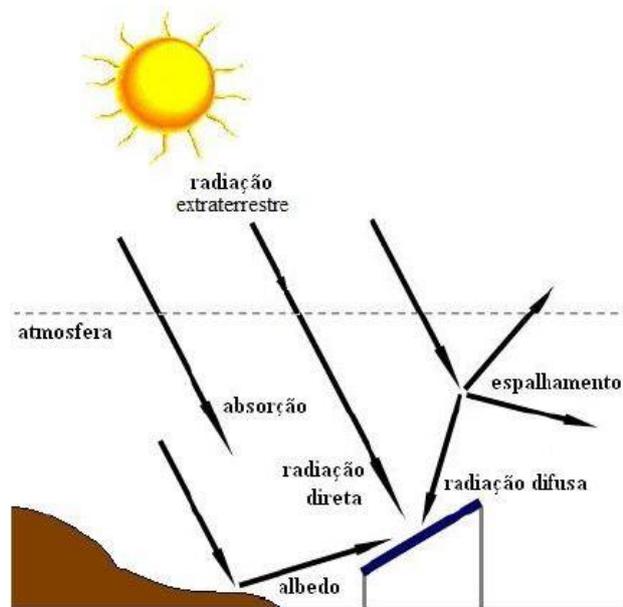
2.1. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.1.1. Radiação Solar

O sol, maior e principal estrela do sistema solar, é uma fonte inesgotável de energia na escala terrestre de tempo. Basicamente composto de hidrogênio e hélio, sua massa é tão relevante que consiste em aproximadamente 99,68% da massa total do sistema solar. No centro do sol encontram-se condições suficientes para a reação entre prótons que produzem, entre outros componentes químicos, uma elevada radiação eletromagnética. Dos $3,8 \cdot 10^{26}$ W gerados, a Terra recebe aproximadamente $1,7 \cdot 10^{18}$ W (SMETS *et al*, 2016). Inevitável para o ciclo das águas e também para o desenvolvimento de seres vivos, que se tornam combustíveis fósseis ao longo do tempo, o Sol é responsável por praticamente todas as outras possíveis fontes de energia encontradas na natureza (TIEPOLO, 2015).

Na camada externa do sol, chamada de fotosfera, onde a temperatura é de aproximadamente 6000K, é gerada toda a radiação solar que chega na Terra. Na média, a irradiância total emitida pelo sol num plano perpendicular à sua direção visto da Terra, fora da atmosfera terrestre, é de aproximadamente 1.361 W/m^2 , a chamada constante solar (SMETS *et al*, 2016). Porém, quando entram na atmosfera terrestre, devido ao espalhamento de parte da irradiação, esse valor resulta em 1000 W/m^2 em um dia sem nuvens, valor padrão considerado no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos (PEREIRA *et al*, 2006). A radiação solar que chega à atmosfera terrestre é dividida em três componentes distintas, a radiação direta, difusa e refletida, como ilustra a Figura 1. A direta consiste em todo feixe que vem em uma linha reta do Sol para a superfície terrestre. Já a difusa é a parcela de radiação solar que é espelhada para fora de sua linha direta por moléculas presentes na atmosfera terrestre. Por fim, a radiação refletida é a parcela que volta para a atmosfera devido à refletância do solo ou da superfície em que incide (NREL, 2016).

Figura 1 - Componentes da radiação solar.



Fonte: (PINHO *et al.*,2008).

O índice Albedo é utilizado para determinar a fração da energia refletida para cada tipo de solo (NREL, 2016). Alguns valores típicos de albedo para os tipos de superfície mais comuns estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de albedo para diferentes superfícies

Superfície	Albedo
Gramado	0,18 a 0,23
Grama seca	0,28 a 0,32
Solo descampado	0,17
Asfalto	0,15
Concreto	0,2
Neve fresca	0,8 a 0,9
Água, para diferentes valores de altura solar:	
> 45 graus	0,05
30 graus	0,08
20 graus	0,12
10 graus	0,22

Fonte: (MARKVART e CASTAÑER, 2004).

O valor padrão da constante solar muda drasticamente devido a variações locais na atmosfera, como vapor d'água, nuvens, poluição, latitude, época do ano e hora do dia. Regiões desertas tendem a ter uma menor variação devido a nuvens, enquanto que regiões equatoriais registram pouca variação entre épocas do ano. Mesmo assim, considerando todas as perdas na irradiação solar, ao entrar na atmosfera terrestre, estima-se que duas horas da potência irradiada na Terra pelo Sol são suficientes para abastecer o consumo energético anual de toda a população terrestre (PINHO; GALDINO, 2014). Isso demonstra a imensa capacidade energética que o Sol disponibiliza para a humanidade, e reforça a importância e necessidade de exploração dessa forma de geração de energia.

A radiação solar é especificada, de maneira genérica, com base no fluxo de potência, sendo denominada como irradiância solar, ou ainda por energia por unidade de área em um determinado período de tempo, denominada como irradiação solar. Ambas podem ser representadas por diferentes unidades, como exemplo, J/cm^2 , cal/cm^2 , W/m^2 para irradiância e $cal/cm^2 \cdot min$, $mcal/cm^2 \cdot s$, $MJ/m^2 \cdot dia$, kWh/m^2 para irradiação (PINHO; GALDINO, 2014).

2.1.2. Física dos Semicondutores

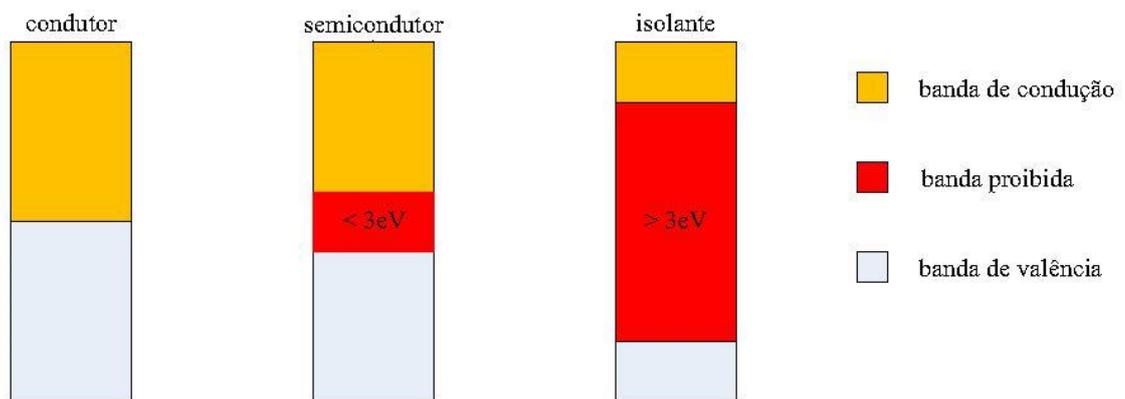
Materiais semicondutores, embora pertençam a diferentes grupos na tabela periódica, contém uma grande similaridade. São caracterizados pelos elementos químicos da tabela periódica que tem uma condutividade elétrica menor que a dos metais, porém maior que a de materiais isolantes.

Embora exista um grande número de compostos com características semicondutoras com dois, três, e até quatro elementos. Os mais comuns são o carbono (C), germânio (Ge), arsênio (As), fósforo (P), selênio (Se), telúrio (Te) e, o comercialmente mais utilizado, o silício (Si) (PINHO; GALDINO, 2014).

Em cada átomo de um semicondutor são encontrados quatro elétrons na sua camada mais distante do núcleo do átomo, chamada de camada de valência. Quando esses elétrons são compartilhados com outros elétrons presentes em um átomo próximo, uma ligação covalente é formada. Quando esse átomo é exposto a temperaturas elevadas, esses elétrons podem separar-se da sua ligação covalente, ficando livres para se movimentarem. Da mesma maneira, caso esses átomos sejam expostos a baixas temperaturas, há uma dificuldade maior para que esses elétrons possam romper suas ligações covalentes. Essa variação da temperatura em que um semicondutor é inserido que determina se o elemento terá um comportamento isolante (baixas temperaturas) ou condutor (temperaturas elevadas).

Para aplicação em células solares, uma das características mais importantes para determinação do semicondutor a ser utilizado é a energia mínima necessária para que o elétron consiga romper sua ligação covalente (SMETS *et al*, 2016). Quanto mais energia transmitida por um fóton for absorvida pelos átomos do material semicondutor, mais elétrons estarão livres na camada de condução e conseqüentemente haverá uma maior geração de energia elétrica. Mas nem todos os fótons incidentes na superfície de um semicondutor são absorvidos. Alguns deles são refletidos pela camada externa do material. Outros, embora absorvidos, tem energia menor que o *band gap* do material e podem ultrapassá-los diretamente. Ambos os casos são considerados como perdas mecânicas. Fótons com energia maior que o *band gap* do material tem a energia extra desperdiçada para aplicações fotovoltaicas. Isso explica porque a superfície do material é responsável por grande parte da geração de energia, pois é onde a maioria dos fótons são absorvidos. Na Figura 2 é possível identificar como são as bandas de energia para os diferentes tipos de materiais.

Figura 2 - Bandas de energia de um material condutor, semicondutor e isolante.



Fonte: PINHO; GALDINO, 2014.

Para que a densidade de potência absorvida pela célula solar seja a mais próxima possível da potência incidente, os raios solares devem estar perpendiculares à superfície das células e dos módulos fotovoltaicos. A densidade de potência absorvida está diretamente relacionada ao cosseno do ângulo entre a linha de incidência do raio solar e a normal da superfície. Quanto mais paralela for a incidência de raios solares, menor será a potência absorvida pelo material.

2.1.3. Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico, responsável pela geração de uma diferença de potencial na junção de dois materiais diferentes devido à radiação eletromagnética, foi descoberto pelo cientista francês Alexandre Becquerel em 1839, enquanto observou uma diferença de potencial entre eletrodos mergulhados em uma solução ácida enquanto eram iluminados (PINHO; GALDINO, 2014).

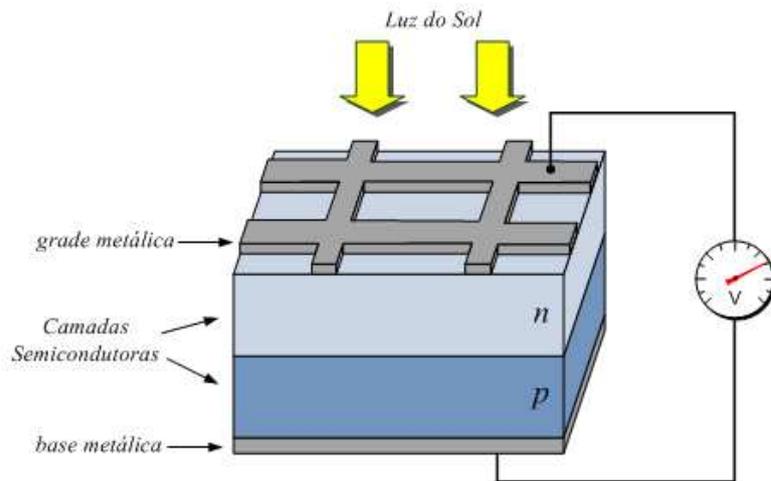
O efeito consiste em três etapas. Na primeira, ocorre a absorção dos fótons nos materiais que formam a junção, liberando elétrons na camada de valência. Essa liberação de elétron cria um buraco, liberando a criação de um par. A energia radioativa do fóton é convertida para a energia química do buraco de par de elétrons. A eficiência máxima de conversão é limitada pela termodinâmica, variando de 67%, para raios solares não concentrados, até 86%, para raios solares completamente concentrados (SMETS *et al*, 2016). Em seguida, há a separação das cargas geradas pelo fóton na junção. Na célula solar, os elétrons e os buracos devem atingir suas membranas antes que eles se recombinaem. Com membranas semipermeáveis, os elétrons e buracos se mantêm separados, podendo então ser utilizados na alimentação de um circuito elétrico. Nesta última etapa, a energia química é convertida em energia elétrica. Depois de passar no circuito elétrico, os elétrons serão recombinaados com os buracos presentes na outra camada.

2.2. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

2.2.1. Célula Fotovoltaica

As células fotovoltaicas são dispositivos que, através do fenômeno físico denominado efeito fotovoltaico, têm a capacidade de converter energia luminosa em energia elétrica. Isso é possível em função da estrutura dessas células, exemplificada na Figura 3, pois são compostas por duas camadas de material semicondutor P e N, uma grade de coletores metálicos superior e uma base metálica inferior, sendo essas partes metálicas os terminais elétricos responsáveis por captar a corrente elétrica produzida. No caso das células comerciais, para aumentar a eficiência e evitar demasiada reflexão, é adicionada uma camada de material anti reflexivo.

Figura 3 - Ilustração da estrutura básica de uma célula fotovoltaica.

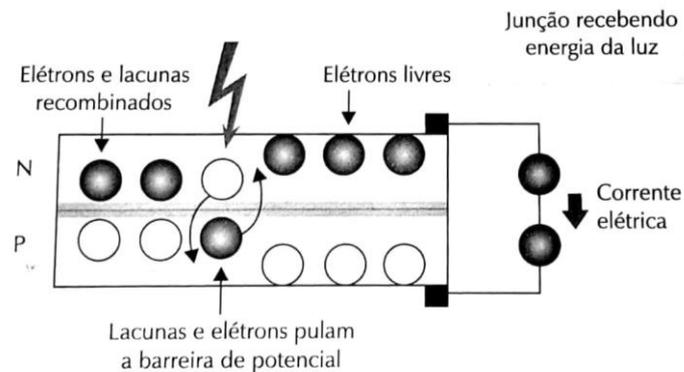


Fonte: ALMEIDA, 2011.

Para entender como o efeito fotovoltaico se aplica nessas células é preciso compreender que as mesmas são constituídas pela junção de uma camada P e uma camada N do material semicondutor. A porção N apresenta elétrons em excesso, já a porção P tem a falta deles, ou seja, apresenta lacunas. Quando essas camadas são colocadas em contato, tem-se a formação da junção semicondutora, onde, no momento em que a luz incide sobre a célula e descarrega sua energia sobre os elétrons, aqueles que estão em excesso na camada N têm energia suficiente para deslocar-se até as lacunas da camada P e assim vencer a barreira de potencial criada entre as camadas no interior da célula.

Mesmo que alguns elétrons preencham essas lacunas da camada P, grande parte deles fica livre, possibilitando a formação da corrente elétrica, uma vez que esses elétrons em movimento tendem a circular em direção aos eletrodos metálicos da camada N, como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Reação dos elétrons nas camadas semicondutoras quando expostos à luz.



Fonte: VILLALVA; GAZOLI, 2012.

Existem vários materiais que podem ser utilizados na fabricação das camadas semicondutoras das células. Atualmente, o mais empregado é o silício, em razão da sua abundância no planeta Terra, bem como pela facilidade de ser encontrado, por se tratar de um material não tóxico, pelo seu baixo custo e, por fim, considerando todo o conhecimento já assimilado sobre suas propriedades.

O silício é obtido através da extração do mineral quartzo. Embora o Brasil detenha as maiores reservas mundiais de quartzo, estimado em 95% das reservas do planeta, as empresas que o exploram não tem base tecnológica para agregar valor e manufaturar produtos derivados do quartzo, dessa forma, a purificação do silício, bem como a fabricação das células, não acontecem no país (DNPM, 2015).

A seguir serão expostas as particularidades dos modelos de células mais empregados atualmente. São elas, as de silício monocristalino, policristalino e filme fino.

2.2.1.1. Silício monocristalino

Dos tipos de células disponíveis no mercado e produzidos em larga escala, esse é o modelo mais eficiente. No entanto, seu processo produtivo tem um custo mais elevado do que os demais, devido à necessidade de uma grande quantidade de energia, em razão da utilização de materiais muito puros e com estrutura de cristal perfeita (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

O procedimento se inicia com a obtenção do lingote de silício monocristalino através da exposição do silício ultrapuro à altas temperaturas. Em seguida, o lingote é serrado em finas fatias de silício puro, chamadas *wafers*. Esses *wafers* ainda não possuem as propriedades de uma célula fotovoltaica e por isso precisam receber impurezas em suas faces através de

processos químicos para produzir as camadas P e N, fundamentais para o funcionamento da célula. Para finalizar, são adicionadas a base metálica inferior, a grade metálica e a camada antirreflexiva (VILLALVA; GAZOLI, 2012). Uma célula fotovoltaica monocristalina é ilustrada na Figura 5.

Figura 5 - Exemplo de uma célula fotovoltaica monocristalina.



Fonte: The United Solar Incorporation, 2019.

2.2.1.2. Silício policristalino

As células policristalinas apresentam um custo de produção menor do que as células monocristalinas, isso porque utiliza-se menos energia no processo de fabricação do silício policristalino, ou seja, a preparação das células não é tão rigorosa, ainda que, também seja necessário o corte do lingote policristalino em *wafers* para a obtenção dessas células. No entanto, a eficiência dessas células é inferior aos valores obtidos com as monocristalinas (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Essa queda de eficiência acontece devido à imperfeição do cristal, visto que o lingote de silício policristalino é formado por uma grande quantidade de pequenos cristais irregulares, isto é, com tamanhos e orientações diferentes. Na Figura 6, nota-se esta irregularidade no aspecto da célula, em razão das manchas apresentadas em sua coloração, diferentemente das monocristalinas, cuja aparência é uniforme.

Figura 6 - Exemplo de uma célula fotovoltaica policristalina.



Fonte: Bosch Solar Energy AG, 2011.

2.2.1.3. Filmes finos

Os dispositivos de filmes finos são constituídos por finas camadas de material fotovoltaico (silício e outros) depositadas em uma base rígida ou flexível, de vidro, metal ou polímeros. Essa deposição pode ocorrer por vaporização, deposição em vácuo ou por outros métodos, evitando desperdícios, como os que ocorrem na serragem dos *wafers*, uma vez que são necessárias apenas pequenas quantidades de matéria-prima para a fabricação das células, e isso diminui o custo desta tecnologia. Além disso, essa técnica utiliza menos energia em seu processo, visto que suas temperaturas de fabricação, que estão entre 200°C e 500°C, são menores que os 1500°C empregados no processo de obtenção das células cristalinas (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

O processo realizado para obter esse tipo de células é mais simples e por isso tem um custo relativamente baixo, porém essa tecnologia tem baixa eficiência e dessa forma necessita de uma área maior para produzir a mesma energia que os dispositivos cristalinos produziram em uma superfície menor.

No entanto, os filmes finos conseguem aproveitar de forma mais eficiente a luz solar em casos de radiações do tipo difusa ou com níveis relativamente baixos. Além disso, essas células são mais indicadas para locais quentes, isso porque, com o aumento da temperatura, a produção de energia tende a ser menor e no caso dos filmes finos essa diminuição é inferior quando comparada a dos outros métodos. Essa tecnologia, também é menos afetada com o sombreamento parcial, causando menores perdas na produção de energia (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Existem diferentes técnicas que recorrem aos conceitos dos filmes finos, são elas: silício amorfo (aSi); silício microcristalino (μ Si); tecnologia de telureto de cádmio (CdTe); tecnologia de CIGS (cobre-índio-gálio-selênio).

O primeiro tipo de filme fino desenvolvido foi o silício amorfo, que se difere da forma cristalina por ser mais reativo. Considerando que as células amorfas apresentam eficiência muito baixa e por sofrerem uma redução ainda maior no primeiro ano de funcionamento, em razão da degradação pela incidência da luz, foram estudados outros materiais que pudessem compor de forma mais eficiente as células de filme fino (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Uma alternativa foi o silício microcristalino, capaz de agregar não somente as vantagens do silício cristalino, como uma maior eficiência, mas também as características de produção em massa, menor desperdício, automatização e menor uso de energia do processo de fabricação dos filmes finos.

As próximas tecnologias são as mais eficientes dentro desse grupo, porém ainda encontram obstáculos para atingir a produção em larga escala. Isso porque, para as células de CdTe, existe a questão da toxicidade do cádmio (Cd) e a dificuldade de se encontrar o telúrio em grandes quantidades. Já a tecnologia de CIGS esbarra na questão financeira, devido ao seu custo final elevado.

2.2.1.4. Comparação entre os tipos de células

É difícil afirmar qual tecnologia é mais vantajosa, porque, como visto nas seções anteriores, algumas têm custos menores, porém sua eficiência também é menor quando comparada aos outros tipos, o que levaria a necessidade de uma área instalada maior. Enquanto isso, outras são mais caras, mas com eficiência relativamente maior e assim por diante. Para ter um breve panorama do comportamento de cada tipo de célula, pode-se analisar a Tabela 2.

Tabela 2 - Nível de eficiência dos diferentes tipos de células fotovoltaicas em laboratório

Material da célula fotovoltaica	Eficiência da célula
Silício monocristalino	26,7%
Silício policristalino	22,3%
Silício microcristalino	11,9%
Silício amorfo	10,2%
CIS, CIGS	22,9%
Telureto de cádmio	21%

Fonte: Adaptado de GREEN *et al*, 2019.

2.2.2. Módulos Fotovoltaicos

Uma célula fotovoltaica, por se tratar de um dispositivo elementar, não é capaz de produzir muita eletricidade, então, para resolver esse problema, faz-se necessária a conexão elétrica de várias células, construindo assim os módulos ou painéis fotovoltaicos. Deve-se atentar para a escolha dos tipos de células que irão compor um módulo fotovoltaico. A associação de células com diferentes características pode provocar uma incompatibilidade gerada pelo efeito de descasamento, onde as células com menor capacidade de corrente limitam a geração de todos os outros tipos de células presentes no módulo (PINHO; GALDINO, 2014).

Para fabricação de um módulo fotovoltaico é realizada a interconexão das células através de fios condutores de cobre ou alumínio, sempre conectando o lado inferior de uma célula com a parte superior da próxima, formando assim séries de células interconectadas, chamadas *strings*. Nessa etapa é importante garantir que as células fiquem alinhadas e sem rachaduras para atingir a maior eficiência possível. Em seguida, as *strings* são posicionadas sobre o filme encapsulante para o painel solar (EVA), utilizado para proteger as células das altas temperaturas, umidade e do envelhecimento causado pelos raios ultravioletas. Depois, as *strings* são soldadas, criando uma ligação elétrica entre elas, para assim receberem a segunda folha de EVA e posteriormente o *backsheet*, filme plástico na cor branca colocado na parte de trás do painel cuja função é proteger os componentes internos e servir como isolante elétrico. Feito isso, a caixa de junção é adicionada à parte traseira do módulo, na qual encontram-se as conexões elétricas das células em série e também, os cabos elétricos e conectores utilizados para interconectar os módulos fotovoltaicos. Por fim, instalam-se as molduras de alumínio para fornecer rigidez e proteção ao vidro do painel (PORTAL SOLAR, 2019).

Na maior parte dos casos, as células são associadas em série, para obter maiores tensões de saída. Isso, tendo em vista que uma célula isolada pode produzir aproximadamente 0,6V e que os módulos, geralmente, são compostos por 60 ou 72 células para a tecnologia de silício cristalino, disponibilizando entre 38V ou 44V, respectivamente.

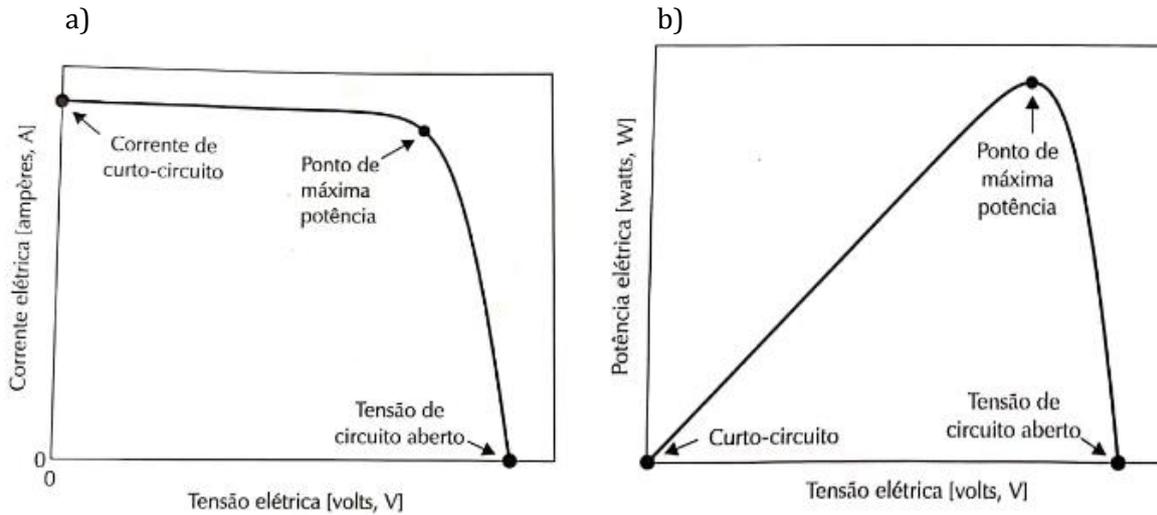
Pelo fato de a corrente elétrica depender diretamente da quantidade de luz que as células recebem, a área abrangida pelos painéis se torna determinante na geração da corrente. Isto é, a corrente fornecida será maior quando houver maior captação de luz. A corrente fornecida pelo módulo pouco é alterada com a temperatura, no entanto, a temperatura afeta a tensão fornecida pelo módulo e conseqüentemente intervém na potência gerada. Em temperaturas mais baixas têm-se maiores tensões e potências, já em temperaturas mais altas as tensões são menores e a potência também (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Os módulos fotovoltaicos de silício cristalino são constituídos por um conjunto de células discretas e os modelos comerciais ostentam tensões máximas em torno de 40V, fornecendo aproximadamente 11A e potência de até 415W (CANADIAN SOLAR, 2019). Os painéis de filmes finos, por sua vez, são caracterizados pelo seu aspecto uniforme e nas versões comerciais chegam a entregar até, aproximadamente, 185V de tensão de saída, mas por apresentarem correntes de saída menores, em torno de 2A a 3A, necessitam de um número relativamente grande de conjuntos em paralelo para produzir a energia desejada. Esse tipo de módulo produz potência de até 445W (FIRST SOLAR, 2019).

Para determinar os valores de corrente e tensão dos módulos fotovoltaicos é preciso saber que tipo de carga será acoplada aos seus terminais. Quanto mais corrente o aparelho conectado demandar, menor será a tensão de saída. Essa situação é verificada através das curvas características dos painéis fotovoltaicos, que relacionam corrente e tensão (I-V) e potência e tensão (P-V). Para determinação da sua curva característica I-V, o módulo fotovoltaico é submetido à uma faixa de tensão que varia de poucos *volts* negativos até tensões maiores que a sua tensão de circuito aberto, caracterizada pela tensão máxima gerada pelo módulo quando não há cargas conectadas e sob as condições padrões de ensaio, as quais serão descritas na próxima seção (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Na Figura 7 estão representadas duas curvas características dos painéis fotovoltaicos: a) Curva IV e b) Curva PV. Da esquerda para a direita em ambos os gráficos, o primeiro ponto indica a corrente de curto circuito, ou seja, os terminais do módulo estão em curto circuito, por isso não há tensão e a corrente atinge seu valor mais alto. Já o segundo ponto representa o cenário onde se tem a potência máxima fornecida pelo módulo, sendo nele onde, idealmente, o sistema deve operar, garantindo assim a maior produção de energia. Por fim, o último aponta a tensão de circuito aberto, isto é, a máxima tensão que o painel pode gerar, e isso ocorre quando seus terminais estão em aberto, não havendo nenhuma carga conectada.

Figura 7 – Curvas características dos painéis fotovoltaicos: a) curva I-V; b) curva P-V.



Fonte: Adaptado de VILLALVA; GAZOLI, 2012.

2.2.2.1. Características dos módulos fotovoltaicos comerciais

2.2.2.1.1. Características elétricas em STC

A potência da luz incidente sobre um módulo fotovoltaico está diretamente associada à sua capacidade de geração de energia elétrica. Para que não haja irregularidades entre medidas realizadas sob diferentes condições, prejudicando a comparação entre módulos com características divergentes, criou-se um padrão para aferir a eficiência dos módulos de uma maneira mais assertiva.

Assim foi desenvolvida a tabela de características STC, *Standard Test Conditions*, que expõe os resultados dos testes realizados em condições padronizadas por organismos de certificação internacionais. Esse padrão submete o módulo a ser testado considerando uma irradiância solar de 1000W/m^2 , à temperatura de 25°C e sob uma distribuição espectral padrão AM 1,5 (PINHO; GALDINO, 2014).

Para atingir as determinadas condições, é necessário um laboratório cujo sistema de medição e controle de temperatura e iluminação seja extremamente preciso (VILLALVA; GAZOLI, 2012). No Brasil são utilizadas as instalações credenciadas do INMETRO para tais testes. Sendo que esse mesmo órgão é o responsável por avaliar e certificar os painéis fotovoltaicos no país, através do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) fotovoltaico (INMETRO, 2018).

2.2.2.1.2. Características elétricas em NOCT

Além das características em STC, também é possível encontrar na folha de dados do painel o seu comportamento em NOCT, *Nominal Operation Cell Temperature*, ou seja, esses dados tentam se aproximar ao máximo das condições de funcionamento real do sistema. Adotando 20°C como temperatura ambiente, 800W/m² de irradiância solar e velocidade do vento como 1 m/s (IEC 61215, 2016).

2.2.2.2. Arranjo fotovoltaico

Como já visto anteriormente, é possível agrupar em série ou em paralelo vários módulos para obter mais energia, e essas conexões resultam em um arranjo ou conjunto fotovoltaico.

Geralmente, em conjuntos conectados à rede que operam com altas tensões, as conexões em série, também chamadas de *strings*, são mais usuais. Já no caso dos sistemas fotovoltaicos autônomos e de baixas tensões, utilizam-se as ligações em paralelo. Também é possível encontrar casos onde os dois tipos de ligação são aplicados juntos.

A questão do sombreamento se dá como uma vantagem para o acoplamento em paralelo, isso porque apenas o módulo cuja superfície for atingida pela sombra será afetado, sem comprometer os demais, o que representa uma perda pequena para o sistema. Porém, uma inconveniência para esse tipo de arranjo são as perdas elétricas devido ao uso de cabos com maior diâmetro, usados para suportar as grandes correntes necessárias para suprir casos de menores tensões. Já para as conexões em série isso não é um problema, pois maiores tensões de entrada requerem menores correntes e, conseqüentemente, menores diâmetros de fiação. No entanto, as perdas devido ao sombreamento são mais graves nesse cenário, pois o módulo sob a menor iluminação irá determinar a corrente de operação para todo o restante do arranjo em série (RÜTHER, 2004).

2.2.3. Projetos de Sistemas Conectados à Rede

Visando o aspecto regional da cidade de Curitiba, considera-se neste estudo apenas sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR), mecanismos que operam em paralelo com a rede de eletricidade, ou seja, são utilizados em locais onde já existe fornecimento de energia elétrica. Além de produzir eletricidade para o consumo local, outra vantagem do uso de um

SFCR é a possibilidade de diminuir ou até mesmo eliminar o consumo da rede pública e, em alguns casos, também é possível gerar excedente de energia e fornecer o sobressalente para a rede de distribuição de sua localidade.

Como característica desse tipo de conexão, não há a necessidade de um banco de bateria para a geração de energia. Conseqüentemente, o sistema deve ter capacidade de geração que atenda às características elétricas da rede em que será conectado.

Por motivos de segurança, o sistema é desconectado da rede elétrica pelo inversor quando ocorre a falta de energia elétrica na rede, mesmo que o sistema esteja em condições suficientes de geração. Essa característica, chamada de anti ilhamento, mantém o sistema energizado, porém não permite a utilização dessa energia pelas cargas conectadas à ele. Outro fator importante é que os inversores devem possuir dispositivos seguidores de potência máxima (MPPT) incorporados, que permitem regular os pontos de máxima potência em todos os estados de funcionamento do sistema (VILLALVA; GAZOLI, 2012). A Figura 8 representa o diagrama elétrico de um sistema fotovoltaico conectado à rede.

Figura 8 - Esquema elétrico de um SFCR



Fonte: GERASOL (2016) *apud* TONIN (2017)

2.2.4. Inversores

Devido a tensão e corrente geradas pelos módulos fotovoltaicos através do efeito fotovoltaico ter uma característica contínua, e considerando a grande maioria de equipamentos eletrodomésticos e comerciais serem alimentados por tensão alternada em frequências de 50 ou 60Hz, há a necessidade de converter essa energia gerada em formas de tensão e corrente

alternada. O equipamento responsável por essa conversão são os inversores. O inversor também é responsável por alinhar características como amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequados à carga, e também por realizar o sincronismo com a tensão da rede em sistemas conectados (PINHO; GALDINO, 2014).

Com grande aplicação industrial, os inversores são caracterizados em duas categorias para aplicações voltadas à geração de energia fotovoltaica: SFIs e SFCRs. Embora ambas categorias partilham dos mesmos princípios de funcionamento, os modelos específicos para serem conectados à rede atendem a requisitos de segurança e qualidade de energia demandados pelas concessionárias (URBANETZ JR, 2010).

Baseado em seu princípio de operação, podem ser classificados em comutados pela rede ou autocomutados. Os comutados pela rede caracterizam-se pelos inversores que utilizam tiristores, que são dispositivos semicondutores que suportam altas tensões e correntes, para a conversão de energia. Devido ao uso desses componentes, a troca do estado de condução para o estado de corte é controlada pelo próprio circuito de potência, justificando o nome desse tipo de operação. Apesar de sua elevada robustez e simplicidade, acabaram perdendo espaço no mercado devido à sua baixa qualidade na tensão e corrente de saída.

Por outro lado, os inversores caracterizados como autocomutados contêm uma unidade específica de comando, permitindo seu corte e condução em qualquer instante do tempo. Isso reflete em um maior controle sobre a forma de onda e tensão de saída dos inversores.

Para sistemas conectados à rede, como mostra a Figura 9, existem quatro diferentes configurações entre o conjunto de módulos fotovoltaicos e inversores:

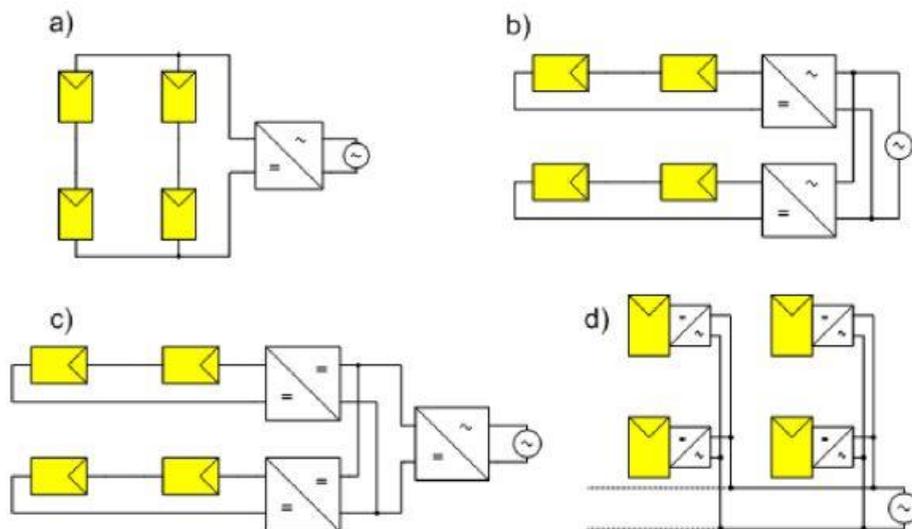
Inversor central: consiste no controle de vários módulos fotovoltaicos, com associação em série e paralela, interligados ao mesmo inversor. Essa configuração tem baixo custo de implantação e não permite a busca do *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) para cada série de módulos. Geralmente são inversores trifásicos de grande porte, com potência entre centenas de kWp até MWp, largamente utilizados em usinas fotovoltaicas (PINHO; GALDINO, 2014) (URBANETZ JR, 2010).

Inversor *multi-string*: constitui-se em vários arranjos de módulos fotovoltaicos conectados à seus respectivos conversores CC-CC. Na saída desses conversores, encontra-se um barramento CC o qual está conectado à um inversor CC-CA. Podem ser utilizados inversores trifásicos ou monofásicos, sendo a configuração mais comum e adequada para instalações urbanas, onde cada fileira pode permanecer em áreas com diferentes índices de radiação (PINHO; GALDINO, 2014) (URBANETZ JR, 2010).

Inversor *string*: diferentemente do *multi-string*, nessa configuração cada arranjo de módulos fotovoltaicos possui seu inversor individual. O barramento comum entre as fileiras torna-se o barramento CA. Há um aumento na eficiência utilizando essa configuração, porém o custo é elevado se comparado com inversores centralizados. Geralmente são utilizados conversores monofásicos em microgeração, com potência de até 10kWp (PINHO; GALDINO, 2014)

Módulo CA: cada módulo fotovoltaico tem seu inversor individual, que pode funcionar em seu respectivo MPPT. Como desvantagem dessa topologia tem-se o alto custo de implantação, devido ao elevado número de inversores necessários (URBANETZ JR, 2010).

Figura 9 - Topologias de SFCR: a) inversor central; b) inversor por string; c) inversor multi string; d) módulo CA



Fonte: SCHIMPF e NORUM (2008) apud URBANETZ (2010)

Alguns pontos devem ser observados para determinar a qualidade de um inversor. Para aplicações fotovoltaicas em SFCR, o inversor deve possuir elevada eficiência de conversão, baixa emissão de conteúdo harmônico, alto índice de segurança e uma ampla faixa de operação nas tensões de entrada e saída (PINHO; GALDINO, 2014).

2.2.5. Posicionamento Ideal dos Módulos

Os raios solares chegam à Terra como linhas retas, porém, devido ao efeito da difusão, uma parte desses raios é desviada em diversas direções, no entanto, prevalece a radiação direta,

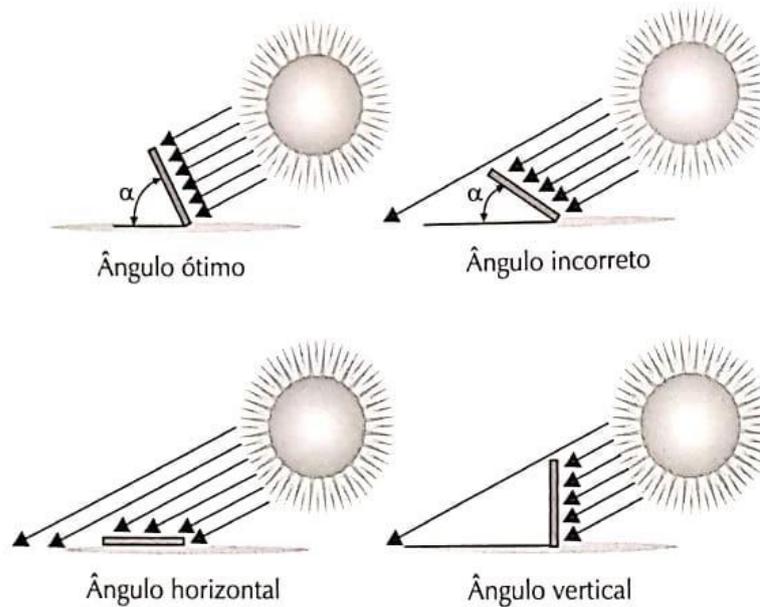
atingindo cada ponto do planeta com intensidade e inclinação diferentes. Para otimizar a captação da radiação solar direta pelos painéis, é necessário posicioná-los de maneira adequada.

Dessa forma, em um projeto de sistemas fotovoltaicos, um dos fatores mais determinantes para o seu desempenho é a orientação e inclinação dos painéis. A superfície dos módulos deve estar orientada para a linha do Equador para uma operação apropriada e efetiva (PINHO; GALDINO, 2014). Sendo assim, como a cidade de Curitiba encontra-se no hemisfério sul do globo terrestre, a orientação ideal para os módulos instalados na região, assim como em quase todo o Brasil, com exceção dos locais acima da linha do equador, é voltada para o norte geográfico. Já nos sistemas localizados no hemisfério norte, os painéis devem ser orientados para o sul geográfico.

Deve-se atentar que, a bússola, instrumento tradicionalmente utilizado para verificação do norte, aponta para o norte magnético da Terra, sendo necessário então a correção do referencial magnético para o correto posicionamento do painel fotovoltaico (PINHO; GALDINO, 2014).

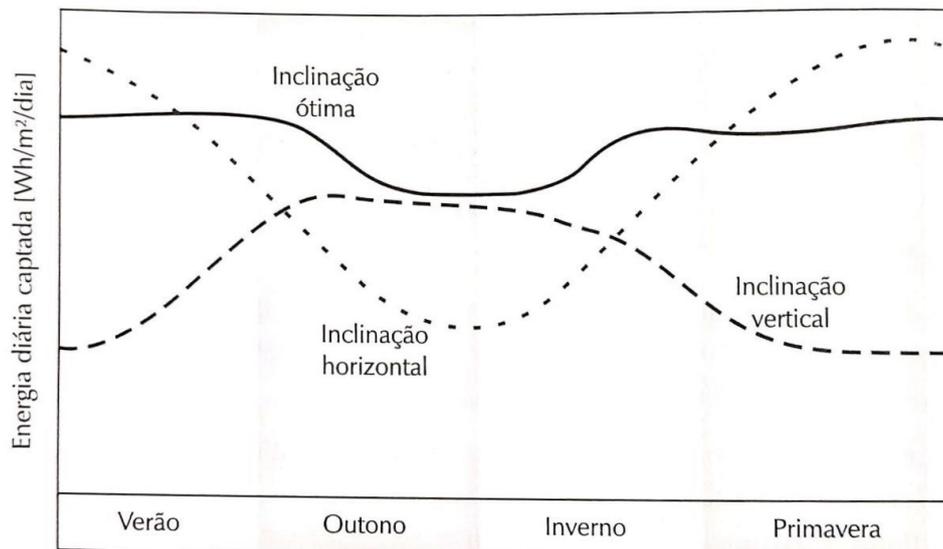
Quando os raios solares incidem perpendicularmente ao painel, é quando ocorre o melhor aproveitamento da energia solar e para que isso acontecesse durante todo o tempo em que o módulo está exposto ao sol, a inclinação dos painéis deveria ser ajustada conforme o movimento do sol, o que não acontece na maioria dos casos. Dessa maneira, é preciso determinar um ângulo fixo que permita o maior aproveitamento médio da incidência solar no ponto de instalação do sistema. A Figura 10 mostra como ocorre a incidência solar em diferentes ângulos de inclinação em relação ao solo. Já a Figura 11 ilustra o comportamento desses módulos em virtude da inclinação ao longo do ano para regiões localizadas no hemisfério sul da Terra.

Figura 10 - Diferença da captação dos raios solares de acordo com o ângulo de inclinação do módulo.



Fonte: VILLALVA; GAZOLI, 2012.

Figura 11 - Captação de energia ao longo do ano em razão da inclinação do módulo.



Fonte: VILLALVA; GAZOLI, 2012.

Como visto, a incidência solar varia de lugar para lugar, então, para conseguir o melhor aproveitamento da radiação solar incidente, os módulos deverão estar inclinados em relação ao plano horizontal e esse ângulo de inclinação irá variar de acordo com a latitude do local. É importante ressaltar que para impedir e dificultar o acúmulo de poeira e sujeira sobre os módulos, não se aconselha a instalação em ângulos inferiores a 10° .

Outro fator que também deve ser considerado para o posicionamento dos painéis é o fator de espaçamento, para evitar que os módulos sejam instalados próximos a objetos que possam causar sombreamento sobre eles no período de melhor radiação, geralmente das 9 às 17 horas, considerando os dias mais curtos do ano (PINHO; GALDINO, 2014). O fator de espaçamento (Fe) é dado em metros e também varia de acordo com latitude do local onde o painel será instalado, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Variação do fator de espaçamento em relação à latitude de instalação.



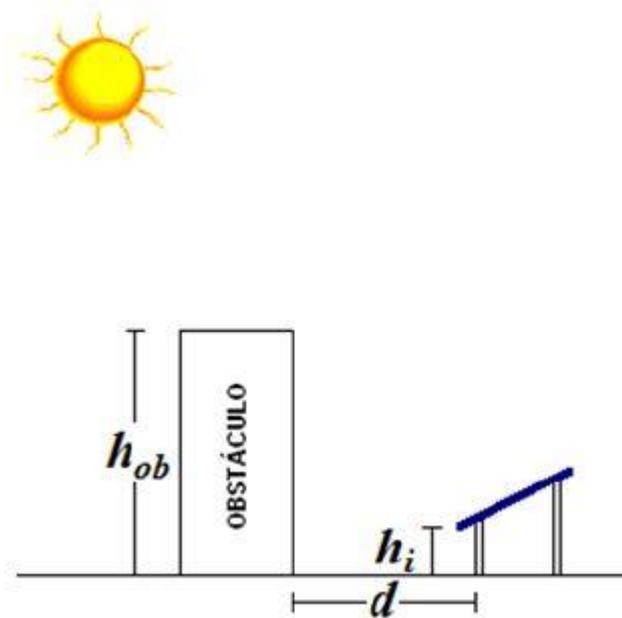
Fonte: PINHO; GALDINO, 2014

Com a obtenção do fator de espaçamento, pode-se estimar a distância mínima a ser mantida entre o painel fotovoltaico e o obstáculo em função da altura do obstáculo (h_{ob}) e da altura de instalação dos painéis (h_i) através da Equação 1:

$$d = Fe (h_{ob} - h_i) \quad (1)$$

Os parâmetros da equação são demonstrados na Figura 13.

Figura 13 - Ilustração dos parâmetros de definição do espaçamento mínimo entre módulos e obstáculos que possam causar sombreamento.



Fonte: PINHO; GALDINO, 2014

2.3. RESOLUÇÕES NORMATIVAS

2.3.1. ANEEL

A ANEEL é a Agência Reguladora de Energia Elétrica e descreve as normas mais importantes vigentes para geração, distribuição e transmissão de energia elétrica no Brasil.

2.3.1.1. REN nº 482/2012

Criada no dia 17 de abril de 2012, a resolução normativa nº 482/2012 permite ao consumidor brasileiro gerar sua própria energia através de fontes renováveis. A mesma resolução permite que o excedente, caso ocorra, possa ser distribuído para a rede de distribuição local (ANEEL, 2012b). A norma visa trazer uma consciência socioambiental e autossustentável. Foi um importante passo para estabelecer uma ideia sustentável e incentivadora para que pequenos consumidores iniciassem a própria geração de energia elétrica através de fontes sustentáveis e em pequena escala.

A norma caracteriza as vertentes de micro e minigeração distribuída de energia elétrica e enaltece todas as vantagens dessas abordagens, como a diversificação da matriz energética nacional, instalações com baixo impacto ambiental, investimentos na expansão dos sistemas de

transmissão e distribuição, o que auxilia na minimização das perdas e também na redução do sobrecarregamento das redes já existentes (ANEEL, 2015). Foi revisada alguns anos depois, gerando a norma mais atual sobre a geração distribuída, a REN 687/2015.

2.3.1.2. REN nº 687/2015

Criada com o objetivo de aperfeiçoar o conteúdo da resolução normativa 482/2012, foi publicada em 2015 a resolução normativa nº 687/2015. Visando compatibilizar o sistema de compensação de energia elétrica com as condições gerais de fornecimento, descritas na resolução normativa nº 414/2010, essa norma descreve as informações na fatura com mais detalhes, buscando aumentar o público alvo e reduzir os custos e tempo para conexão da micro e minigeração. Nela, as definições previamente descritas na REN 482 foram revisadas, sendo consideradas atualmente os seguintes parâmetros:

Microgeração distribuída é uma central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75kW (ANEEL, 2015).

Minigeração distribuída, no caso dos sistemas fotovoltaicos, é uma central geradora de energia elétrica com potência instalada superior a 75kW e menor ou igual a 5MW (ANEEL, 2015).

Na mesma REN, a ANEEL determina que as distribuidoras devem adequar seus sistemas comerciais, com elaboração de novas normas técnicas caso seja necessário, utilizando como referência os módulos do PRODIST, atendendo assim as requisições de acesso para micro e minigeradores.

Também foi implementado o autoconsumo remoto. Pela norma, quando a quantidade de energia gerada for superior à quantidade de energia consumida, o consumidor fica com crédito que podem ser consumidos durante os 60 meses consequentes. Ou, caso o consumidor julgue adequado, os créditos também podem ser utilizados para abater o consumo de uma outra unidade consumidora, sob mesma titularidade, que esteja em um local cujo atendimento é realizado pela mesma distribuidora de energia (ANEEL, 2015).

A norma também adequou a possibilidade de instalação da geração distribuída em condomínios, permitindo assim compartilhar a energia gerada entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios.

No mesmo texto também foi implementado o conceito de geração compartilhada, permitindo que diversos consumidores se unam para que seja instalada uma micro ou minigeração, e utilizem a energia para redução das faturas dos cooperados.

Nesta norma, visando facilitar e padronizar os procedimentos necessários para liberação da geração distribuída, a ANEEL estabelece regras e formulários padrões para solicitação. O tempo disponível para que a distribuidora conecte os consumidores à rede caiu de 82 para 34 dias. A ANEEL não se responsabiliza por decisões que interferem no custo/benefício da implementação distribuída, como o tipo da fonte de energia, tecnologia dos equipamentos, localização, valor da tarifa, condições de pagamento e financiamento dos projetos, ficando por inteira responsabilidade do consumidor.

Para unidades consumidoras que pertencem ao grupo B, ou seja, conectadas em baixa tensão, o crédito na rede não dispensa a taxaço do chamado custo de disponibilidade, mesmo se a energia gerada for maior que a energia consumida. Isso se refere ao pagamento, em reais, do valor equivalente à 30kWh em sistemas monofásicos, 50kWh em sistemas bifásicos e 100kWh em sistemas trifásicos (ANEEL, 2015).

2.3.1.3. Módulo 3 do PRODIST

O PRODIST, Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, estabelece condições e requisitos para o procedimento adequado de acesso à distribuição de energia do Sistema Interligado Nacional. Através dele, tornam-se obrigatórias as etapas de solicitação e de parecer de acesso. A solicitação deve conter os documentos anexados ao módulo 3 do PRODIST, na seção 3.7. Conforme é estabelecido na mesma seção, o requerimento deve ser realizado de forma simples e rápida, e também descreve todos os elementos de proteção necessários para garantir a segurança do sistema e das pessoas envolvidas.

O sistema de medição deve ser atualizado para a medição bidirecional, atendendo às especificações exigidas pela unidade consumidora. Essa medição pode ser realizada por meio de dois medidores unidirecionais caso essa seja solicitação do titular da unidade consumidora.

2.3.2. COPEL

A COPEL, criada em 1954, é a empresa responsável por atuar nas áreas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica na grande maioria das cidades do estado do Paraná, incluindo sua capital, foco do estudo. É controlada majoritariamente pelo governo do Estado e possui normas técnicas específicas para a geração distribuída sob sua área de concessão.

2.3.2.1. NTC 905100

Criada em 1 de junho de 2017, a NTC 905100 tem por objetivo estabelecer as condições necessárias para acesso de geradores elétricos ao sistema elétrico de distribuição da COPEL em média tensão - MT (13,8 kV e 34,5 kV) e em alta tensão - AT (69 kV e 138 kV). Aplicada aos geradores que pretendem criar empreendimentos de geração de energia visando sua comercialização (COPEL, 2017).

2.3.2.2. NTC 905200

Esta norma técnica estabelece os requisitos para acesso aos geradores de energia elétrica para unidades consumidoras, após instituição da REN 482/2012 da ANEEL. Aplica-se à sistemas com potência instalada de até 5MW. Também detalha os critérios para a compensação caso o consumidor gere energia excedente em sua unidade consumidora. Foi elaborada com base nos critérios de projeto, proteção, controle e medição detalhados no PRODIST, descrevendo o processo para conexão de micro e minigeração, desde o primeiro contato com a companhia até a liberação para operação do sistema (COPEL, 2014).

2.4. TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Para compreender um dos fatores mais importantes de um projeto de sistema fotovoltaico, o *payback*, é fundamental assimilar a composição da tarifa de energia elétrica e as mudanças decorrentes da geração distribuída. A tarifa busca assegurar aos prestadores de serviços uma receita suficiente para que os custos operacionais sejam eficientes e possam garantir o fornecimento de energia elétrica com qualidade em todas as regiões do país. Os custos relacionados aos investimentos para expandir a capacidade de geração também são repassados ao consumidor, e são calculados pela ANEEL (ANEEL, 2019).

A tarifa de energia elétrica tem um valor diferente para cada estado brasileiro. Os valores são determinados e reajustados através do reajuste tarifário anual, que estabelece o poder de compra de cada concessionária, e são divididas basicamente em duas parcelas. A primeira, chamada de Parcela A, são os valores referentes à compra de energia elétrica por parte das concessionárias, acrescido do custo de transmissão dessa energia até a área de atuação da distribuidora (ANEEL, 2019). Já a outra parcela, chamada de Parcela B, é composta de pelos custos operacionais, receitas irrecuperáveis, remuneração de capital e cota de depreciação. Estes

são revisados a cada 4 anos, e também são corrigidos anualmente pelo índice definido no contrato de concessão, podendo este ser o IGP-M ou IPCA (ANEEL, 2019). A composição dessas duas parcelas resulta em um valor de referência, determinado pela ANEEL, da tarifa de energia elétrica de cada concessionária do Brasil.

2.4.1. TE e TUSD

A tarifa dos consumidores cativos é composta por duas referências principais: Tarifa de Energia Elétrica (TE) e Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD). A TE é referente aos contratos de compra de energia entre a unidade consumidora e a concessionária. É o valor monetário determinado pela ANEEL para efetuar o faturamento mensal referente ao consumo de energia. Por outro lado, a TUSD se atribui aos custos do uso do sistema de distribuição. Ambos os critérios de reajuste foram definidos através da Resolução Normativa nº 479, de 2012 (ANEEL, 2012a). Ambas as tarifas são estimadas de acordo com diversas metodologias de cálculo tarifário para a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Atualmente, para o grupo B, subgrupo B1 (residencial) enquadrado na modalidade tarifária Convencional, predominante na geração distribuída, a tarifa sob a área de concessão da COPEL Distribuidora está definida em R\$ 517,60/MWh, ou R\$ 0,5176/kWh. Esse valor é resultado da composição da TE e da TUSD, cujas representatividades na tarifa variam de acordo com os cálculos das revisões tarifárias. Atualmente, a TE representa R\$ 273,90/MWh, enquanto que a TUSD tem um custo de R\$ 243,70/MWh, como demonstrado na Figura 14.

Figura 14 - Parcela da TE e TUSD na composição da tarifa de energia elétrica para a COPEL

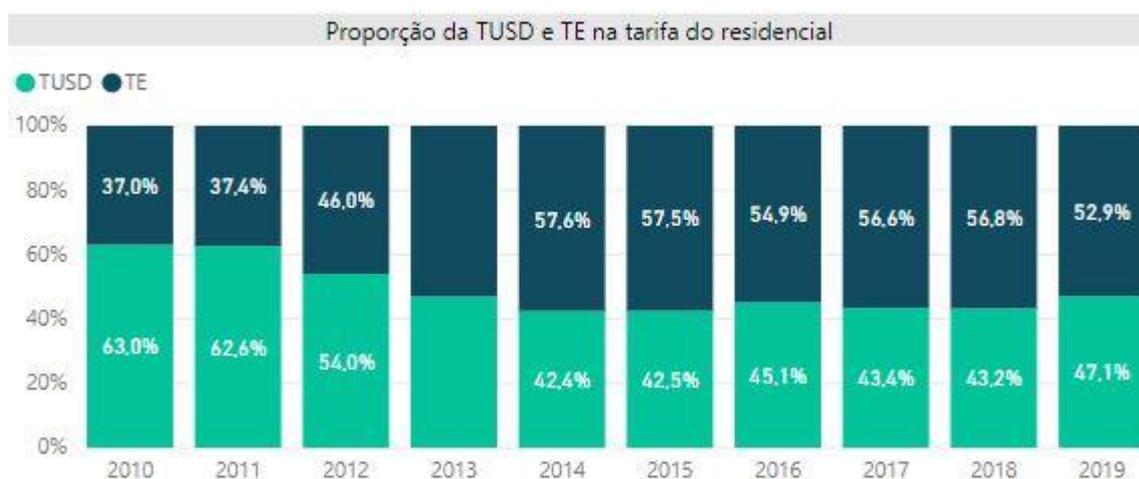


Fonte: ANEEL, 2019.

Na Figura 15, pode-se verificar a variação da parcela de cada uma das tarifas ao longo do tempo. Observa-se a diminuição do custo relacionado à TE em 2019, comparando com os

últimos 5 anos anteriores, sendo hoje responsável por 52,9% da tarifa de energia elétrica atual determinada pela ANEEL para a área de concessão da COPEL Distribuidora, enquanto que a TUSD é responsável pelos 47,1% restantes.

Figura 15 - Representatividade da TE e TUSD na composição da tarifa de energia elétrica da COPEL Distribuidora ao longo dos anos



Fonte: ANEEL, 2019.

2.4.2. Impostos e Tributos

A Receita Federal do Brasil e a Secretaria de Fazenda Estadual do Estado do Paraná tratam da tributação sobre a geração e consumo de energia elétrica no Brasil e no Paraná, respectivamente. No consumo, há incidência dos impostos federais PIS/PASEP e COFINS, e também do imposto estadual ICMS. Na tarifa de energia, também há a parcela referente à iluminação pública.

2.4.2.1. PIS/PASEP

O PIS tem como objetivo financiar o programa do Seguro Desemprego e de abono dos empregados que recebem até dois salários mínimos mensais. Foi criado através da Lei Complementar nº 7, de 7 setembro de 1970, com o objetivo de destinar a integração do empregado na vida e no desenvolvimento das empresas. A partir desta data, foi determinado que toda empresa deve contribuir ao Fundo de Participação com parcelas referentes à dedução do imposto de renda devido, e também com os próprios recursos da empresa, baseado em seu faturamento mensal (BRASIL, 1970a). Também em 1970, o PASEP foi instituído pela Lei Complementar nº 8, de 3 de dezembro, o qual trata da contribuição tributária devida pelas

empresas do setor público, tendo por objetivo conceder aos funcionários públicos os benefícios oferecidos aos trabalhadores da iniciativa privada pelo PIS. Ambas alíquotas foram unificadas em 1975, pela Lei Complementar nº 26, criando o PIS/PASEP (BRASIL, 1975).

2.4.2.2. COFINS

O COFINS é destinado ao financiamento das despesas com Saúde, Previdência e Assistência Social. Foi implementado na Lei Complementar nº 70, de 30 de dezembro de 1991, o qual determina uma contribuição que incide sobre o faturamento mensal proveniente da venda de mercadoria e serviços de qualquer natureza (BRASIL, 1991).

O cálculo da incidência do PIS/PASEP e COFINS possuía uma alíquota de 0,65% e 2%, respectivamente, com base na receita bruta da venda de mercadorias e prestações de serviços. Essa porcentagem foi implementada até janeiro de 1999. A partir desta data, houve um aumento na incidência do COFINS, que aumentou de 2% para 3%, através da Lei nº 9.718, de 27 de novembro de 1998 (BRASIL, 1998).

As alíquotas do PIS/PASEP e COFINS continuaram a sofrer alterações significativas, que junto com a mudança de apuração dos tributos para o sistema não cumulativo, resultou em uma elevação na carga tributária do sistema elétrico nacional (ANEEL, 2005).

Desde a incidência da Nota Técnica nº 115/2005, implementada em 18 de abril de 2005 através da Resolução Homologatória nº 227, de 18 de outubro de 2005, a cobrança do PIS e COFINS é calculada e realizada pela empresa de distribuição, sendo a tarifa demonstrada separadamente na conta de energia do consumidor (ANEEL, 2005).

2.4.2.3. ICMS

O ICMS é o tributo aplicável sobre os valores dos importes de consumo, demanda, demanda de ultrapassagem e excedente reativo. No estado do Paraná, a alíquota do ICMS aplicada pela distribuidora COPEL pelo Decreto nº 7871 é, atualmente, de 29% (PARANÁ, 2017).

2.4.2.4. COSIP

Também é aplicada uma tarifa municipal, a COSIP, que estabelece uma alíquota para o custeio da iluminação pública, cujo valor é determinado em R\$ 98,81 na cidade de Curitiba, porém com taxas de desconto que se aplicam de acordo com o consumo e classe da conexão.

Essa alíquota é determinada pelo Decreto nº 1350 do dia 6 de dezembro de 2018 (CURITIBA, 2018).

2.4.3. Base de Cálculo da Tributação

As tributações anteriormente citadas são utilizadas para calcular o fator utilizado pela concessionária para tributação da energia elétrica. O fator da tarifa com impostos é um número, maior que 1, que engloba a parcela referente aos impostos incidentes sobre a energia elétrica, calculado pela Equação 2.

$$FT = \left(1 + \frac{ALIQ}{100 - ALIQ}\right) \quad (2)$$

Onde:

FT – fator da tarifa com impostos;

ALIQ – soma das porcentagens dos impostos incidentes sobre a energia elétrica.

O valor real incidente sobre o preço de energia é determinado pela multiplicação do consumo, da tarifa base e do fator de tarifa com impostos, calculada pela Equação 3.

$$VT = A \times T \times FT \quad (3)$$

Onde:

VT – valor da tarifa (R\$);

A – consumo de energia (kWh);

T - tarifa base definida pela ANEEL (R\$/kWh);

FT – fator da tarifa com impostos.

Em outubro de 2019, a tarifa de energia convencional para o grupo B1 residencial está em R\$ 0,51761/kWh, determinado pela Resolução Homologatória nº 2559, de 18 de junho de 2019 (ANEEL, 2019a). Na Copel, com a incidência dos impostos estaduais e federais, ICMS, PIS e COFINS que estão atribuídos atualmente em 29%, 1,06% e 4,86%, respectivamente, essa tarifa passa a ser de R\$ 0,79534/kWh. Esse valor é alterado mensalmente de acordo com as variações das alíquotas PIS e COFINS.

É importante destacar que, considerando que a tarifa deve sofrer um reajuste de 34,92%, referente às somas das porcentagens de cada imposto, na verdade a base de cálculo faz com que seja cobrado 53,66% ao valor da tarifa base estipulada pela ANEEL, como demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Diferença dos fatores da tarifa com impostos

Valor unitário (R\$/kWh)	0,51761
ICMS (%)	29,00
PIS (%)	1,06
COFINS (%)	4,86
Fator referente à soma dos impostos	1,3492
Fator utilizado pela concessionária	1,5366

Fonte: Autoria própria (2019).

2.4.4. Isenções de Impostos

Com a implementação da REN 482 em 2012, que autorizou a geração distribuída para micro e minigeradores, a incidência dos impostos citados anteriormente passou a ser uma barreira para a disseminação da geração distribuída, e conseqüentemente, da geração fotovoltaica.

Porém, com a pressão de órgãos e instituições favoráveis à geração fotovoltaica, no dia 22 de abril de 2015, o CONFAZ publicou o convênio ICMS 16, o qual autorizou todos os Estados a conceder a isenção do ICMS na energia elétrica com geração distribuída, de acordo com as definições da Resolução Normativa nº 482 da ANEEL (CONFAZ, 2015).

Ainda em 2015, o governo federal, através da Lei 13.169, de 6 de outubro, estabeleceu a isenção da alíquota PIS/PASEP e COFINS sobre a “energia elétrica ativa fornecida pela distribuidora à unidade consumidora, na quantidade correspondente à soma da energia elétrica ativa 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 para microgeração e minigeração distribuída, conforme regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.” (BRASIL, 2015).

Após a publicação da isenção dos impostos sobre a compensação de energia determinados pelo CONFAZ e pelo governo federal, alguns estados como Minas Gerais, Ceará e Tocantins aderiram à isenção rapidamente, estimulando a micro e minigeração distribuída em suas respectivas cidades (CONFAZ, 2015).

O governo do Estado do Paraná acatou à isenção proposta no ICMS 16 apenas no dia 12 de julho de 2018, através da Lei Nº 19595, sendo, junto com o Estado de Santa Catarina e Amazonas, os últimos Estados a aderirem à isenção do ICMS e estimular a geração distribuída.

Porém, essa isenção, diferente do que aconteceu nos outros estados brasileiros, foi estipulada com um prazo máximo de 48 meses, determinando um limite cronológico para o incentivo da geração fotovoltaica na cidade de Curitiba e no estado do Paraná.

De acordo com a REN 482, o custo de disponibilidade deve ser cobrado independente da energia injetada na rede pela unidade consumidora. O custo de disponibilidade do sistema é estabelecido de acordo com o artigo 98 da REN 414/2010, que é aplicável ao faturamento mensal do consumidor do grupo B, variando com o tipo de fornecimento: 30kWh para monofásicos ou bifásicos a dois condutores, 50kWh para bifásico a três condutores e 100kWh para trifásicos (ANEEL, 2010a).

O custo da bandeira tarifária, que indica se haverá ou não acréscimo do valor da energia a ser repassada ao consumidor final em função das condições de geração, também faz parte da tarifa com geração distribuída. Quanto mais propícias as condições para geração de energia, menor o valor repassado ao consumidor. As bandeiras tarifárias são classificadas em bandeira verde (sem acréscimo), bandeira amarela (acrécimo de R\$0,015 por kWh consumido) e vermelha (patamar 1 – R\$0,04/kWh e patamar 2 – R\$0,06/kWh), sendo considerado esses valores sem a incidência de impostos (ANEEL, 2019). O custo da bandeira tarifária aplica-se sobre o custo de disponibilidade do sistema. Por fim, o custo referente à iluminação pública, estipulado pelo governo municipal, também não é abatido na geração distribuída.

2.4.5. Composição da Tarifa com Geração Distribuída

Devido à complexidade do cálculo da tarifa com tributos, um exemplo prático da composição da tarifa de energia elétrica em uma residência com geração distribuída é utilizado para demonstrar o passo a passo da tributação.

Na tarifa da COPEL, a fatura de energia elétrica em uma residência com geração distribuída que teve consumo mensal de 171kWh, em agosto de 2019, é demonstrada na Figura 16.

Figura 16 - Fatura de Energia Elétrica de uma residência com geração distribuída

Valores Faturados						
NOTA FISCAL/CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA N°					- SÉRIE B	
Emitida em 01/09/2019						
Produto Descrição	Un.	Consumo	Valor Unitário	Valor Total	Base Cálc.	Aliq. ICMS
ENERGIA ELET CONSUMO	kWh	100	0,420100	42,01	42,01	29,00%
ENERGIA ELET USO SISTEMA	kWh	100	0,373800	37,38	37,38	29,00%
ENERGIA TRIBUT DIFERENCIADA TE	kWh	71	0,273803	19,44	0,00	0,00%
ENERG TRIBUT DIFERENCIADA TUSD	kWh	71	0,343099	24,36	24,36	29,00%
ENERGIA CONS. B.VERMELHA	kWh			6,13	6,13	29,00%
ENERGIA TRIB DIF BAND VM P1	kWh			2,84	0,00	0,00%
CONT ILUMIN PUBLICA MUNICIPIO				9,89		
COMP CONS MICRO/MINI GERACAO	kWh	71		-39,58		

Fonte: COPEL, 2019.

2.4.5.1. Tarifa sobre consumo mínimo

Como o sistema é trifásico, o custo de disponibilidade é de 100kWh. Sobre esse consumo de energia, são tarifados todos os impostos federais e estaduais, ou seja, PIS, COFINS e ICMS, cuja alíquotas, na fatura utilizada como exemplo, eram de 1,04%, 4,76% e 29%, respectivamente. Com essas porcentagens, é calculado o fator de tarifa com impostos na Equação 4.

$$FT = 1 + \left(\frac{(29+1,04+4,76)}{100-(29+1,04+4,76)} \right) \quad (4)$$

$$FT = 1,533742331$$

Logo, o valor da tarifa com impostos resulta da multiplicação da tarifa base sem impostos pelo fator da tarifa com impostos. A tarifa referência, sem impostos, definida pela ANEEL, é de R\$ 0,51761/kWh. Com os impostos incidentes no mês de referência da fatura, a tarifa passa para R\$ 0,7939/kWh, como calculado na Equação 5.

$$Ti = T * FT \quad (5)$$

$$Ti = 0,51761 \frac{R\$}{kWh} * 1,533742331$$

$$Ti = 0,7939 \frac{R\$}{kWh}$$

Na descrição da fatura de energia elétrica, os 100kWh são demonstrados em duas parcelas, TE e TUSD, descritas na fatura como ENERGIA ELET CONSUMO e ENERGIA ELET USO SISTEMA, respectivamente. Cada uma dessas parcelas tem como valor unitário a respectiva porcentagem, demonstrada anteriormente na Figura 15, sobre o custo da energia elétrica com impostos. Devido a isso, a TE e a TUSD tem valores unitários demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores unitários para tarifas TE e TUSD

Valor unitário sem impostos (R\$/kWh)	0,51761
Valor unitário com impostos (R\$/kWh)	0,7939
Parcela TE	52,90%
Parcela TUSD	47,10%
Valor unitário TE com impostos (R\$/kWh)	0,4201
Valor unitário TUSD com impostos (R\$/kWh)	0,3738

Fonte: Autoria própria, 2019.

2.4.5.2. Tarifa sobre consumo gerado pelo sistema fotovoltaico

Os outros 71kWh consumidos foram gerados pelo sistema fotovoltaico instalado na residência. O excedente que foi gerado neste mês é contabilizado como crédito da unidade consumidora ou é abatido do consumo de outra unidade consumidora que está sob mesma titularidade e mesma área de concessão da COPEL Distribuidora. Esse consumo entra em outra base de cálculo, e são demonstrados na fatura em suas parcelas TE e TUSD, descritos na fatura como ENERGIA TRIBUT DIFERENCIADA TE e ENERGIA TRIBUT DIFERENCIADA TUSD, respectivamente.

Essa parcela da tarifa sofre uma tributação diferenciada, com isenção de impostos. Porém, é importante destacar que a isenção total dos impostos se aplica somente sobre o custo da energia gerada, ou seja, da tarifa de energia TE. A porcentagem relacionada ao custo de utilização do sistema TUSD tem apenas isenção dos impostos federais PIS e COFINS, porém continua com a tributação do imposto estadual ICMS.

Desta forma, o valor unitário para a tarifa TE é a porcentagem que TE representa da tarifa referência, sem os impostos, calculada pela Equação 6.

$$\text{Valor unitário TE} = \text{Valor referência sem imposto} * 52,9\% \quad (6)$$

$$\text{Valor unitário TE} = 0,51761 * 0,529$$

$$\text{Valor unitário TE} = 0,273803$$

Já a proporção da tarifa relacionada a TUSD tem a multiplicação de um novo fator da tarifa com impostos, porém calculado apenas com a alíquota do ICMS, como demonstrado na Equação 7.

$$FT = 1 + \left(\frac{29}{100-29} \right) \quad (7)$$

$$FT = 1,40845070$$

Desta maneira, o valor unitário da tarifa TUSD é calculado na Equação 8.

$$\text{Valor unitário TUSD} = \text{Valor referência sem imposto} * 47,1\% * FT \quad (8)$$

$$\text{Valor unitário TUSD} = 0,343099$$

2.4.5.3. Bandeiras tarifárias

A mesma diferenciação se aplica para os custos da bandeira tarifária vigente. No caso, a bandeira vermelha patamar 1 tem um valor referente aos 100kWh gerados, com tributação, e ao valor consumido que foi gerado pelo sistema, de 71kWh, isento de tributação. Ambos os valores são demonstrados na tarifa como ENERGIA CONS. B. VERMELHA e ENERGIA TRIB DIF BAND VM P1. O valor unitário sem imposto da bandeira vermelha no patamar 1 é de R\$ 0,0400/kWh e com impostos esse valor unitário é de R\$ 0,06134/kWh.

2.4.5.4. Cálculo da energia compensada

Por fim, é calculado o valor monetário da energia que foi injetada na rede pela unidade consumidora. Essa parcela, neste caso, corresponde aos 71kWh que foram consumidos, pois o sistema foi capaz de gerar todo o consumo mensal. O valor é calculado com base na tarifa da ANEEL sem impostos. Adicionado a esse valor também está o valor referente à bandeira vermelha, sem os impostos. Observa-se que, por ser a mesma quantidade de energia consumida e injetada na rede (71kWh), esse valor deveria ser igual ao calculado previamente. Porém, esse valor sempre será menor do que cálculo de consumo, pois para vender a energia não há

tributação, apenas na compra. Essa diferença é relacionada à tributação do ICMS na TUSD calculada anteriormente.

Logo, a soma da tarifa TE, TUSD e bandeira vermelha referente aos 71kWh resulta em R\$ 46,64, enquanto que o valor monetário do mesmo valor de energia injetado na rede resulta em R\$ 39,58, ou seja, R\$ 7,06 a menos. Nessa troca, o usuário gerador perde dinheiro, pois paga 17,83% a mais pela compra da mesma quantidade de energia que gerou, como demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Valor da energia injetada e compensada

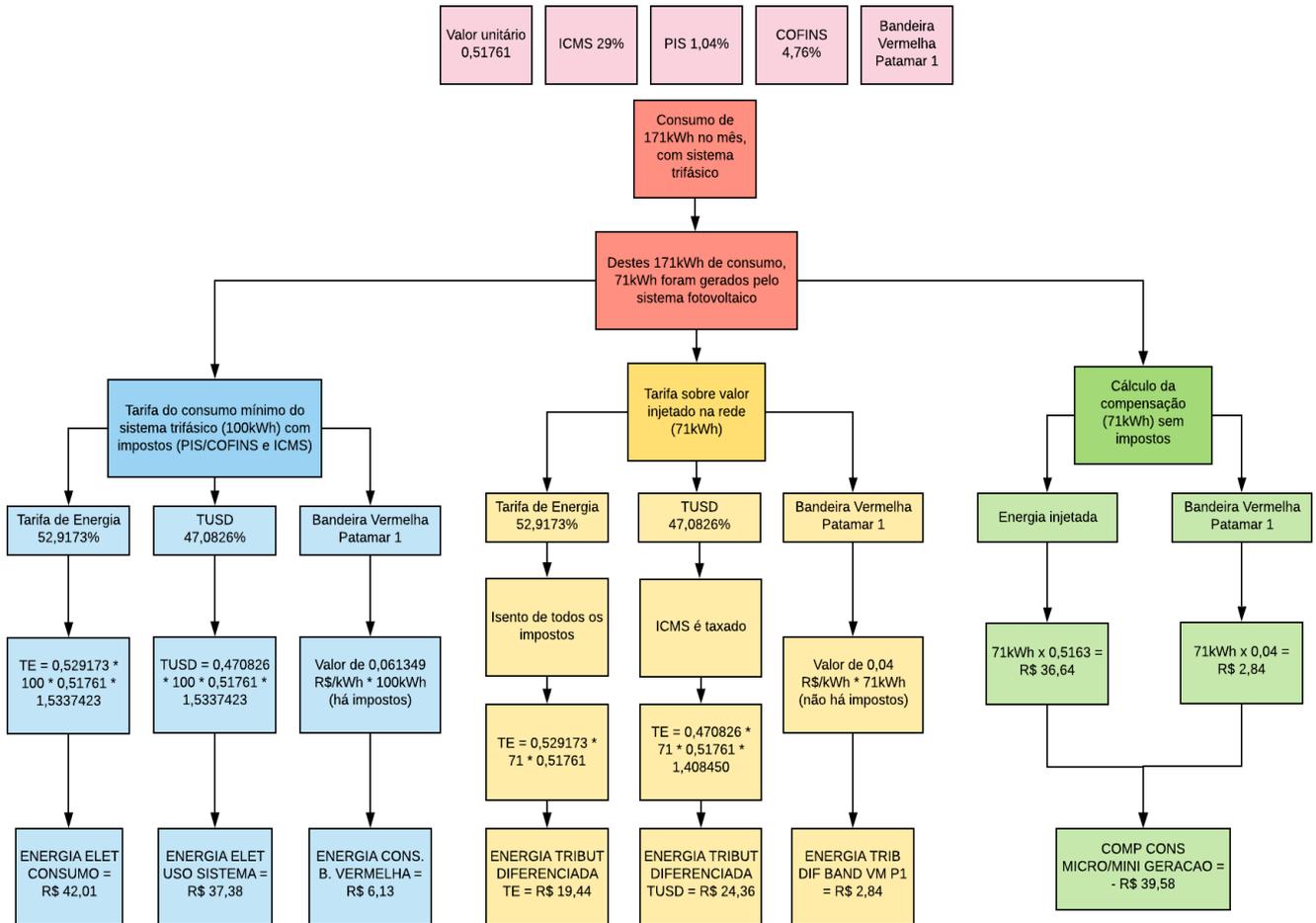
COMPRA	TRIBUTAÇÃO	VALOR (R\$)
Valor tarifa TE	isento	19,44
Valor tarifa TUSD	ICMS	24,36
Valor bandeira	isento	2,84
	TOTAL	46,64
VENDA		
Valor tarifa TE + TUSD	isento	36,74
Valor bandeira	isento	2,84
	TOTAL	39,58
	Diferença	7,06

Fonte: Autoria própria, 2019.

2.4.5.5. Fluxograma da tarifa de energia elétrica

Para melhor descrever os cálculos apresentados anteriormente, o fluxograma demonstrado na Figura 17 exemplifica as etapas de cálculo realizadas para determinar a tarifa de energia elétrica.

Figura 17 - Fluxograma do cálculo da tarifa de energia elétrica



Fonte: Autoria própria, 2019.

2.5. PANORAMA ATUAL

O estilo de vida atual dos seres humanos tem uma relação amplamente dependente com a eletricidade e isso faz com que a demanda mundial por essa energia cresça rapidamente. Em 2017, 79,7% da matriz energética mundial foi composta por fontes denominadas não renováveis, que em sua maioria, fazem uso de combustíveis fósseis, responsáveis pela emissão de poluentes na atmosfera e causadores do efeito estufa (REN21, 2019).

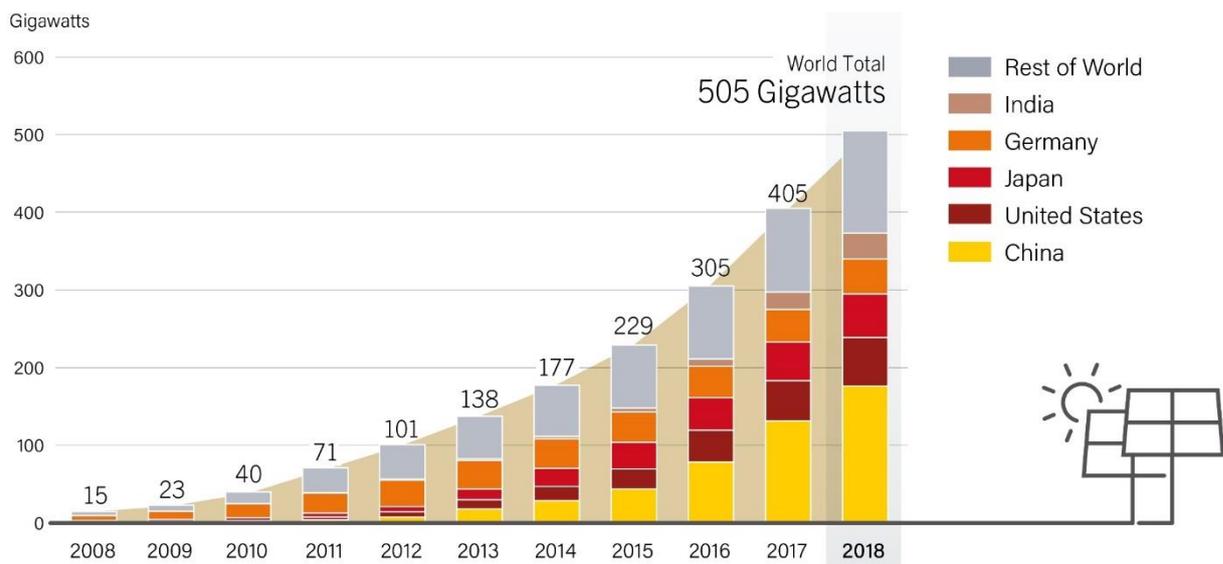
Além do receio sobre a escassez das matérias primas desses tipos de fontes, também existe a preocupação com a degradação que o uso e exploração desses recursos causam ao planeta. Dessa forma, as fontes renováveis têm ganhado espaço significativo no cenário mundial visando encontrar novas alternativas para a geração de eletricidade sem agredir o planeta.

Embora as fontes renováveis ainda constituam uma pequena fração da matriz elétrica mundial, cerca de 14%, o seu uso e potencial são enormes, e com os devidos investimentos,

incentivos políticos e desenvolvimento tecnológico será possível inverter o cenário energético atual, onde as fontes não renováveis são predominantes (IEA, 2018).

Mesmo que hoje, as fontes de energia solar e eólica, ainda representem uma porção discreta da matriz energética mundial, o prognóstico para sua utilização em larga escala é otimista. A energia fotovoltaica, por exemplo, tinha no ano de 2000 menos de 5 GW (gigawatts) de capacidade de geração em todo o mundo, e em 2018 esse número aumentou para 505 GW, como mostra a Figura 18.

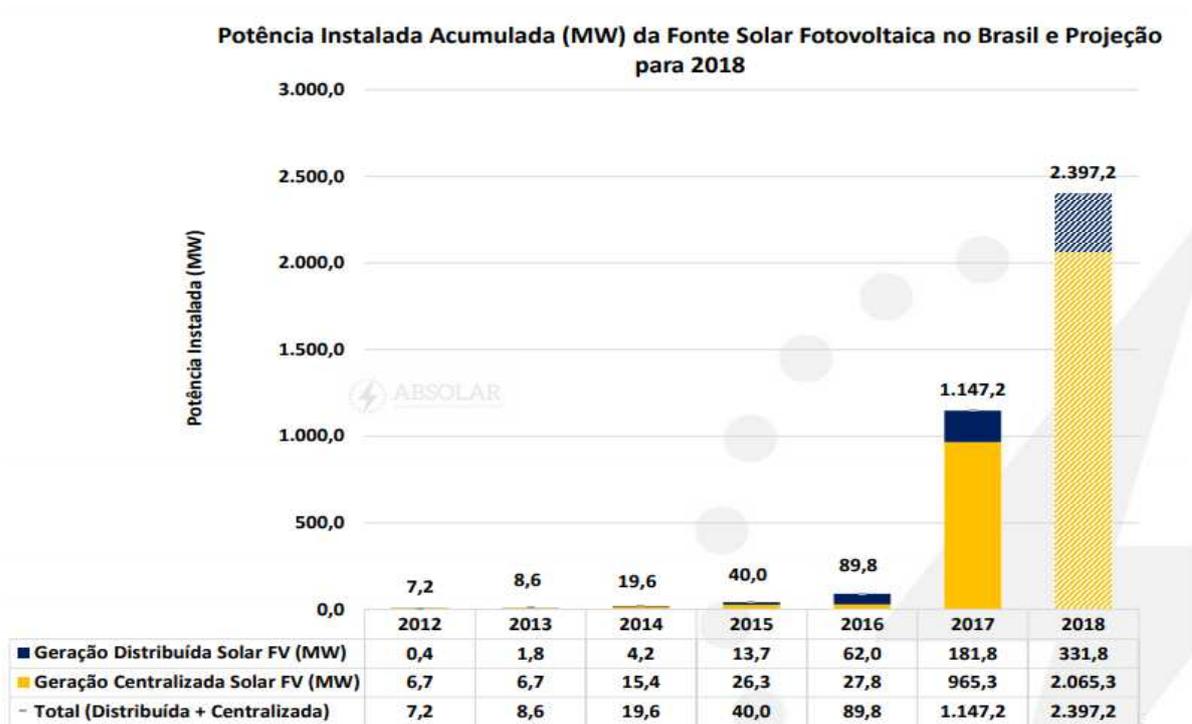
Figura 18 - Evolução da capacidade total instalada de sistemas fotovoltaicos no mundo.



Fonte: REN21, 2019.

A Figura 19 salienta que esse crescimento significativo também pode ser notado nos dados referentes à evolução da energia fotovoltaica no Brasil.

Figura 19 - Potência instalada acumulada de sistemas fotovoltaicos no Brasil e projeção para 2018.



Fonte: SAUAIA, 2018.

Comparando os dados estimados na Figura 19 com os valores obtidos até o mês de outubro de 2019, nota-se que os números projetados foram rapidamente superados, uma vez que para a geração centralizada, a potência outorgada é de 2.269,781MW e para a geração distribuída tem-se 1.501,840 MW, totalizando 3.771,621MW, uma diferença de 1.374,42MW em apenas 10 meses (ANEEL, 2019).

A geração distribuída de energia elétrica é definida pela utilização de geradores instalados próximos aos locais de consumo, ou seja, esses geradores são instalados em moradias, empresas, escolas e comércios, constituindo as chamadas, micro e mini usinas de geração, que pelo fato de estarem conectadas ao sistema elétrico nacional, permitem que os sistemas fotovoltaicos possam produzir eletricidade a um custo competitivo e sem sofrer com a inflação do preço da energia elétrica. Por exemplo, uma residência que contém um sistema fotovoltaico, pode garantir o seu abastecimento de eletricidade por pelo menos 25 anos, tempo mínimo de vida útil de um sistema fotovoltaico, e assegurar o retorno do seu investimento em poucos anos, isso porque além de produzir sua própria energia, esses consumidores não são tão suscetíveis às constantes alterações de preços da energia elétrica (NREL, 2016).

Com essa presença de painéis fotovoltaicos que permitem a geração de energia elétrica próximo às cargas consumidoras, diversos benefícios são proporcionados para o sistema

elétrico, dentre eles, a diminuição de investimentos para os sistemas de distribuição e transmissão, baixo impacto ambiental, melhoria na qualidade de energia da rede no período de carga pesada, aumento da disponibilidade de eletricidade, principalmente nos períodos de seca, devido a economia de água nos reservatórios das hidrelétricas e a diversificação da matriz energética.

Além das vantagens citadas acima, o desenvolvimento da energia fotovoltaica demanda investimentos em pesquisas e estimula grandes oportunidades para empregos na fabricação dos componentes dos sistemas, como painéis, inversores, baterias e acessórios, e também para profissionais no setor de serviços, manutenção e treinamentos.

3. METODOLOGIA E LEVANTAMENTO DE DADOS

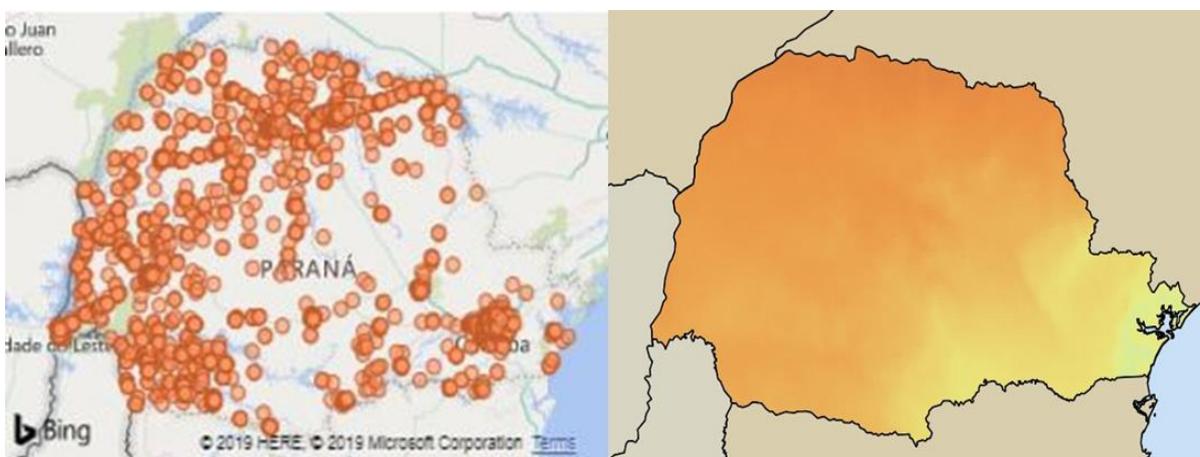
Neste capítulo serão elucidados graficamente uma série de dados sobre geração fotovoltaica, obtidos diretamente do site da ANEEL. Para efeito comparativo, serão demonstrados dados referentes à geração de energia fotovoltaica em todo o estado do Paraná, assim como a geração distribuída somente da cidade de Curitiba. Todo o material foi elaborado com a base de dados disponibilizada pela ANEEL no mês de outubro de 2019.

3.1. GERAÇÃO NO ESTADO DO PARANÁ

Existem 8.039 unidades geradoras de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos no estado do Paraná, totalizando uma potência instalada de 162.651,08 kW. No total, são 8.088 unidades receptoras de crédito espalhadas por todo o estado (ANEEL, 2019).

Na Figura 20, observa-se uma distribuição concentrada principalmente nas regiões norte e oeste do Paraná. Comparando o mapa de unidades geradoras com o mapa de irradiação solar do Estado, percebe-se que o maior número de unidades geradoras se encontra onde a taxa anual de irradiação é maior, o que torna os projetos fotovoltaicos mais viáveis e com retornos de investimento de menores prazos nessas regiões.

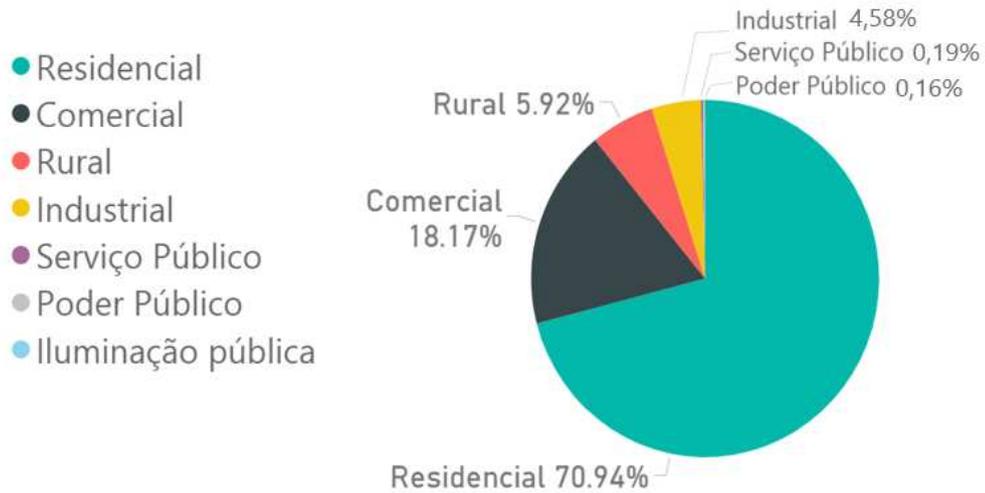
Figura 20 - Comparação da distribuição das unidades geradoras no Paraná com a irradiação solar média no Estado.



Fonte: ANEEL (2019), TIEPOLO *et al* (2017).

No Estado, grande parte das unidades geradoras estão concentradas em residências, como demonstrado na Figura 21. Outras classes como iluminação, poder público e serviço público representam menos de 1% da quantidade de unidades no Paraná.

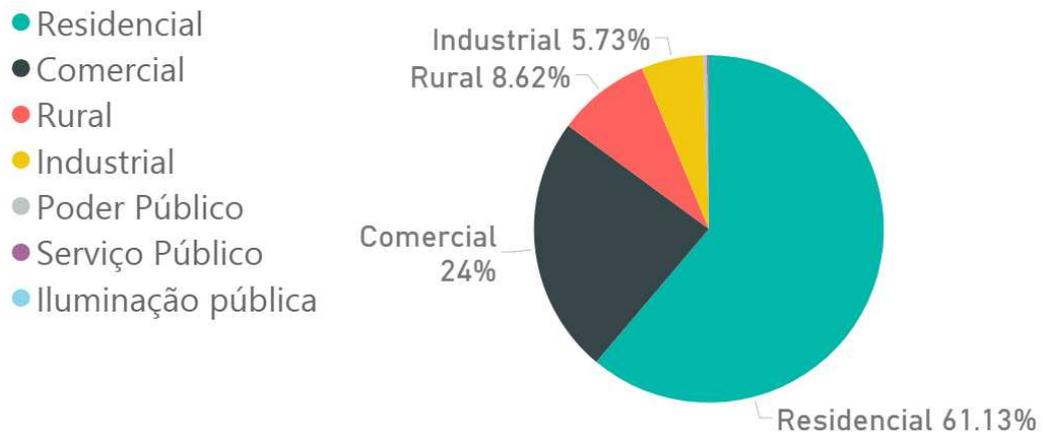
Figura 21 - Distribuição do número de unidades geradoras por classe no estado do Paraná.



Fonte: Adaptado de ANEEL, 2019

O domínio na quantidade de unidades geradoras do setor residencial também resulta em mais potência instalada referente a essa classe. O setor comercial é o responsável pela segunda maior parcela da potência instalada, como demonstrado na Figura 22.

Figura 22 - Distribuição da potência instalada fotovoltaica por classe no estado do Paraná



Fonte: Adaptado de ANEEL, 2019

A cobrança das tarifas não é a mesma para todos os usuários, existe uma diferenciação entre eles de acordo com algumas definições. Primeiro, os consumidores são divididos em dois grupos. O grupo A, composto pelas unidades consumidoras cujo fornecimento de tensão é maior ou igual a 2,3 kV, ou quando são atendidas por sistemas subterrâneos de distribuição em tensão secundária, sendo caracterizado pela tarifa binômica, que estabelece os preços aplicáveis ao consumo de energia ativa e à demanda faturável para alta tensão. E o grupo B, o qual as unidades

consumidoras têm fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV e são englobadas pela tarifa monômnia, que determina os preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa em baixa tensão (ANEEL, 2010b). Em 2019, também foi disponibilizada a opção pela tarifa branca para usuários do grupo B que consomem mais de 250 kWh/mês, onde há variação do valor de energia conforme o dia e horário de consumo (ANEEL, 2019).

Dentro desses dois grupos existem subdivisões. A Tabela 6 mostra que o grupo A está dividido em seis subgrupos, de acordo com a faixa de tensão de fornecimento, e o grupo B está dividido em quatro subgrupos, seguindo as classes de atendimento.

Tabela 6 - Definições dos subgrupos para diferenciação das unidades consumidoras

<i>Grupo</i>	<i>Subgrupo</i>	<i>Definição</i>
A	A1	Tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV
	A2	Tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV
	A3	Tensão de fornecimento de 69 kV
	A3a	Tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV
	A4	Tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV
	AS	Tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição
B	B1	Residencial
	B2	Rural
	B3	Demais classes
	B4	Iluminação pública

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2010b.

Com relação aos subgrupos na geração distribuída através de fontes fotovoltaicas, há uma predominância na geração dos grupos B1 (residencial), B2 (rural) e B3 (demais classes), demonstrada na Figura 23.

Figura 23 – Quantidade de unidades consumidoras por subgrupo no estado do Paraná



Fonte: Adaptado de ANEEL, 2019

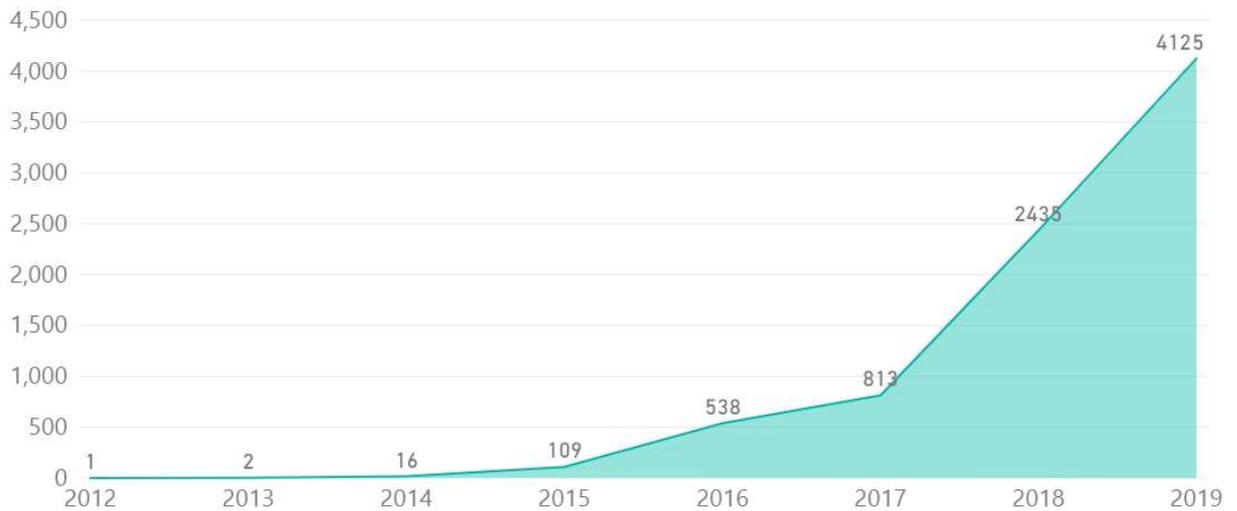
A Tabela 7 elucida o número de unidades consumidoras geradoras e suas respectivas potências instaladas, separadas por cada tipo de classe.

Tabela 7 - Dados de unidade e potência instalada fotovoltaica por classe no estado do Paraná.

Classes	Total de unidades	Total de potência instalada (kW)
Comercial	1.461	39.037,26
Iluminação pública	3	28,20
Industrial	368	9.327,28
Poder Público	13	552,51
Residencial	5.703	99.427,52
Rural	477	14.055,09
Serviço Público	15	253,22
Total	8.039	162.651,08

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2019.

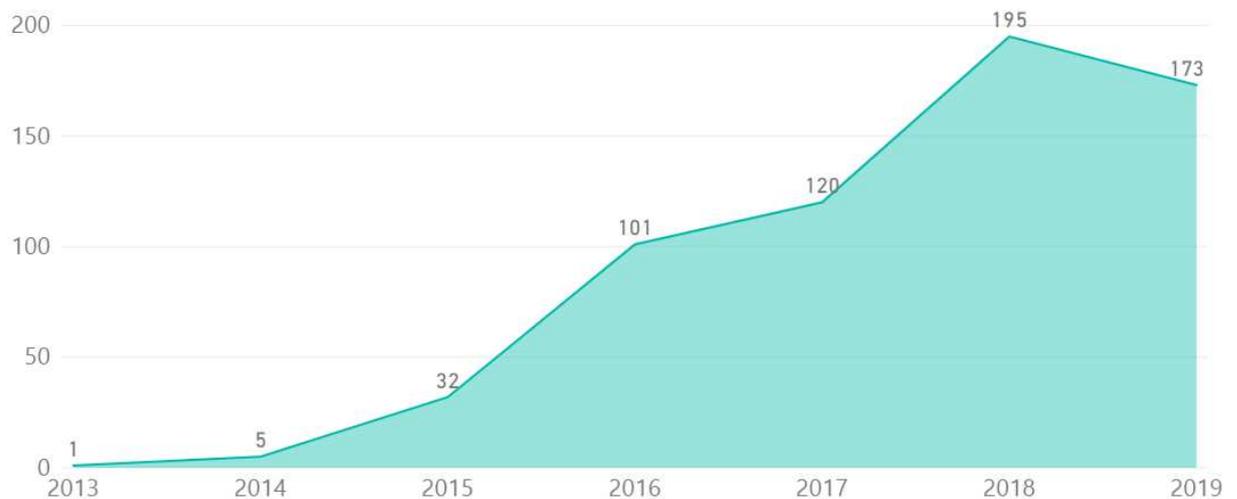
Desde a REN 482/2012, houve um aumento exponencial no número de unidades geradoras no estado, atingindo até outubro de 2019 um total de 4125 novas unidades instaladas, como aponta a Figura 24.

Figura 24 - Crescimento anual do número de unidades geradoras no Paraná

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2019

3.2. GERAÇÃO NA CIDADE DE CURITIBA

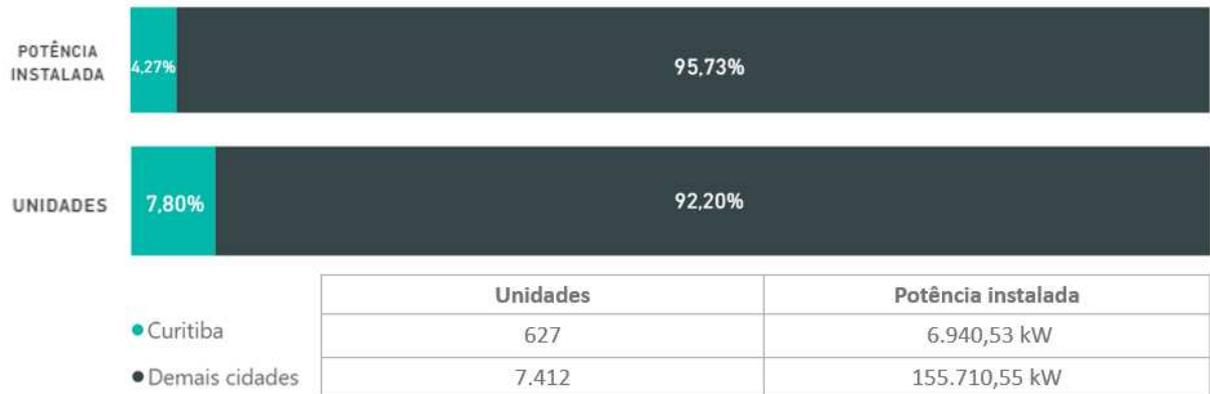
Na capital paranaense, existem 627 unidades consumidoras, com potência instalada de 6.940,53kW. O primeiro painel, instalado antes mesmo da REN 482, foi o do escritório verde da UTFPR, que não consta no cadastro de geração distribuída da agência. Depois, houve um crescimento considerável ao longo dos anos, tendo um impacto ainda maior no ano de 2018, como demonstra a Figura 25.

Figura 25 - Crescimento anual do número de unidades geradoras em Curitiba

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2019

A capital paranaense representa uma parcela considerável tanto na potência instalada fotovoltaica do estado quanto em número de unidades geradoras instaladas. As 627 unidades representam 7,8% das unidades geradoras presentes no Estado, enquanto que os 6.940,53kW de potência instalada representam 4,27% do total, como demonstra a Figura 26.

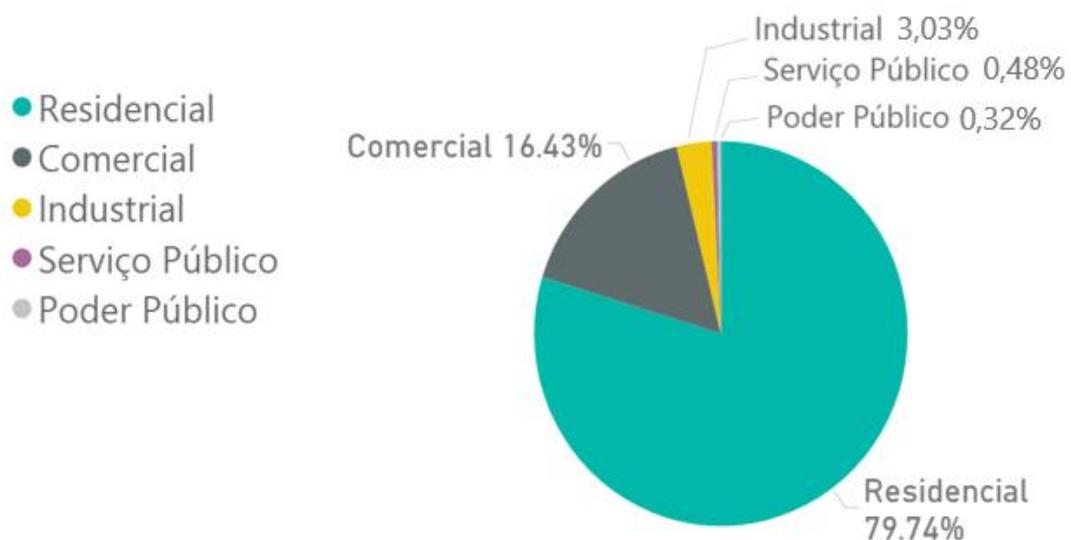
Figura 26 - Representatividade de Curitiba em relação ao estado do Paraná



Fonte: Adaptado de ANEEL, 2019

Na análise de dados da representatividade de cada classe em relação à quantidade total de unidades geradoras, apresentada na Figura 27, é observado uma predominância ainda maior da classe residencial na capital paranaense, atingindo 79,74% do total das unidades instaladas.

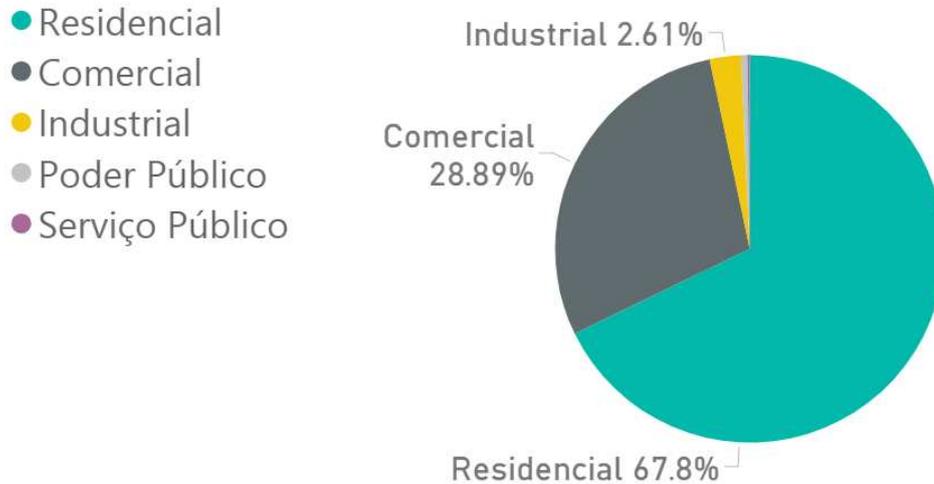
Figura 27 - Distribuição do número de unidades geradoras por classe na cidade de Curitiba



Fonte: Adaptado de ANEEL, 2019.

No aspecto de potência instalada, assim como observado no âmbito estadual, o setor residencial também representa a maior parcela, configurando 67,8% do seu total, acompanhado pela classe comercial, com 28,89%. Tais percentuais são exibidos na Figura 28.

Figura 28 - Distribuição da potência instalada fotovoltaica por classe na cidade de Curitiba



Fonte: Adaptado de ANEEL, 2019

3.3. COLETA DE DADOS

3.3.1. Consumidores com Geração Distribuída

Com o objetivo de compreender uma das mais eficazes maneiras de disseminação de um produto ou serviço, que é a recomendação dos próprios usuários, foi realizada uma pesquisa de satisfação com os proprietários de unidades consumidoras da cidade de Curitiba que já aderiram à geração distribuída através da geração fotovoltaica. A pesquisa teve por objetivo coletar dados dos clientes que já utilizam essa forma de geração em seus estabelecimentos na cidade de Curitiba e entender as barreiras que foram enfrentadas por eles para a instalação dos painéis. Além disso, buscou-se também analisar qual a forma mais efetiva de disseminação dessas informações.

A pesquisa foi realizada utilizando como base o banco de dados das unidades consumidoras com geração distribuída disponibilizado pela ANEEL, onde obteve-se o nome dos proprietários, possibilitando o contato e divulgação da pesquisa através das redes sociais. Para que houvesse uma grande adesão na participação do estudo pelos proprietários das unidades consumidoras, a pesquisa foi elaborada de maneira sucinta, com apenas seis questões cujas respostas poderiam ser feitas em aproximadamente 1 minuto, juntamente com uma opção para considerações ou comentários.

Buscando coletar dados dos consumidores geradores, foram elaboradas questões envolvendo tópicos relacionados a economia, custos, satisfação e recomendações. Tais perguntas estão listadas a seguir:

1. Como você soube sobre a geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos?
2. Na média, quanto de economia obteve com a geração do painel instalado?
3. Qual o maior desafio para a instalação de painéis fotovoltaicos?
4. Qual foi o custo aproximado de instalação do sistema?
5. Está satisfeito com sua instalação?
6. Recomendaria à um amigo ou familiar?
7. Considerações e comentários

O formulário está disponível no Apêndice 1 deste trabalho e também no link:
<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSean2yGiDSqwA7Ww2GIJOW3q3fQ8JUGEIkKjPJj26yj4O1xxg/viewform>

3.3.2. Consumidores Não Geradores

A pesquisa com os consumidores que utilizam a geração distribuída foi importante para o entendimento do processo enfrentado por aqueles que já possuem um nível de conhecimento e informação sobre a energia fotovoltaica e sua utilização. Entretanto, sabe-se que essa é uma realidade extremamente restrita, pois na maioria dos casos, as pessoas têm pouca ou nenhuma informação sobre essa tecnologia. Logo, para que fosse possível alcançar essa grande parcela de pessoas, fez-se necessária uma segunda pesquisa de satisfação, buscando compreender quais motivos levam esses consumidores a não considerar o uso da geração distribuída através da energia fotovoltaica em suas residências ou demais estabelecimentos.

Com a intenção de atingir grupos de entrevistados heterogêneos, a pesquisa foi divulgada entre colegas da faculdade, familiares, colegas de trabalho e demais conhecidos com diferentes níveis de escolaridade e renda. Para manter a mesma abordagem da primeira pesquisa, foram elaboradas poucas perguntas, nesse caso, cinco, e que pudessem ser respondidas brevemente, além de um campo para dúvidas e considerações. A seguir estão listadas as questões a serem respondidas.

1. Você já ouviu falar sobre a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos?
2. Caso sim, como você soube?

3. Por qual motivo você não possui um sistema instalado em sua residência, comércio e/ou indústria?
4. Quais dessas opções você acha que são vantagens de um sistema fotovoltaico?
5. Quanto você acha que custa um sistema fotovoltaico capaz de produzir em média 300kWh/mês?
6. Deixe aqui sua principal dúvida sobre a energia fotovoltaica.

O formulário está disponível no Apêndice 2 deste trabalho e também no link:

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdEfDPVF99Er1Cj23ghduOvr_IyyNNsGSy2LZlgIoRuo6Aa9A/viewform?usp=sf_link

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão demonstrados os resultados das pesquisas de análise de campo descritas anteriormente, proporcionando uma base de dados para que sejam discutidos e apresentados os principais motivos que contribuem para disseminação da geração fotovoltaica, e também quais fatores ainda são considerados barreiras determinantes para tal.

4.1. PERFIL DO PÚBLICO ENTREVISTADO

4.1.1. Consumidores Geradores

Na primeira pesquisa, foram entrevistados 26 usuários geradores de energia fotovoltaica. Das 627 unidades geradoras cadastradas no site da ANEEL até a data final da pesquisa, outubro de 2019, 196 pessoas foram encontradas através da rede social *Facebook*. Entre elas, apenas 26 responderam o questionário através das mensagens enviadas pela rede social, representando 4,15% dos usuários geradores da cidade, como ilustra a Figura 29. Com relação a classe das unidades consumidoras, nota-se na Figura 30, que 92,31% são residenciais, juntamente com uma pequena parcela de unidades comerciais.

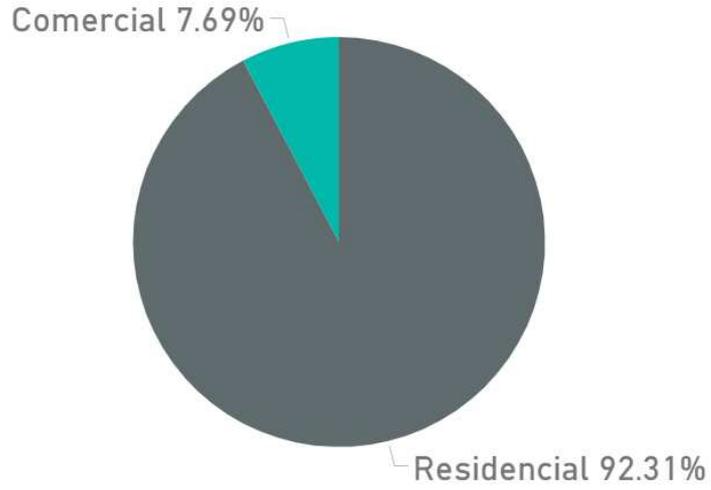
As UCs participantes foram separadas em três faixas de potência instalada, apontadas na Figura 31, com destaque para os sistemas com potência menor que 3kW, que englobam 16 unidades. O público entrevistado apresenta três subgrupos dos dez tipos existentes, como retratado na Figura 32, sendo que sua maioria, 22 unidades, pertence ao subgrupo B1. Com relação ao ano de conexão das UCs, destaca-se o ano de 2018 com 12 unidades, como indica Figura 33. Na Figura 34, tem-se a localização no mapa da cidade de Curitiba, onde encontram-se instaladas as unidades consumidoras participantes da pesquisa.

Figura 29 - Perfil do público entrevistado



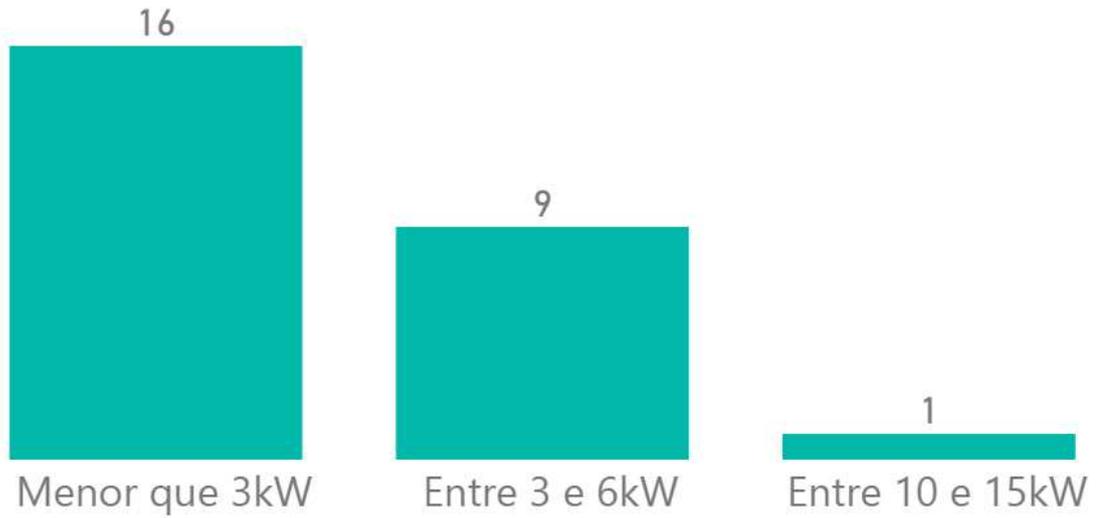
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 30 - Classe do público entrevistado

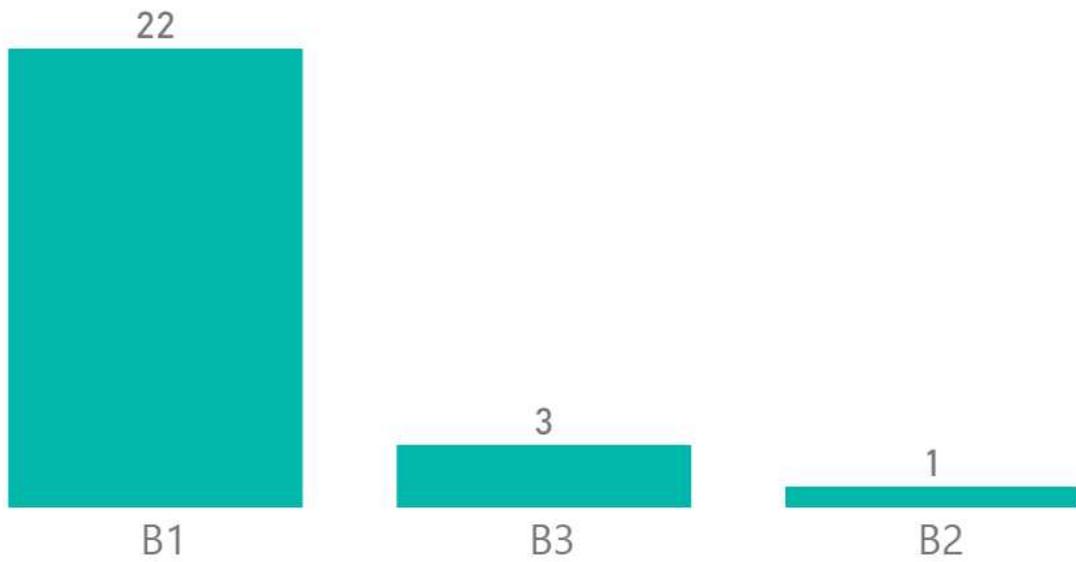


Fonte: Aatoria própria, 2019.

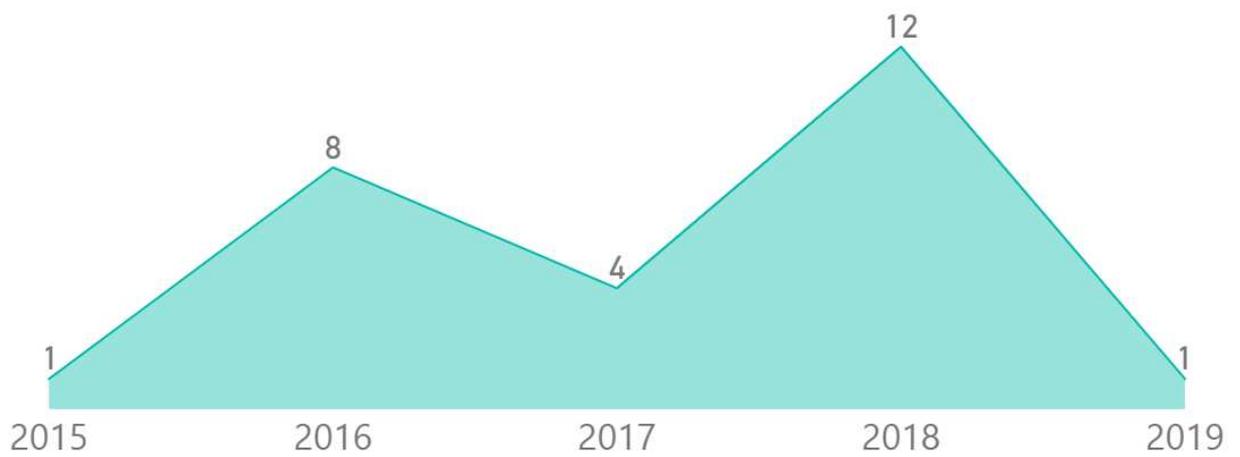
Figura 31 - Faixa de potência instalada das UCs entrevistadas



Fonte: Aatoria própria, 2019.

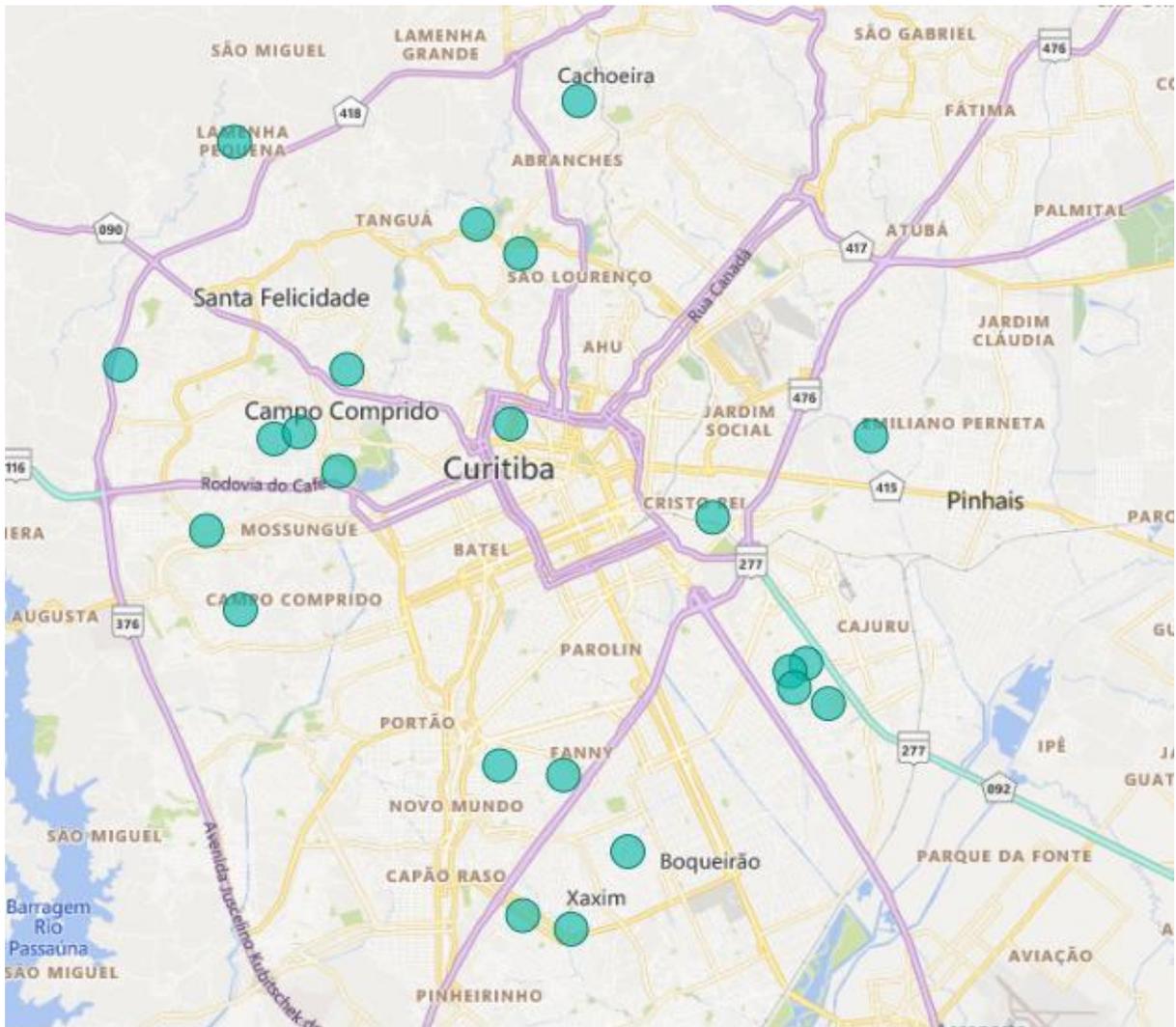
Figura 32 - Subgrupos do público participante

Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 33 - Ano de conexão das UCs entrevistadas

Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 34 - Mapa da localização das UCs entrevistadas



Fonte: Autoria própria, 2019.

4.1.2. Consumidores Não Geradores

Já no segundo questionário, realizado com consumidores não geradores, foram obtidas 210 respostas. Esses entrevistados foram abordados através da divulgação da pesquisa em grupos com colegas da faculdade ou trabalho, familiares e demais conhecidos. Como não foram requisitados dados pessoais, para facilitar as respostas, por questão de tempo e para atingir um número maior de pessoas, não é possível definir com clareza as características desse segundo grupo, porém, buscou-se englobar um grupo heterogêneo, com diferentes classes sociais e níveis de escolaridade.

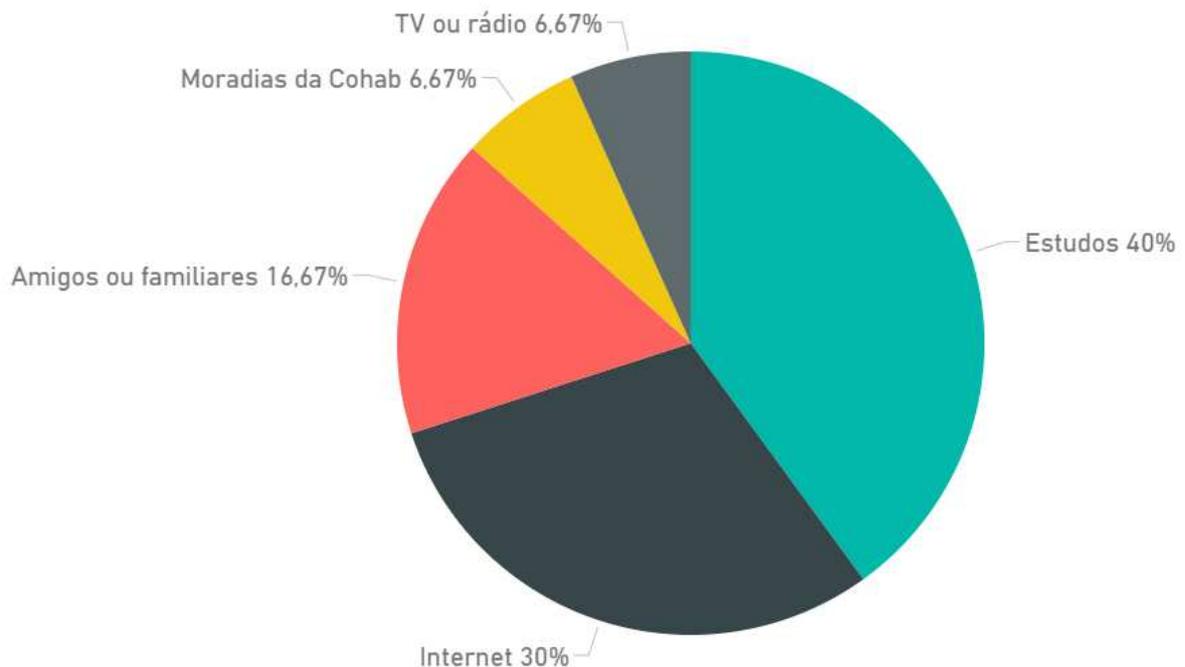
4.2. RESULTADO DOS QUESTIONÁRIOS

4.2.1. Pesquisa com Usuários Geradores da Cidade de Curitiba

4.2.1.1. Informação

Na a primeira pergunta do estudo, os entrevistados foram questionados sobre como obtiveram conhecimento sobre a geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos. Os resultados obtidos estão ilustrados na Figura 35.

Figura 35 - Como você soube sobre a geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos?



Fonte: Autoria própria, 2019.

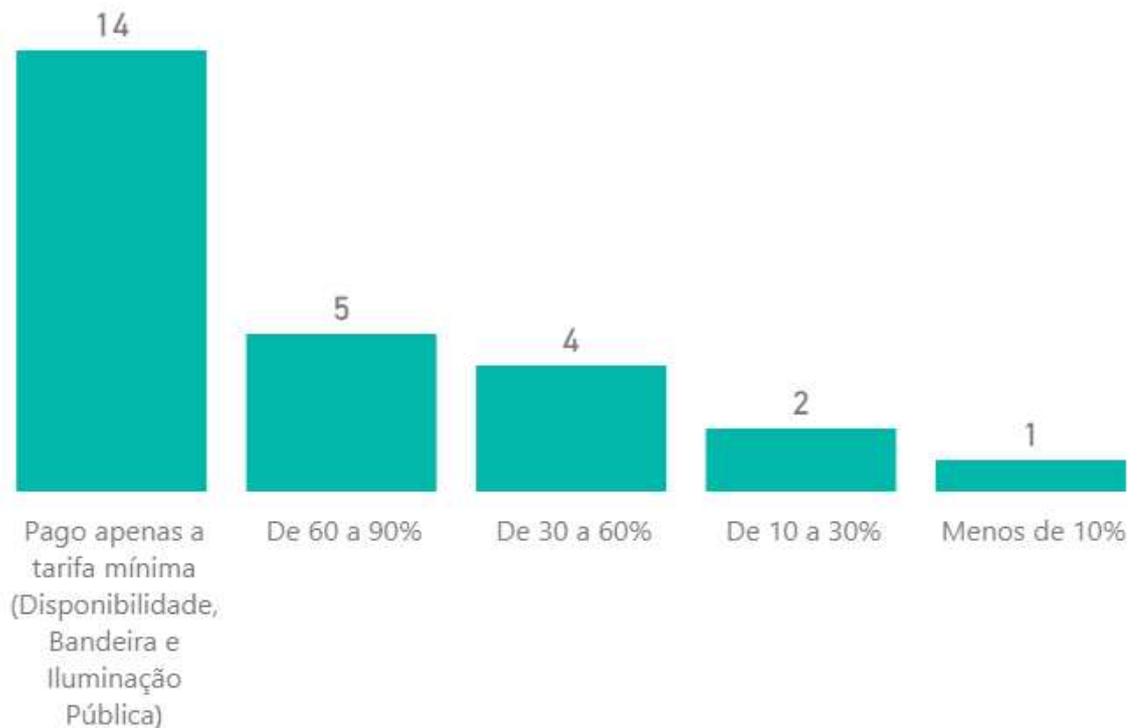
Pode-se concluir que, dentre os entrevistados, a maioria deles (40%) possuem um sistema fotovoltaico instalado em sua residência pois conhecem as vantagens dessa forma de geração através dos estudos, sendo alguns deles engenheiros, professores e empresários. Comprova-se que a educação é uma das maneiras mais eficientes para disseminação dessa tecnologia. Por outro lado, as informações transmitidas pela TV e rádio, mesmo sendo dois meios de comunicação extremamente acessíveis, não tem um impacto muito expressivo para divulgação da energia fotovoltaica. Observa-se então que é necessário explorar uma abordagem mais assertiva sobre a energia fotovoltaica nesses meios, pois atingem uma grande parcela da população, independente da classe social e nível de escolaridade. Outro ponto de atenção foram

as respostas referentes à moradia da Cohab, um programa de política habitacional para as camadas mais carentes de Curitiba e região, que tem disponibilizado residências com sistemas fotovoltaicos instalados. Iniciativas como esta contribuem para disseminação entre uma parcela da população que provavelmente não teria conhecimento e acesso à esta forma de geração.

4.2.1.2. Economia

Na segunda questão, os participantes deveriam indicar um valor médio, em porcentagem, da economia que obtiveram desde a instalação dos painéis em seus estabelecimentos. Seguem os dados coletados na Figura 36.

Figura 36 - Na média, quanto de economia obteve com a geração do painel instalado?



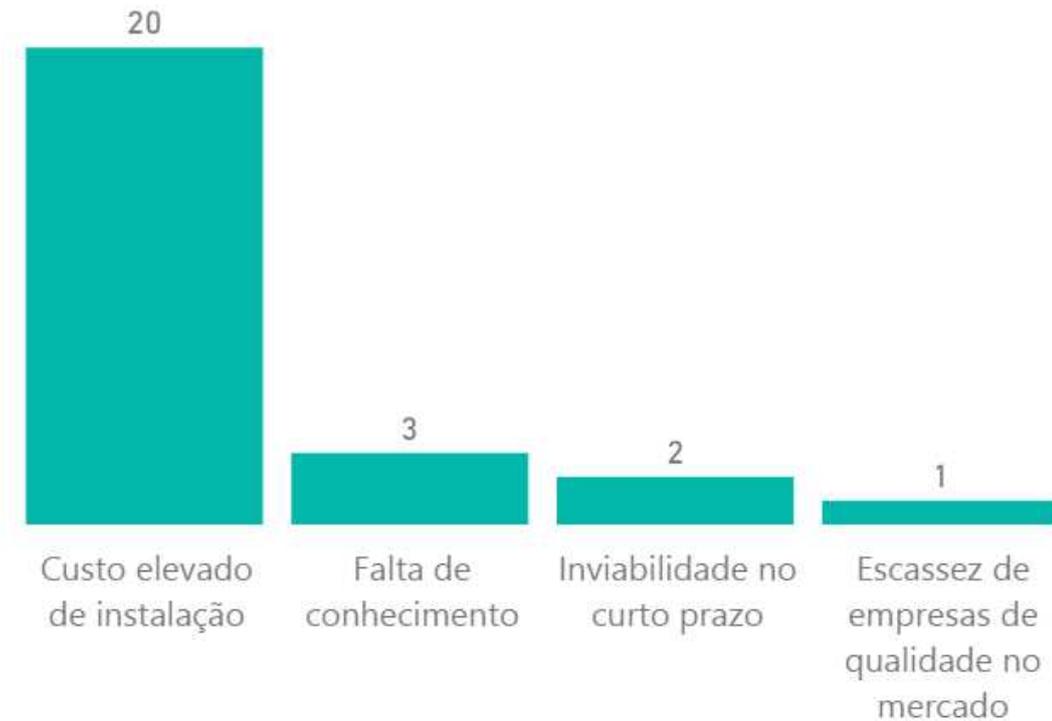
Fonte: Autoria própria, 2019.

Observa-se que a maioria dos entrevistados possuem sistemas que possibilitam o pagamento mínimo da tarifa mensal, comprovando que os projetos, em sua maioria, estão de acordo com as estimativas de geração e consumo mensal de cada usuário. Nas outras situações, há a possibilidade de erro na projeção de geração, aumento posterior do consumo mensal, ou estimativa de redução parcial da tarifa de energia elétrica, seja por limitação física ou financeira.

4.2.1.3. Desafios

No terceiro item, o questionamento foi acerca dos desafios enfrentados para a instalação dos painéis. Os resultados são apresentados na Figura 37.

Figura 37 - Qual o maior desafio para instalação de painéis fotovoltaicos?



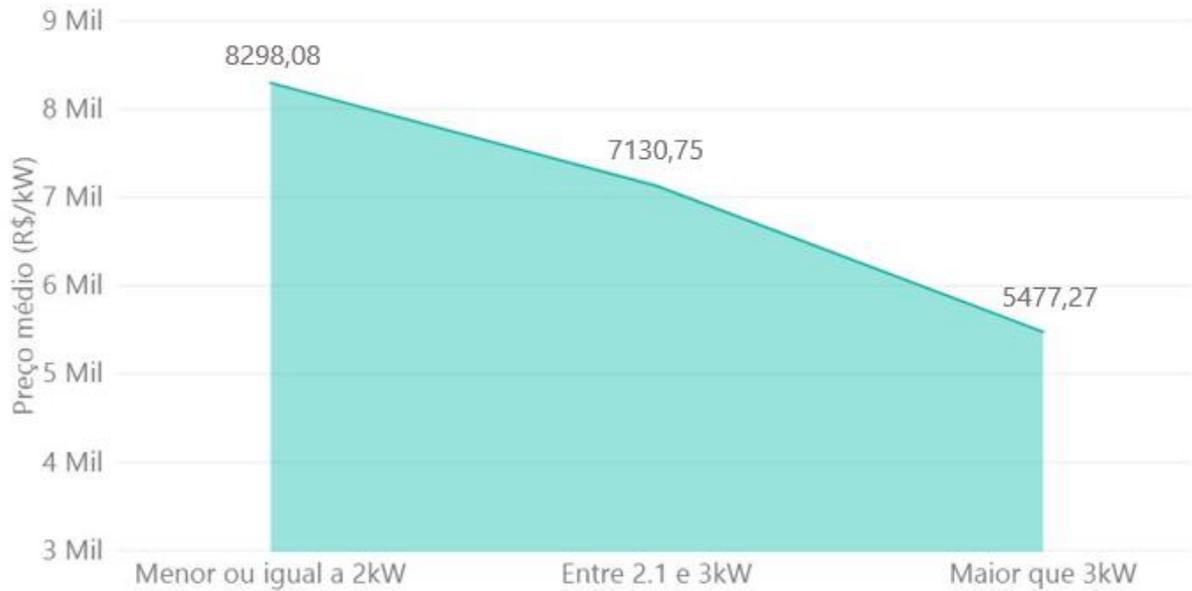
Fonte: Autoria própria, 2019.

Comprova-se a predominância do custo elevado de instalação como principal desafio para implementação dos sistemas fotovoltaicos. Mesmo para os usuários que possuem o sistema, observa-se um alto índice de pessoas que ainda consideram a tecnologia muito cara.

4.2.1.4. Custos

Na quarta pergunta, os consumidores deveriam mencionar o custo aproximado da instalação de seus sistemas. Dos 26 entrevistados, apenas 16 disponibilizaram os valores que foram investidos. Com os dados coletados e com a potência instalada de cada usuário, obteve-se um valor médio do custo do kW instalado. Esses valores foram separados por faixas de potências, e a média geral é demonstrada na Figura 38.

Figura 38 - Qual foi o custo aproximado de instalação do sistema?

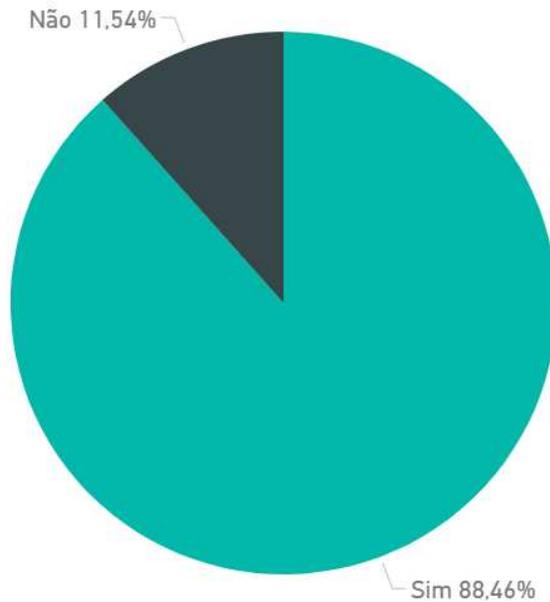


Fonte: Autoria própria, 2019.

Constata-se que o preço médio R\$/kW instalado diminui com o aumento da potência do sistema, sendo de aproximadamente R\$ 5.500,00 por kW instalado para sistemas maiores que 3kW. Devido à grande concentração de entrevistados que tiveram seus sistemas instalados no ano de 2018 e conseqüente escassez de dados em outros anos, não foi possível analisar precisamente a variação anual do preço médio por kW.

4.2.1.5. Satisfação

Nesta questão, os entrevistados apontaram se estavam satisfeitos ou não com suas instalações. O resultado é exibido na Figura 39.

Figura 39 - Está satisfeito com sua instalação?

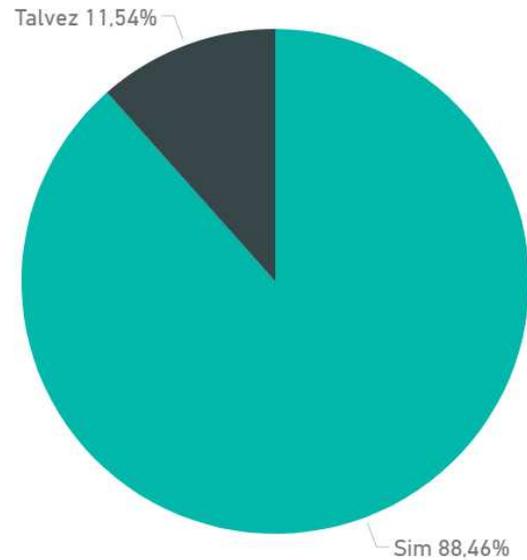
Fonte: Autoria própria, 2019.

Comprova-se um alto índice de satisfação entre os entrevistados, certificando que, mesmo com o elevado custo de instalação, a maioria dos usuários estão contentes com a geração de seus sistemas e com a economia resultante. Esses dados também validam o potencial da implementação dos sistemas fotovoltaicos em Curitiba, evidenciando o retorno satisfatório de uma parcela que já utiliza e colhe os frutos dessa forma de geração.

4.2.1.6. Recomendação

Na sexta pergunta os consumidores foram questionados se recomendariam a instalação dos painéis para amigos ou familiares. Os dados obtidos são expostos na Figura 40.

Figura 40 - Recomendaria à um amigo ou familiar?



Fonte: Autoria própria, 2019.

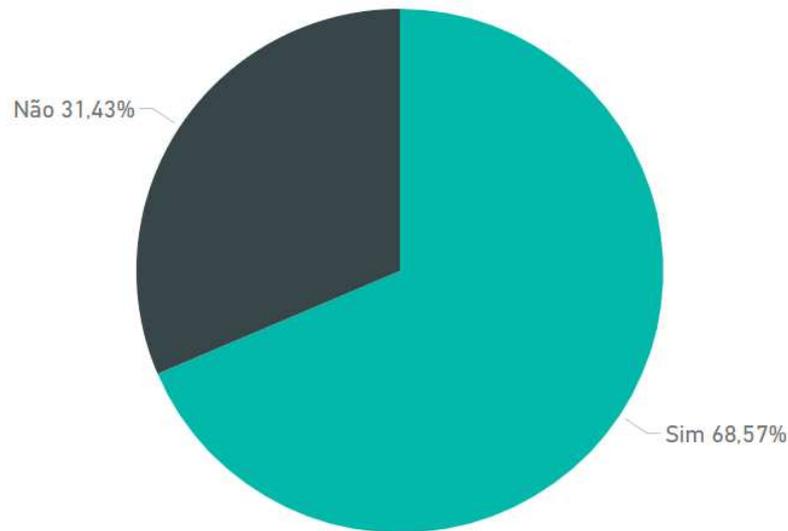
Seguindo o que foi exposto na pergunta anterior, a maioria também recomendaria a instalação de painéis à seus amigos e familiares. Esse alto percentual é de grande importância para a disseminação, sendo uma maneira muito eficaz e confiável, pois disponibiliza dados reais dos custos e retornos financeiros obtidos com a implementação de sistemas fotovoltaicos em suas residências e demais estabelecimentos.

4.2.2. Pesquisa de Campo com Consumidores Não Geradores

4.2.2.1. *Conhecimento*

Na primeira pergunta da pesquisa, os entrevistados deveriam indicar se possuíam algum conhecimento prévio sobre a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos. O resultado é evidenciado na Figura 41.

Figura 41 - Você já ouviu falar sobre a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos?

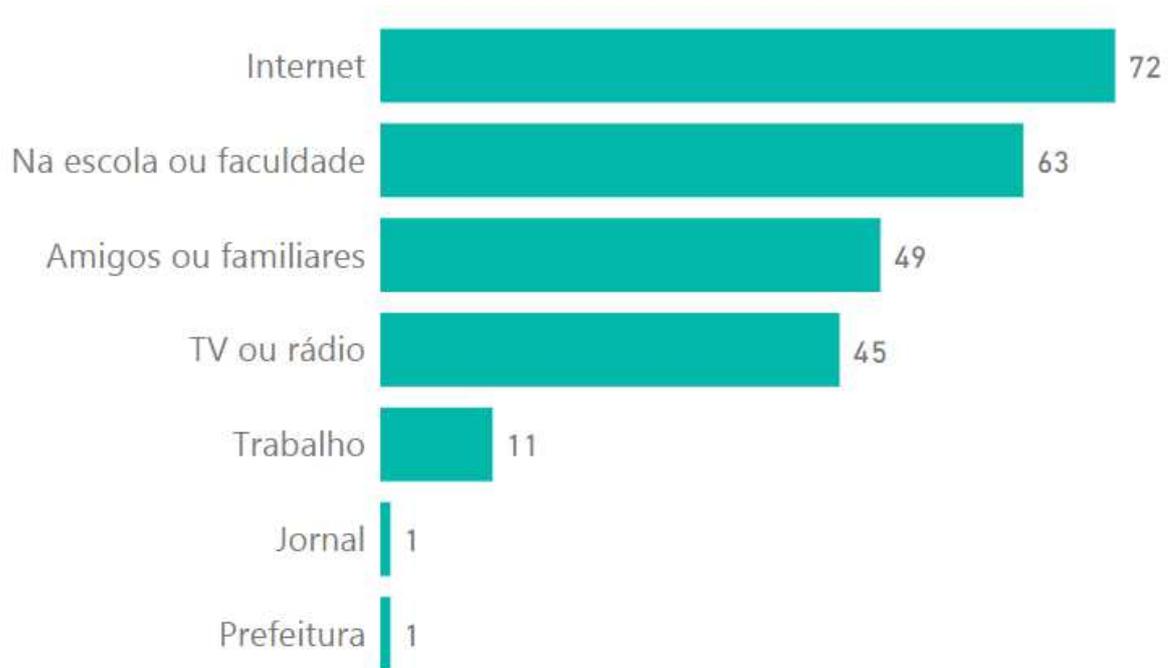


Fonte: Aatoria própria, 2019.

Aproximadamente um terço do público entrevistado nunca ouviu falar sobre essa forma de geração de energia elétrica. Mesmo que fosse previsto o desconhecimento por uma parcela da população, o resultado obtido foi acima do esperado, comprovando a carência na divulgação de informações acerca do tema. Dos 210 entrevistados, 66 nunca ouviram falar sobre e 144 sabiam do que se tratava.

4.2.2.2. Informação

No segundo item, caso a resposta da primeira questão fosse positiva, os participantes deveriam informar como obtiveram esse conhecimento. As respostas são apresentadas na Figura 42.

Figura 42 - Caso sim, como você soube?

Fonte: Autoria própria, 2019.

Dentre os que declararam ter algum entendimento do tópico, há a predominância de propagação de informações através da Internet, diferentemente do que foi constatado na pesquisa anterior, onde a maior parte do público entrevistado obteve conhecimento através dos estudos. Com os devidos cuidados, a internet é uma forma muito eficiente e acessível de disseminar dados e informações para outros públicos, independente da área de atuação.

4.2.2.3. Adesão

Neste tópico foi questionado o motivo dos consumidores não possuírem um sistema instalado em seus estabelecimentos. Os dados coletados são apontados na Figura 43.

Figura 43 - Por qual motivo você não possui um sistema instalado em sua residência, comércio e/ou indústria?



Fonte: Autoria própria, 2019.

Assim como na primeira pesquisa, o custo é considerado o fator mais representativo na falta de adesão de novos usuários. Porém, outros motivos demonstram alguns impasses pressupostos pelo público geral, que nem sempre são verdadeiros, como a afirmação que Curitiba não tem muitos dias de sol, comprovando o desconhecimento do potencial fotovoltaico da cidade. Outra declaração relevante é a de que muitos afirmaram não saber por onde começar. Essa afirmação foi a segunda mais citada pelas pessoas entrevistadas e mostra que, mesmo havendo uma conscientização sobre a energia fotovoltaica, há também uma grande deficiência de informações dos procedimentos necessários para instalação dos painéis. Outro importante ponto é a inviabilidade da instalação em grandes centros urbanos devido à quantidade de pessoas vivendo em apartamentos, de aluguel ou que não possuem espaço físico suficiente. São situações comuns que geram muitas dúvidas relacionadas à viabilidade dos sistemas fotovoltaicos.

4.2.2.4. Vantagens

Na quarta questão, os entrevistados deveriam apontar quais das opções fornecidas, consideravam como vantagens de um sistema fotovoltaico. Os valores obtidos são retratados na Figura 44.

Figura 44 - Quais dessas opções você acha que são vantagens de um sistema fotovoltaico?



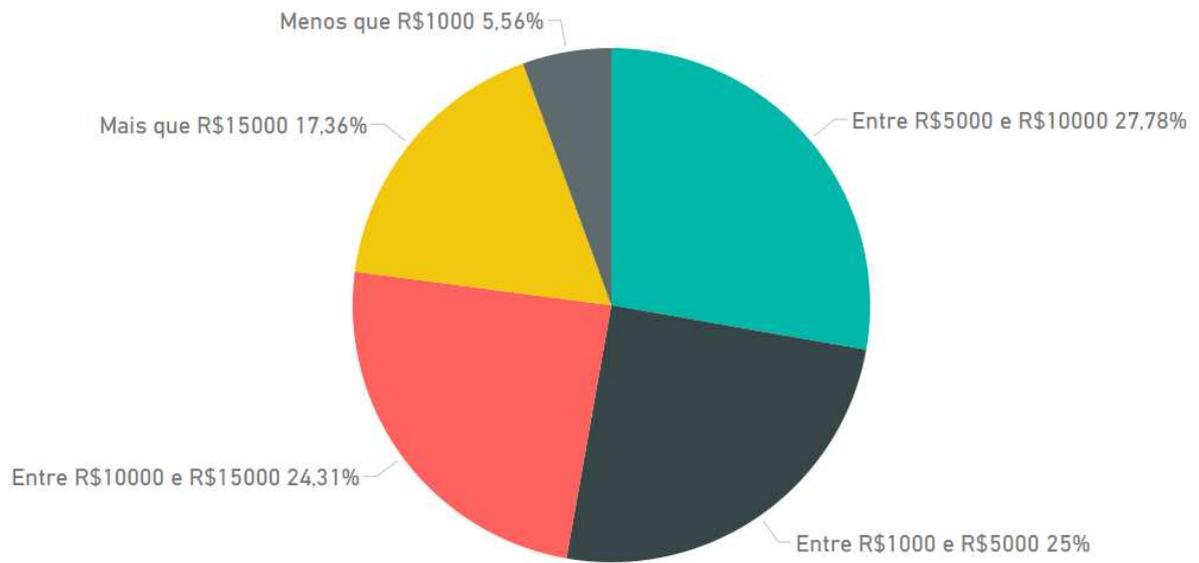
Fonte: Autoria própria, 2019.

Dentre as opções disponibilizadas para os entrevistados, uma parcela significativa considera as três vantagens predominantes da geração distribuída com sistemas fotovoltaicos a redução da fatura de energia, a preservação do meio ambiente e o fato de ser uma fonte renovável de energia. A valorização imediata do imóvel não é considerada uma vantagem pela maioria. E também houve um baixo índice de pessoas que, devido à falta de informação, acreditam em uma característica não verdadeira dos sistemas fotovoltaicos.

4.2.2.5. Custos

Na quinta pergunta, o questionamento foi em relação ao custo de um sistema fotovoltaico capaz de produzir uma média de 300kWh/mês. As respostas são apresentadas na Figura 45.

Figura 45 - Quanto você acha que custa um sistema fotovoltaico capaz de produzir em média 300kWh/mês?



Fonte: Autoria própria, 2019.

Como demonstrado nas respostas coletadas através da terceira pergunta, a grande maioria dos entrevistados não considera a instalação de um sistema fotovoltaico em seu estabelecimento devido ao alto custo. Porém, quando perguntados sobre o custo de um sistema fotovoltaico capaz de gerar, em média, 300kWh/mês, observa-se uma grande similaridade entre as quantidades de respostas para cada uma das faixas de valores disponibilizadas, onde 35 pessoas, que representam 24,31% dos entrevistados, responderam a faixa de valores aproximada que corresponde à média atual de valores do mercado para um sistema capaz de gerar 300kWh/mês em Curitiba, que varia de R\$10.000,00 a R\$15.000,00.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Primeiramente, o trabalho apresentou fundamentos teóricos da geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos e as características de sistemas conectados à rede, utilizados em larga escala por estabelecimentos com geração distribuída no Brasil. Parte importante para compreensão dessa forma de geração está relacionada às normas e resoluções exigidas pelos órgãos regulamentadores e pelas concessionárias, para que o sistema fotovoltaico possa ser conectado com segurança à rede de distribuição. Todas as normas vigentes, inclusive as da COPEL, concessionária que atua na maioria das cidades paranaenses, foram citadas e explanadas durante o desenvolvimento.

No presente trabalho foram apresentados dados da potência instalada no Estado do Paraná e na cidade de Curitiba, nos quais observa-se um crescimento exponencial, com forte adesão da classe residencial, principalmente no ano de 2018. Esse progresso pode ser considerado como um retorno significativo da regulamentação estabelecida pela Resolução Normativa nº 482, de 2012, que possibilitou a geração distribuída em nosso país, e da isenção de impostos sobre a energia gerada no Estado.

Porém, um fator relevante quando se fala de barreiras para disseminação dessa forma de geração é a tributação. Com mudanças recentes devido à nova interpretação da Lei Estadual nº 19.595, de 4 de junho de 2018, que trata da isenção do imposto estadual ICMS para geração distribuída, os usuários geradores foram prejudicados, visto que o valor de venda da energia elétrica gerada é 19,23% menor que o valor de compra da mesma quantidade de energia. Isso ocorre pois a tributação do ICMS é isenta somente em uma parcela da energia elétrica consumida, respectiva à TE, sendo a tarifa referente à TUSD ainda tributada. Esse valor é considerável e prolonga o tempo de retorno do investimento no projeto, sendo então mais uma barreira para potencializar esse crescimento.

Considerando os resultados das pesquisas realizadas, conclui-se que embora abordem realidades de dois públicos diferentes, possuem algumas conclusões similares. Analisando as pesquisas conjuntamente, observa-se que, dentre os usuários que já possuem sistemas fotovoltaicos, a maioria os tem porque detêm conhecimento e informação suficiente para tal através dos estudos. Por outro lado, valida-se que o desconhecimento de grande parte da população ainda é uma realidade, e que devido à essa falta de informação, as principais crenças, principalmente relacionadas ao custo, ainda são obstáculos para uma aderência ainda maior de usuários na capital paranaense. Com o custo elevado sendo a principal justificativa para não aquisição de painéis fotovoltaicos, houve uma grande dispersão nas respostas sobre o valor de

um sistema capaz de gerar 300kWh por mês. Comprova-se que a crença é que são equipamentos caros, mesmo que não possuam informações precisas de quanto realmente custam. Outra afirmação muito relevante é verificada no alto índice de afirmações de pessoas que justificam não ter os painéis em seus estabelecimentos por simplesmente não saberem por onde começar. Essas duas afirmações comprovam que, mesmo que tenhamos como principal barreira o custo dos painéis, ainda há um longo caminho educacional sobre a geração fotovoltaica.

A falta de informações acessíveis e claras sobre a tecnologia atinge fortemente aqueles que não possuem algum tipo de conhecimento específico na área, mas não deixa de atrapalhar a outra parcela, daqueles com mais informações, fato comprovado pelas dificuldades encontradas nesse trabalho para realizar a caracterização da estrutura da tarifa de energia elétrica de uma unidade consumidora geradora elaborada pela COPEL. Isso comprova a necessidade de uma maior clareza na difusão de informações, além de uma abordagem mais compreensível e eficaz para o público em geral.

Buscando contribuir na mitigação desse problema, o presente estudo, disponibiliza diversos dados coletados durante sua elaboração, na plataforma *Microsoft PowerBI*, de maneira didática, objetiva e interativa, com acesso rápido através de um *link*, onde o público pode visualizar as informações levantadas. O relatório encontra-se no Anexo I deste trabalho e no link:<<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojODkyNDQ5MDMtYjExNy00MzRkLWJiZWItOTU0YmUwOGU4YWVmIiwidCI6ImQ1ZWewMTEwLWNmZTUtNDM5Yi1hOTQ3LWFhMjdjZDU2ZjA2NyJ9>>.

Contextualizando todo o trabalho, observa-se que embora tenha sido constatado um crescimento significativo nos últimos anos, as principais barreiras para intensificar ainda mais o aproveitamento do potencial fotovoltaico estão relacionadas ao custo e à desinformação.

Sobre a desinformação, entende-se a importância da conscientização de todas as camadas da população, incluindo outras áreas de estudo, para que sejam atenuadas as principais suspeições sobre o tema, que se tornam empecilhos na difusão da energia fotovoltaica. Junto a isso, uma maior adesão de programas de incentivo de políticas habitacionais, como o Cohab, contribui para que essa conscientização atinja uma parcela da população carente, que não possui condições financeiras para tal. Observa-se através da coleta de dados realizada que não há muita influência positiva governamental, com números ínfimos de potência instalada nas classes de serviço público, poder público e iluminação pública.

Com relação ao custo, estima-se que os avanços tecnológicos que incrementam a eficiência dos equipamentos, junto com o aumento da oferta no mercado, conduzem à redução do valor do investimento inicial dos sistemas fotovoltaicos. Além disso, parte fundamental para

a viabilidade de projetos na geração distribuída estão relacionadas às discussões vigentes sobre a revisão da Resolução Normativa nº 482, o qual discute uma mudança do sistema de compensação de energia, tema sugerido para futuros trabalhos.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir do estudo realizado sobre as barreiras para implementação de painéis fotovoltaicos em Curitiba, sugere-se para trabalhos futuros: acompanhar a revisão da Resolução Normativa nº 482 e os impactos decorrentes; expandir a abordagem descrita nesse trabalho para um número maior de pessoas, com um questionário mais elaborado, que permita um questionamento mais assertório dos comportamentos e das adversidades relacionadas ao assunto; atuar em maneiras de fortalecimento dessa forma de geração através das dificuldades expostas, com outras alternativas de divulgação de informações relevantes do tema.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Pedro Machado. **Condicionamento da Energia Solar Fotovoltaica para Sistemas Interligados à Rede Elétrica**. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.

ANEEL. **Capacidade de Geração no Brasil**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 5 Abr. 2018.

ANEEL. **Entendendo a Tarifa**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa/-/asset_publisher/uQ5pCGhnyj0y/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fentendendo-a-tarifa%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_uQ5pCGhnyj0y%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_stat%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2>. Acesso em: 31 Out. 2019.

ANEEL. **Resolução Homologatória n 2559, de 18 de junho de 2019**. Brasília, 2019a. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20192559ti.pdf>>. Acesso em: 31 Out. 2019.

ANEEL. **Matriz de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 5 Nov. 2019.

ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída, Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 2a edição, Brasília, maio 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>>. Acesso em: 16 Fev. 2019.

ANEEL. **Nota Técnica nº 115/2005–SFF/SRE/ANEEL**. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2005/014/documento/notatcnicapiscofins.pdf>>. Acesso em: 2 Jun. 2019.

ANEEL. **Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010**. Brasília, 2010a. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414comp.pdf>>. Acesso em: 1º Jun. 2019.

ANEEL. **Resolução Normativa n 418, de 23 de novembro de 2010**. Brasília, 2010b. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010418.pdf>>. Acesso em: 25 Mai. 2019.

ANEEL. **Resolução Normativa n 479, de 3 de abril de 2012**. Brasília, 2012a. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.pdf>>. Acesso em: 31 Out. 2019.

ANEEL. **Resolução Normativa n 482, de 17 de abril de 2012**. Brasília, 2012b. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>. Acesso em: 7 Abr. 2019.

ANEEL. **Resolução Normativa n 687, de 24 de novembro de 2015**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 7 Abr. 2019.

ANEEL. **Tarifa Branca**. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>>. Acesso em: 28 Nov. 2019.

ANEEL. **Tarifa Residencial – Evolução TUSD/TE**. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOTY0NWQzOGItMmQ3ZS00MWUzLTIINmMtNTA5NTYxODdhYTtkzIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>>. Acesso em: 31 Out. 2019.

BRASIL. **Lei complementar nº 7, de 7 de setembro de 1970**. Brasília, 1970a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LCP/Lcp07.htm>. Acesso em: 2 jun. 2019.

BRASIL. **Lei complementar nº 8, de 3 de dezembro de 1970**. Brasília, 1970b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LCP/Lcp08.htm>. Acesso em: 2 jun. 2019.

BRASIL. **Lei complementar nº 26, de 11 de setembro de 1975**. Brasília, 1975. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/Lcp26.htm>. Acesso em: 2 jun. 2019.

BRASIL. **Lei complementar nº 70, de 30 de dezembro de 1991**. Brasília, 1991. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LCP/Lcp70.htm>. Acesso em: 2 jun. 2019.

BRASIL. **Lei nº 13.169, de 6 de outubro de 2015**. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13169.htm#anexo>. Acesso em: 2 jun. 2019.

BRASIL. **Lei nº 9.718, de 27 de novembro de 1998**. Brasília, 1998. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19718.htm>. Acesso em: 2 Jun. 2019.

BOSCH SOLAR ENERGY AG. **Folha de dados Bosch Solar Module c-Si M 60EU30117**, 2011.

BOSCH SOLAR ENERGY AG. **Installation and Safety Manual for the c-Si M60(S) NA 30117 and NA 42117 Families of Crystalline Photovoltaic Modules**, 2011.

CANADIAN SOLAR. **HiKu - Super high power poly perc module**. Ontario, 2019. Disponível em: <<https://www.canadiansolar.com/upload/55bb2d3819da47c6/0ac3c8f850d7224a.pdf>>. Acesso em: 4 Jun. 2019.

CONFAZ. **Convênio ICMS 16, de 22 de abril de 2015**. Brasília, 2015. Disponível em: <https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/CV016_15>. Acesso em: 1º Jun. 2019.

COPEL. **NTC 905100 - Acesso de geração distribuída ao sistema da Copel (com comercialização de energia)**. Curitiba, 2010. Disponível em: <[https://www.copel.com/hpcopel/root/ntcarquivos.nsf/0342A62F50C68EC4032577F500644B9A/\\$FILE/905100.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/ntcarquivos.nsf/0342A62F50C68EC4032577F500644B9A/$FILE/905100.pdf)>. Acesso em: 7 Abr. 2019.

COPEL. **NTC 905200 - Acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema da Copel**. Curitiba, 2014. Disponível em: <<https://www.copel.com/hpcopel/root/ntcarquivos.nsf/E00A539C1F08DF2003257F69004DF>>

8BC/\$FILE/NTC%20905200%20Acesso%20de%20Micro%20e%20Minigera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADda.pdf>. Acesso em: 7 Abr. 2019.

CURITIBA. **Decreto nº 1350, de 6 de dezembro de 2018**. Curitiba, 2018. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=371497>>. Acesso em: 2 jun. 2019.

EPE. **Nota Técnica DEA 13/15, Demanda da Energia 2050**. Janeiro 2016.

EPE. **Nota Técnica DEA 19/14, Inserção da geração fotovoltaica distribuída no Brasil - Condicionantes e impactos**. Outubro 2014.

FIRST SOLAR. **First Solar Series 6™**. Arizona, 2019. Disponível em: <<http://www.firstsolar.com/-/media/First-Solar/Technical-Documents/Series-6-Datasheets/Series-6-Datasheet.ashx>>. Acesso em: 4 Jun. 2019.

GREEN, M. A., EMERY, K., HISHIKAWA, Y., WARTA, W., DUNLOP, E.D. **Solar cell efficiency tables (Version 53). Progress in Photovoltaics: Research and Applications, v. 27, 2019**, Janeiro 2019. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pip.3102>>. Acesso em: 3 Jun. 2019.

IEC. **IEC 61215: Crystalline Silicon Terrestrial Photovoltaic (PV) Modules - Design Qualification and Type Approval**, 2016. Disponível em: <<https://saso.gov.sa/ar/about/PublicConsultation/Documents/SASO%20IEC%2061215-ed2%200-en.pdf>>. Acesso em: 5 Abr. 2019

INMETRO. **Programa Brasileiro de Etiquetagem Fotovoltaico**, 2018. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/sistema-fotovoltaico.asp>>. Acesso em: 5 Abr. 2019.

MARKVART, T.; CASTAÑER, L. **Practical handbook of photovoltaics fundamentals and applications**. Elsevier, 2003.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisas Energéticas, 2012.

MME/EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. Brasília. 2017.

NREL. **Glossary of Solar Radiation Resource Terms: National Renewable Energy Laboratory**, 2016. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/grid/solar-resource/solar-glossary.html>>. Acesso em: 6 Abr. 2019.

PARANÁ. **Decreto nº 7.871, Seção II, Art. 17. Publicado no DOE 10040 de 2.10.2017**. Disponível em: <<http://www.fazenda.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao/RICMS2017.pdf>>. Acesso em: 2 Jun. 2019.

PARANÁ. **Lei nº 19.595, de 12 de julho de 2018**. Curitiba, 2018. Disponível em: <http://portal.assembleia.pr.leg.br/modules/mod_legislativo_arquivo/mod_legislativo_arquivo.php?leiCod=51518&tipo=L&tplei=0>. Acesso em: 2 Jun. 2019.

PEREIRA, Enio B.; MARTINS, Fernando R.; ABREU, Samuel L.; RUTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. Disponível em:

<http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf>. Acesso em: 11 Abr. 2018.

PEREIRA, Enio B.; MARTINS, Fernando R.; GONÇALVES, André R.; COSTA, Rodrigo S.; LIMA, Francisco J. L.; RUTHER, Ricardo; ABREU, Samuel L.; TIEPOLO, Gerson M.; PEREIRA, Silva V.; SOUZA, Jefferson G. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2ª edição. São José dos Campos: INPE, 2017.

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

PINHO, J. T.; BARBOSA, C. F. O.; PEREIRA, E. J. S.; SOUZA, H. M. S.; BLASQUES, L. C. M.; GALHARDO, M. A. B.; MACÉDO, W. N. **Sistemas híbridos - Soluções energéticas para a Amazônia**. Brasília, Ministério de Minas e Energia, 2008

PORTAL SOLAR. **Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar**, 2019. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/passo-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>>. Acesso em: 5 Abr. 2019.

REN21. **Renewables Global Status Report**. 2019. Disponível em: <<https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>>. Acesso em: 5 Nov. 2019.

ROCHA, Gustavo Adolfo. **Quartzo (cristal)**. Goiânia: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2015.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1ª edição. Florianópolis: LABSOLAR, 2004.

SAUAIA, Rodrigo L. **Energia Solar Fotovoltaica: Panorama, Oportunidades e Desafios**. 2018. Disponível em: <<http://ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/02-Setor-Dr.RodrigoLopesSuaia-Absolar.pdf>>. Acesso em: 19 Mai. 2019.

SMETS, Arno; JAGER, Klaus; ISABELLA, Olindo; SWAAIJ, René V.; ZEMAN, Miro. **Solar Energy, the physics and engineering of photovoltaic conversion technologies and systems**. UIT Cambridge, England. 2016.

SOLARTERRA. **Energia Solar Fotovoltaica Guia Prático**, 2008. Disponível em: <<https://mbecovilas.files.wordpress.com/2011/06/energia-solar-fotovoltaica.pdf>>. Acesso em: 6 Abr. 2019.

THE UNITED SOLAR INCORPORATION. **Photovoltaic cell basics**, 2019. Disponível em: <<http://www.theunitedsolar.com/main/photovoltaic-cell-basics>>. Acesso em: 6 Abr. 2019.

TIEPOLO, Gerson Máximo. **Estudo do Potencial de Geração de Energia Elétrica através dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Estado do Paraná**. Tese (Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas) Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS), Pontífica Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2015.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S., ALVES, A. R. **Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**. 1ª Edição. Curitiba: UTFPR, 2017.

TONIN, Fabianna Stumpf. **Caracterização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica na Cidade de Curitiba**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2017.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. **Normas para elaboração de trabalhos acadêmicos**. Comissão de Normalização de Trabalhos Acadêmicos. Curitiba: UTFPR, 2008.

URBANETZ JR, Jair. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. Tese (Doutor em Engenharia Civil) Pós Graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1ª edição. São Paulo: Érica, 2012.

APÊNDICE A

Pesquisa de satisfação com os proprietários de unidades consumidoras com geração distribuída do tipo fotovoltaica em Curitiba.

Energia fotovoltaica em Curitiba

Formulário criado pelos alunos do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, sendo utilizado como parte do Trabalho de Conclusão de Curso. A pesquisa tem por objetivo obter e analisar dados de expansão e satisfação dos consumidores geradores de energia fotovoltaica, visando compreender as dificuldades enfrentadas para disseminação dessa forma de geração na capital paranaense.

Alunos: Caroline Ogiboski Eduardo e Vitor Luiz Orlandini Klein
Orientador: Professor Dr. Jair Urbanetz Júnior

Tempo aproximado de resposta: 1 minuto

*Obrigatório

Como você soube sobre a geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos? *

- Estudos
- Internet
- TV ou rádio
- Amigos ou familiares
- Outro: _____

Na média, quanto de economia obteve com a geração do painel instalado? *

- Menos de 10%
- De 10 a 30%
- De 30 a 60%
- De 60 a 90%
- Pago apenas a tarifa mínima (Disponibilidade, Bandeira e Iluminação Pública)
- Outro: _____

Qual o maior desafio para a instalação de painéis fotovoltaicos? *

- Falta de conhecimento
- Custo elevado de instalação
- Inviabilidade no curto prazo
- Escassez de empresas de qualidade no mercado
- Outro: _____

Qual foi o custo aproximado de instalação do sistema?

Sua resposta

Está satisfeito com sua instalação? *

Sim

Não

Recomendaria à um amigo ou familiar? *

Sim

Não

Talvez

Considerações e comentários:

Sua resposta

ENVIAR

APÊNDICE B

Pesquisa de campo com proprietários de unidades consumidoras sem geração distribuída em Curitiba.

Energia fotovoltaica em Curitiba

Formulário criado pelos alunos do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, sendo utilizado como parte do Trabalho de Conclusão de Curso. A pesquisa tem por objetivo obter e analisar dados para compreender as dificuldades enfrentadas para disseminação dessa forma de geração na capital paranaense.

Alunos: Caroline Ogiboski Eduardo e Vítor Luiz Orlandini Klein
Orientador: Professor Dr. Jair Urbanetz Júnior

Tempo aproximado de resposta: 1 minuto

*Obrigatório

Você já ouviu falar sobre a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos? *

- Sim
- Não

Caso sim, como você soube? *

- Internet
- Na escola ou faculdade
- TV ou rádio
- Amigos ou familiares
- Outro:

Por qual motivo você não possui um sistema instalado em sua residência, comércio e/ou indústria? *

- Não sei por onde começar
- Não tenho espaço físico suficiente
- Curitiba não tem muitos dias de sol
- Não gosto de investir a longo prazo
- Moro de aluguel
- Não tenho interesse
- Considero muito caro
- Me disseram que não vale a pena
- Outro: _____

Quais dessas opções você acha que são vantagens de um sistema fotovoltaico? *

- Ser uma fonte renovável
- Não ficar sem energia em casa
- Reduzir a fatura de energia
- Preservação do meio ambiente
- Valorização do imóvel

Quanto você acha que custa um sistema fotovoltaico capaz de produzir em média 300kWh/mês? *

- Menos que R\$1000
- Entre R\$1000 e R\$5000
- Entre R\$5000 e R\$10000
- Entre R\$10000 e R\$15000
- Mais que R\$15000

Deixe aqui sua principal dúvida sobre a energia fotovoltaica:

Sua resposta

VOLTAR

ENVIAR

 Página 2 de 2

ANEXO I

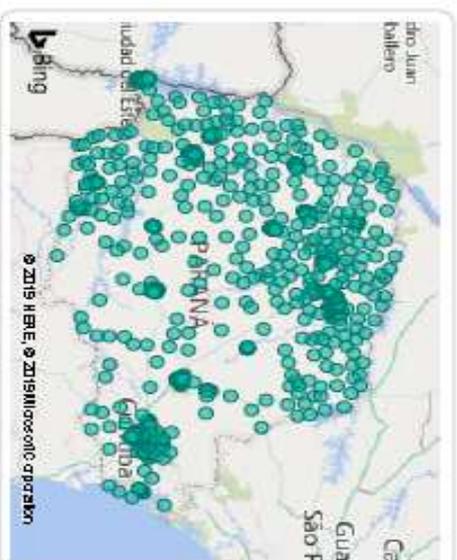
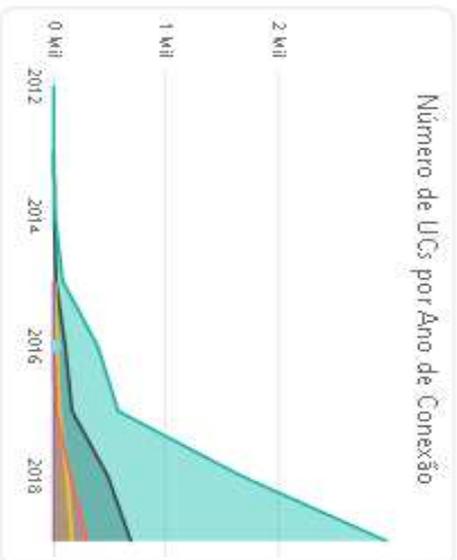
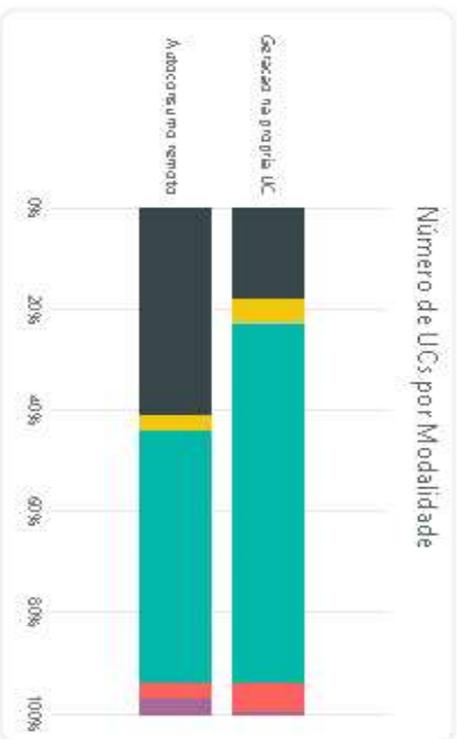
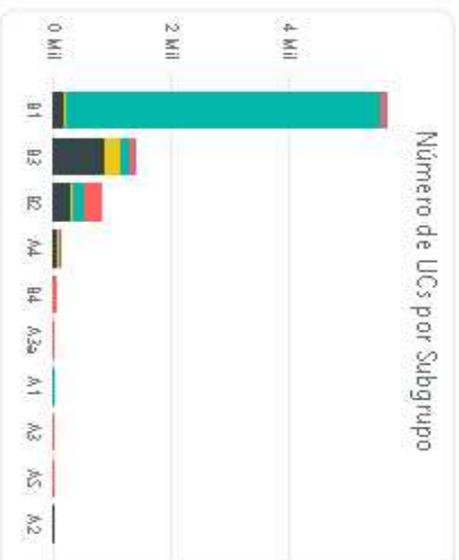
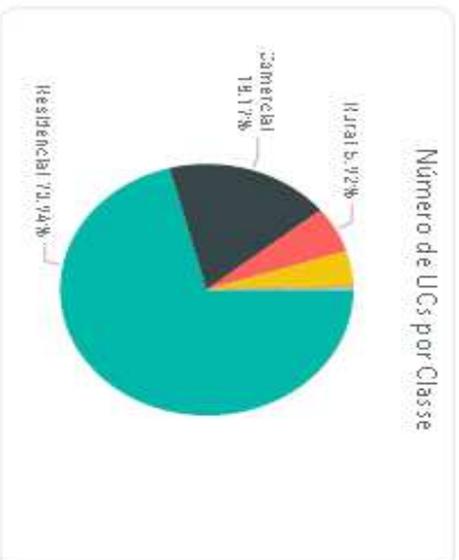
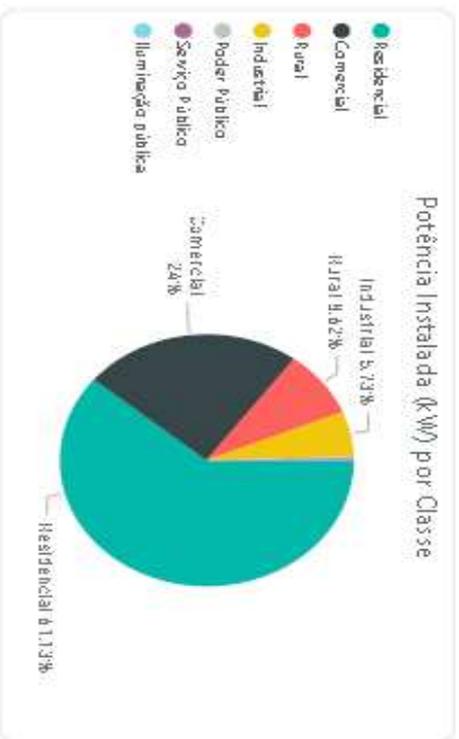
Relatório gerado com o *Microsoft Power BI* com todos os dados e pesquisas realizadas no trabalho

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Curitiba
 Relatório criado pelos alunos: Caroline Ogilowski Eduardo e Vitor Luiz Orlandini Klein
 Trabalho de Conclusão de Curso 2
 Orientador: Professor Dr. Jair Urbanetz Junior
 Fonte: ANEEL (2019)

Geração Distribuída Fotovoltaica no Estado do Paraná - Out/2019

Potência Instalada (KW)
162.65 Mil

Número de Unidades Consumidoras
8039



Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Curitiba
 Relatório criado pelos alunos: Caroline Ogilvie Eduardo e Vitor Luiz Orlandini Klein
 Trabalho de Conclusão de Curso 2
 Orientador: Professor Dr. Jair Urbanetz Junior
 Fonte: ANEEL (2019)

Geração Distribuída Fotovoltaica na cidade de Curitiba - Out/2019

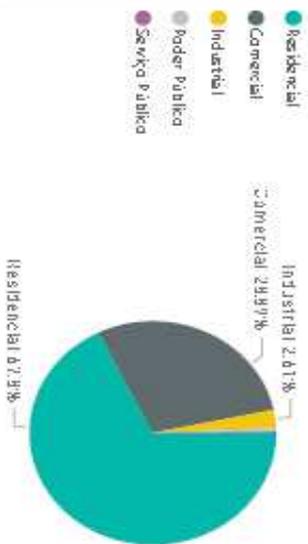
Potência Instalada (kW)

6.94 Mil

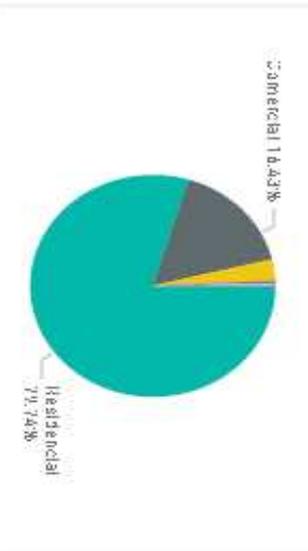
Número de Unidades Consumidoras

627

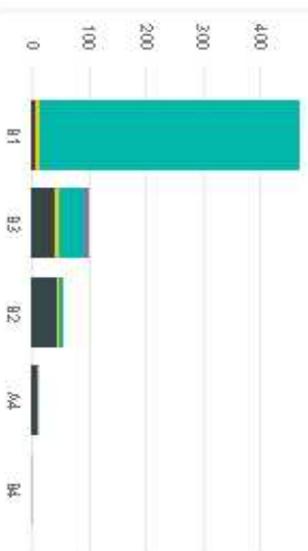
Potência Instalada (kW) por Classe



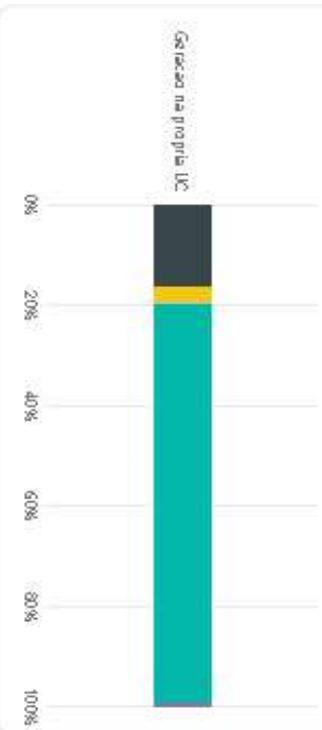
Número de UCs por Classe



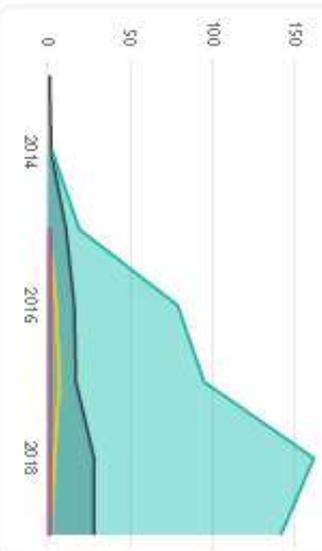
Número de UCs por Subgrupo



Número de UCs por Modalidade



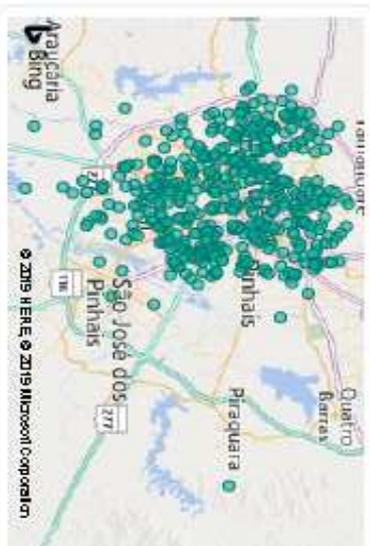
Número de UCs por Ano de Conexão



Representatividade no Estado em Potência Instalada

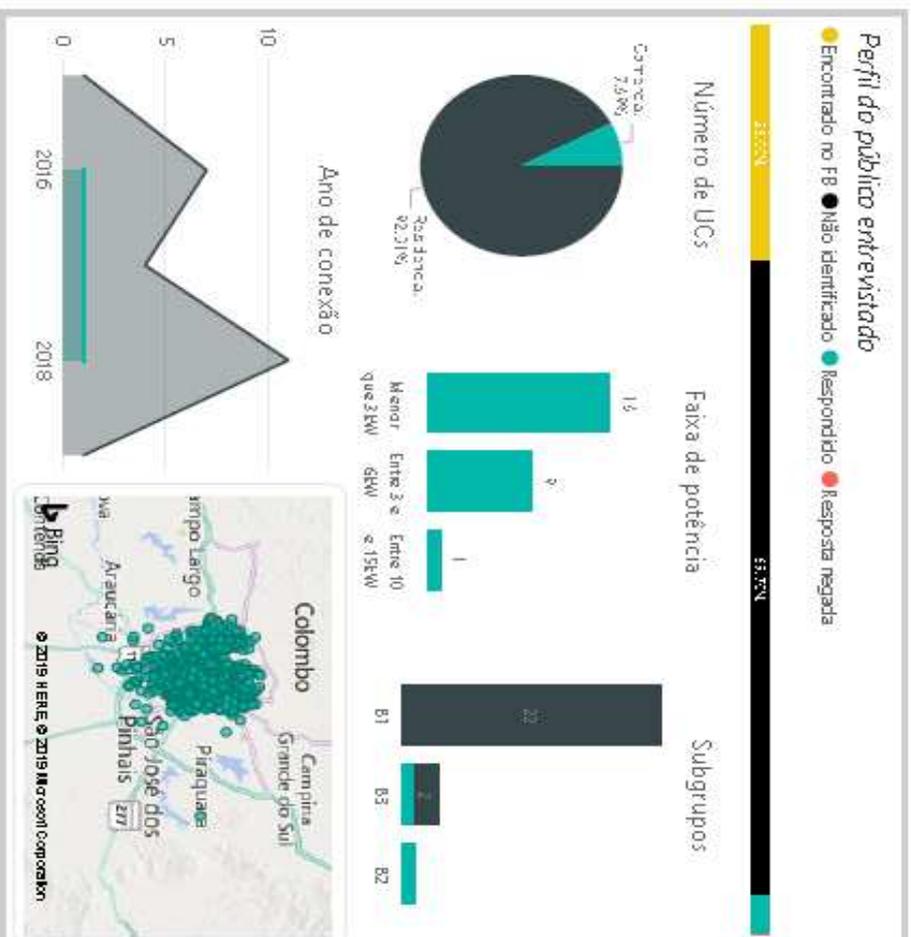


Representatividade no Estado em Número de Unidades

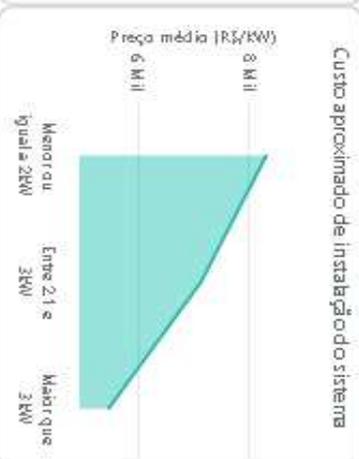
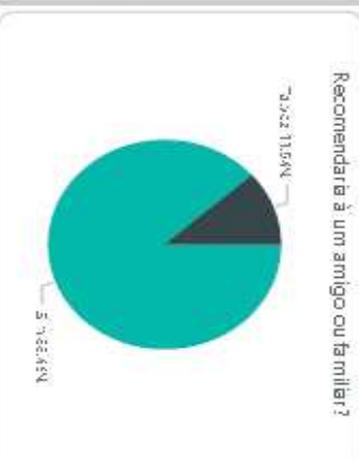
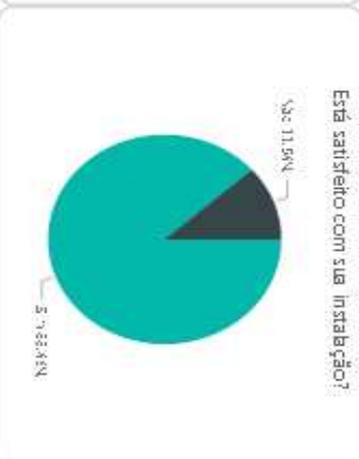
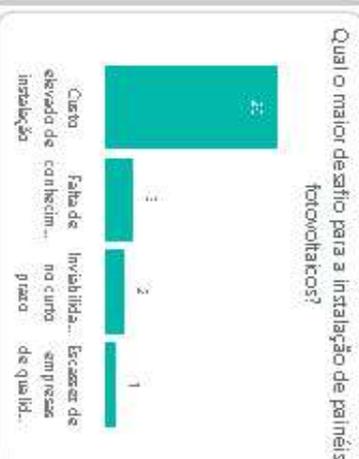
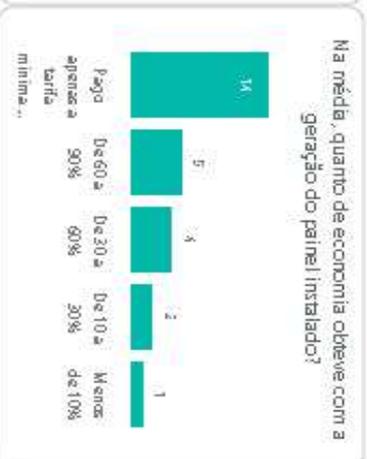
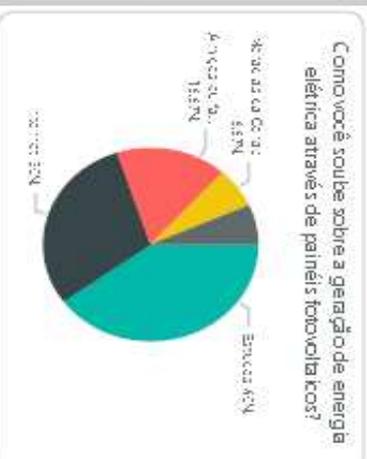


Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Curitiba
 Relatório criado pelos alunos: Caroline Ogilbo ski Eduardo e Vitor Luiz Orlandini Klein
 Trabalho de Conclusão de Curso 2
 Orientador: Professor Dr. Jair Urbanetz Junior
 Fonte: ANEEL (2019)

Pesquisa com Usuários Geradores - Out/2019



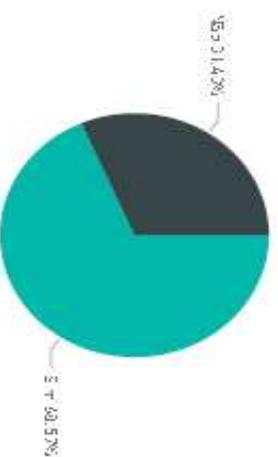
Perguntas e Respostas



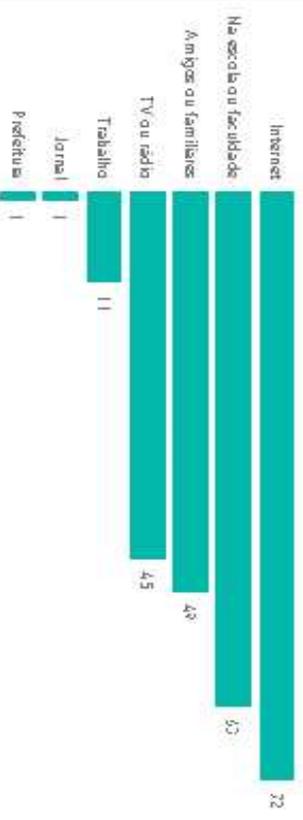
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Curitiba
 Relatório criado pelos alunos: Caroline Ogilto ski Eduardo e Vitor Luiz Orlandini Klein
 Trabalho de Conclusão de Curso 2
 Orientador: Professor Dr. Jair Urbanetz Junior
 Fonte: ANEEL (2019)

Pesquisa com público geral - Out/2019

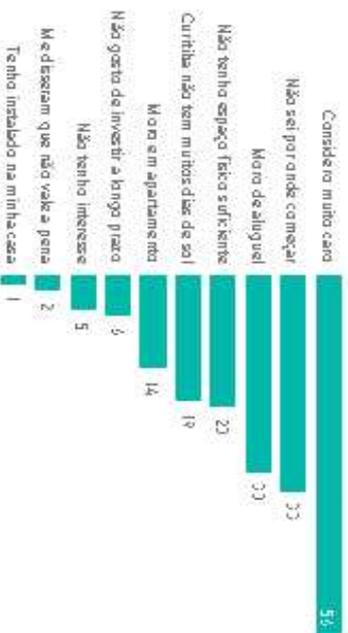
Você já ouviu falar sobre a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos?



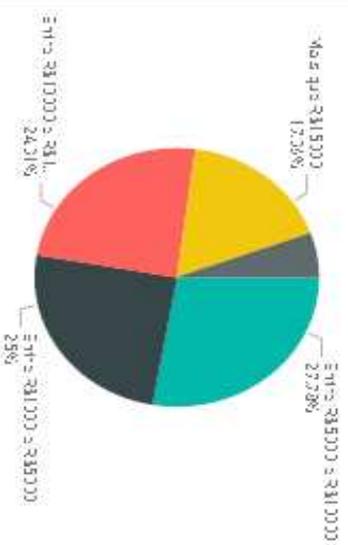
Caso sim, como você soube?



Por qual motivo você não possui um sistema instalado em sua residência, comércio e/ou indústria?



Quanto você acha que custa um sistema fotovoltaico capaz de produzir em média 300kWh/mês?



Quais dessas opções você acha que são vantagens de um sistema fotovoltaico?

