

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

LUCAS CÉSAR LOURENÇO DE MORAES  
ROBINSON STEVEN YUEN

**ESTUDO DO PLANEJAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA A  
CIDADE DE CURITIBA NO HORIZONTE 2050**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CURITIBA  
2017**

LUCAS CÉSAR LOURENÇO DE MORAES  
ROBINSON STEVEN YUEN

**ESTUDO DO PLANEJAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA A  
CIDADE DE CURITIBA NO HORIZONTE 2050**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Professor Dr. Jair Urbanetz Junior

**CURITIBA  
2017**

LUCAS CÉSAR LOURENÇO DE MORAES  
ROBINSON STEVEN YUEN

## Estudo do Planejamento de Energia Elétrica para a Cidade de Curitiba no Horizonte 2050

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, 5 de junho de 2017.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Elétrica

---

Profa. Annemarle 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 Máximo Tiepolo, Dr. Eng.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Annemarle Gehrke Castagna, Mestre  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

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

Dedicamos este trabalho às nossas famílias, pelos momentos de ausência.

## **AGRADECIMENTOS**

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de nossas vidas. Portanto, desde já pedimos desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte dos nossos pensamentos e de nossa gratidão.

Agradecemos primeiramente a Deus por ter nos dado forças, saúde e sabedoria no desenvolvimento deste trabalho.

Aos nossos familiares pela compreensão nos momentos de nossa ausência nos estudos, trabalhos, etc.

Ao nosso orientador Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior, pela vasta sabedoria com que nos guiou nesta trajetória, disponibilizando de seu tempo e paciência para a confecção deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Gerson Máximo Tiepolo e à Prof. Annemarlen Gehrke Castagna, pela ajuda fundamental para a realização deste trabalho.

Aos nossos amigos e colegas de sala que de alguma forma nos ajudaram na realização de pesquisas.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização deste trabalho.

O insucesso é apenas uma oportunidade  
para recomeçar com mais inteligência.  
(Henry Ford)

## RESUMO

MORAES, Lucas C. L., YUEN, Robinson S. **Estudo do planejamento de energia elétrica para a cidade de Curitiba no horizonte 2050**. 2017. 79f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Em virtude da matriz elétrica nacional ser predominantemente hidráulica, e com as dificuldades apresentadas de expansão destas fontes em decorrência dos impactos ambientais e sociais, se faz necessária a utilização de outras fontes energéticas para a geração de energia elétrica, principalmente àquelas provenientes de fontes renováveis de energia, em destaque a biomassa, eólica e solar fotovoltaica. Devido a este cenário, objetiva-se com este trabalho analisar os cenários de longo prazo apresentados em relatórios do Ministério de Minas e Energia que mostram a estimativa de geração de energia elétrica por tipo de fonte no Brasil. A partir destas informações, e com base nos dados de consumo de energia elétrica apresentados pelo Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social, foram feitas as projeções do consumo de energia elétrica para o estado do Paraná com foco maior para a cidade de Curitiba no horizonte de 2050. Os resultados demonstram a tendência de utilização de outras fontes de energia em especial a solar fotovoltaica, cujas pesquisas desenvolvidas demonstram o excelente potencial existente no Paraná e em Curitiba.

**Palavras-chave:** Matriz Elétrica. Solar Fotovoltaica. Paraná. Curitiba. Horizonte de 2050.

## ABSTRACT

MORAES, Lucas C. L., YUEN, Robinson S. **Study of the electrical planning for the city of Curitiba on the horizon of 2050**. 2017. 79p. Course Conclusion Project (Bachelor Degree in Electrical Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Curitiba 2017.

Due to the national electrical being mainly hydraulic, and with the difficulties presented on the expansion of these sources due to the environmental and social impacts, it turns necessary the use of other sources of electrical energy, specially the ones that come from renewable sources of energy, highlighting the biomass, Wind power and photovoltaic solar. Due to this scenario, the goal of this work is to analyze the long term scenarios shown in the reports of the Ministry of Mines and Energy that show the estimate of electrical energy generation by type of source in Brazil. From this information, and with the data of the usage of electrical energy presented by the Paranaense Institute of Social and Economic Development, the projections for the usage of electrical energy of the state of Paraná with focus on the city of Curitiba on the horizon of 2050 were made. The results show tendency of use of other sources of energy, specially in photovoltaic solar, which the developed researches show an extreme potential existing on Paraná State and in Curitiba.

**Keywords:** Electrical Matrix. Photovoltaic solar. Paraná State. Curitiba. Horizon of 2050.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - As fontes de energia e sua classificação. ....	24
Figura 2 - Componentes da pobreza e suas conexões. ....	26
Figura 3 - Influência da energia elétrica nos outros componentes. ....	27
Figura 4 - Participação das fontes energéticas na matriz elétrica global.....	32
Figura 5 - Representação do Sistema Interligado Nacional. ....	33
Figura 6 - Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil sem importação contratada. ....	36
Figura 7 - Matriz elétrica de geração de energia elétrica do Brasil em 2015.....	36
Figura 8 – Mapa do estado do Paraná .....	38
Figura 13 - Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná - Total Anual (Plano Inclinado - $H_{TOT}$ ).....	42
Figura 9 - Participação na geração de energia elétrica por tipo de fonte no Brasil ...	48
Figura 10 – Evolução da capacidade adicionada anualmente dos sistemas fotovoltaicos a nível mundial. ....	50
Figura 11 – Divisão de geração do sistema fotovoltaico a nível mundial .....	51
Figura 14 - Potencial de SFVCR a ser instalado no Paraná no horizonte 2050 (GWp) .....	59
Figura 15 – Mapa da cidade de Curitiba – PR.....	60
Figura 17 - Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná com destaque para a cidade de Curitiba - Total Anual (Plano Inclinado - $H_{TOT}$ ) .....	62
Figura 18 - Potencial de SFVCR a ser instalado em Curitiba no horizonte 2050 (GWp).....	67
Gráfico 1 - Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Paraná. ....	41
Gráfico 2 – Unidades consumidoras com geração distribuída por classe de consumo. ....	52
Gráfico 3 – Unidades geradoras com Geração Distribuída por tipo de fonte .....	52
Gráfico 4 - Projeção de demanda de energia elétrica no Paraná no horizonte 2050. ....	54
Gráfico 5 - Capacidade Instalada de SFVCR no Paraná (kWp).....	55
Gráfico 6 – Unidades geradoras de SFVCR no Estado do Paraná .....	55
Gráfico 7 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) no Paraná para o setor Residencial – GD .....	56
Gráfico 8 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) no Paraná para o setor Comercial – GD .....	56
Gráfico 9 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) no Paraná para o setor Industrial – GD .....	57

Gráfico 10 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) no Estado do Paraná para o setor Rural – GD .....	57
Gráfico 11 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) no Estado do Paraná para o Poder Público – GD .....	58
Gráfico 12 – Potência adicionada anualmente de SFVCR (kWp) no Estado do Paraná com todos os setores – GD .....	58
Gráfico 13 - Projeção de demanda de energia elétrica em Curitiba no horizonte 2050 .....	61
Gráfico 14 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) – GD – Curitiba. ....	63
Gráfico 15 – Unidades Geradoras – Geração Distribuída – Curitiba. ....	63
Gráfico 16 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) - Residencial – GD – Curitiba.....	64
Gráfico 17 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) - Comercial – GD – Curitiba. ....	65
Gráfico 18 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) - Industrial – GD – Curitiba.....	65
Gráfico 19 – Potência Instalada de SFVCR dos setores residencial, comercial e industrial (kWp) - GD – Curitiba.....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil. .....	35
Tabela 2 - Geração de Energia Elétrica nos anos de 2014 e 2015, por tipo de fonte, em GWh .....	37
Tabela 3 – Histórico do consumo total de energia elétrica no Brasil, em TWh .....	49
Tabela 4 - Consumo Total de Energia Elétrica no Paraná e no Brasil entre os anos de 2004 a 2015, em TWh .....	53
Tabela 5 - Capacidade instalada prevista de SFVCR para a cidade de Curitiba no horizonte de 2050.....	67

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

### LISTA DE SIGLAS

MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
FV	Sistema Fotovoltaico
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IEA	<i>International Energy Agency</i>
UFV	Usina de Geração Solar Fotovoltaica
SFVI	Sistema Fotovoltaico Isolado
CC	Corrente Contínua
CA	Corrente Alternada
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

### LISTA DE ACRÔNIMOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
ONU	Organização das Nações Unidas
BIG	Banco de Informações de Geração
SIN	Sistema Interligado Nacional
REN21	<i>Renewable 21</i>
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
DEA	Demanda de Energia
OPEP	Organização dos Países Exportadores de Petróleo
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
PIB	Produto Interno Bruto

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1. TEMA DE PESQUISA .....	16
1.1.1. Delimitação do Tema.....	17
1.2. PROBLEMAS E PREMISSAS .....	17
1.3. OBJETIVOS .....	18
1.3.1. Objetivo Geral.....	18
1.3.2. Objetivos Específicos .....	18
1.4. JUSTIFICATIVA.....	18
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	19
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	20
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	21
2.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	21
2.2. ENERGIA .....	22
2.2.1. Fontes Renováveis e Não-Renováveis de Energia .....	23
2.2.2. A Importância da Energia Elétrica no Desenvolvimento Econômico .....	25
2.3. A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.....	28
2.3.1. Objetivo do Planejamento Energético.....	28
2.3.2. Metodologia Científica para o Planejamento Energético .....	29
2.3.3. O Modelo de Desenvolvimento Atual.....	29
2.3.4. As Relações Energia-Economia .....	30
2.3.5. Políticas Energéticas Adotadas .....	30
2.3.6. Instrumentos Utilizados para Implementar Estas Políticas .....	30
2.3.7. Ferramentas Metodológicas-Modelos.....	31

2.3.8.	Análise Pós Planejamento Energético.....	31
2.4.	A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	31
2.4.1.	Matriz de Energia Elétrica Global .....	31
2.4.2.	Matriz de Energia Elétrica Nacional.....	32
2.4.3.	Matriz de Energia Elétrica do Paraná .....	38
2.4.3.1.	O potencial de energia hidráulica do Paraná.....	38
2.4.3.2.	O potencial de energia biomassa do Paraná.....	39
2.4.3.3.	O potencial de energia eólica do Paraná.....	39
2.4.3.4.	O potencial de energia solar no Mundo, Brasil e Paraná.....	40
2.5.	ENERGIA SOLAR PARA A GERAÇÃO DE ELETRICIDADE .....	43
2.5.1.	Energia Solar.....	43
2.5.2.	Energia Solar Fotovoltaica.....	44
2.5.2.1.	Tecnologia dos sistemas fotovoltaicos .....	44
2.5.3.	Principais Incentivos para a Energia Solar Fotovoltaica .....	45
<b>3.</b>	<b>DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO HORIZONTE 2050 .....</b>	<b>47</b>
3.1.	CENÁRIO BRASILEIRO.....	47
3.1.1	Comparativo dos Sistemas Fotovoltaicos do Brasil com o resto do Mundo ..	50
3.1.2	Comparativo dos Sistemas Fotovoltaicos no Brasil por Setor .....	51
3.2.	CENÁRIO PARA O ESTADO DO PARANÁ.....	52
3.2.1.	Projeção de Demanda de Energia Elétrica do Paraná no Horizonte 2050 ...	52
3.2.2.	Potencial de SFVCR no Estado do Paraná .....	54
3.2.3	Comparativo dos Sistemas Fotovoltaicos no Paraná por Setor.....	55
3.2.4	Projeção de SFVCR para o Estado do Paraná no Horizonte 2050 .....	59
3.3.	CENÁRIO PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA .....	60
3.3.1.	Projeção de Demanda de Energia Elétrica de Curitiba no Horizonte 2050 ..	60
3.3.2.	Potencial de SFVCR na Cidade de Curitiba .....	61
3.3.3.	Comparativo dos Sistemas Fotovoltaicos em Curitiba por Setor .....	63

3.3.4. Projeção de SFVCR para a Cidade de Curitiba no Horizonte 2050 .....	66
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>72</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. TEMA DE PESQUISA

A geração de energia elétrica no Brasil é composta na sua maior parte através de hidroelétricas, correspondendo um pouco mais de 65% de participação na geração de energia elétrica. Entretanto, a contribuição dessa fonte na matriz elétrica brasileira está com uma tendência de diminuição em consequência da maior consciência da sociedade com relação a alguns indicadores, tais como, os impactos sociais e econômicos ocasionados pelo represamento de rios e inundação de áreas para formar grandes reservatórios (TIEPOLO *et al.*, 2015). Conforme os dados apresentados em Balanço Energético Nacional (BEN) (Ministério de Minas e Energia - MME, 2011; 2012; 2013; 2014; 2015), há também uma tendência de maior participação de combustíveis fósseis e nuclear seguindo na contramão da tendência global que é de um maior aproveitamento de recursos renováveis não-hidráulicos como a biomassa, eólica e solar, conforme dados apresentados em *Renewable 21* (REN21 - 2016).

Apesar da principal fonte de geração de energia elétrica ser de origem hidráulica, o Brasil possui outras fontes alternativas de geração de energia. Pode-se afirmar que cerca de 74,6% da eletricidade no Brasil é originada de fontes renováveis, bem acima da média mundial que é de aproximadamente 21,2% (MME, 2015).

O Paraná apresentou no ano de 2015 um consumo aproximado de 30 TWh, sendo que grande parte deste consumo foi oriundo de um ambiente urbano, sendo os setores residencial e industrial com valores representativos, cada qual apresentando valores acima de 7 TWh (IPARDES, 2015).

A cidade que apresentou o maior consumo de energia elétrica no estado, no ano de 2015, foi a cidade de Curitiba, capital do Paraná, com quase 5 TWh. As outras cidades que apresentaram os maiores valores foram: Londrina, Maringá, São José do Pinhais e Ponta Grossa. Todas essas cidades apresentaram um consumo de energia elétrica entre 1,0 TWh e 1,5 TWh (IPARDES, 2015).

O número de unidades consumidoras de energia elétrica no estado do Paraná é de 4.551.902 e a maioria se encontra no setor residencial, constituído de 3.641.993 unidades consumidoras (IPARDES, 2015).

A demanda de energia elétrica na região de Curitiba tende a aumentar no horizonte de 2050, pois além de fatores sociais e econômicos, a população do estado do Paraná, especificamente da região de Curitiba tem uma tendência de crescimento para esse período (EPE, 2014) surgindo mais unidades consumidoras e, conseqüentemente,



necessitando de mais energia elétrica para abastecer esta demanda, além daquelas já existentes. Este aumento na demanda de energia elétrica não fica apenas para o setor residencial. Nos outros setores como o industrial, comercial, público e agropecuário também é observado que haverá um aumento no consumo de energia elétrica, e atender essa demanda é um grande desafio.

A tendência é utilizar a energia elétrica oriunda de fontes alternativas de energia tais como a solar, eólica e biomassa para que o poder público possa investir em estudos para conhecimento da evolução da demanda e do consumo de energia elétrica, na cidade de Curitiba, com o intuito de ter uma melhor gestão da energia elétrica para atender as necessidades da sociedade, quanto ao crescimento dos setores da economia. Isso é importante também com o comprometimento para o meio ambiente.

Por isso, há a necessidade de investimentos em fontes renováveis de energia principalmente a utilização de energia solar fotovoltaica. De acordo com Urbanetz (2010), mesmo em períodos de menor incidência solar, os valores registrados no estado do Paraná são superiores aos registrados na Alemanha, então é possível verificar um grande potencial de geração dessa fonte de energia elétrica na matriz da cidade e ainda, com uma política pública favorável à essa implantação tem-se uma solução para suprir a demanda do estado do Paraná e da cidade de Curitiba no horizonte de 2050.

### 1.1.1. Delimitação do Tema

Este trabalho visa estudar o crescimento do consumo e da demanda de energia elétrica da cidade de Curitiba no horizonte de 2050 e avaliar a contribuição da fonte solar fotovoltaica na participação da matriz elétrica da cidade como uma das opções para suprir essas necessidades energéticas.

## 1.2. PROBLEMAS E PREMISSAS

Nos últimos anos a busca por fontes de geração de energia limpa tornou-se uma alternativa cada vez mais procurada, uma vez que a exploração de fontes de origem fóssil é danoso ao meio ambiente, além de um recurso que não é renovável, e atender a demanda de energia elétrica que o País necessita para os próximos anos é importante para o planejamento energético, com a inserção de fontes renováveis na composição da matriz elétrica nacional e para o estado do Paraná, contribuindo para uma melhor gestão e suprimento dessa energia no horizonte de 2050.

O cenário energético mundial está buscando alternativas para a geração de energia elétrica com uma maior utilização de fontes renováveis e, com isso, surgiu a necessidade de uma análise mais profunda sobre o tema para o País, com o enfoque

maior para a cidade de Curitiba, o qual ainda possui campo para ser explorado e para evoluir. Sabe-se que a energia solar fotovoltaica ainda é pouco utilizada e que o Brasil é um país com potencial para a geração deste tipo de energia e um estudo do planejamento de energia elétrica para a cidade de Curitiba se faz necessário como forma de auxílio na composição da sua matriz elétrica.

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo Geral

Analisar estudos do crescimento da demanda e do consumo de energia elétrica para um melhor planejamento energético elétrico para a cidade de Curitiba no horizonte de 2050, verificando a possibilidade de inserção de outras fontes renováveis de energia, em especial a solar fotovoltaica, na composição da matriz elétrica da cidade. E, ainda, comparar o potencial solar do estado e da cidade de Curitiba para criação de um cenário favorável à uma maior utilização da energia solar fotovoltaica para a cidade de Curitiba para os próximos anos.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar a coleta de dados atuais e projeções futuras para a composição da matriz elétrica nacional e do estado do Paraná;
- Analisar os dados atuais e projeções futuras (2050) para consumo e demanda total de energia elétrica para o Brasil e para o Paraná com foco maior para a cidade de Curitiba;
- Realizar a análise de projeção do planejamento energético elétrico para a viabilidade de inserção da fonte solar fotovoltaica na matriz elétrica da cidade de Curitiba.

### 1.4. JUSTIFICATIVA

A demanda de energia elétrica é crescente ano após ano, e um país em desenvolvimento, depende de uma matriz elétrica sólida e diversificada para que possa satisfazer esse crescimento. As fontes de energia alternativa estão sendo cada vez mais estudadas, mas, no entanto, quando se fala em energia renovável, existe uma possibilidade que é a utilização da energia solar fotovoltaica. Atualmente, o Brasil possui mais de 70% da sua matriz em fontes renováveis de energia, sendo que a maior parte é oriunda de energia hidráulica (MME, 2015).

Para o estado do Paraná, esse percentual de participação de fontes renováveis de energia elétrica é ainda maior. Cerca de 96% é oriunda de fontes renováveis (ANEEL, 2016a). É um fator um tanto motivador para que se possa fazer um uso mais eficiente das fontes alternativas de energia, com foco maior para biomassa, eólica e solar fotovoltaica para se obter uma maior diversificação e complementariedade para que possa atender toda a demanda de energia nesse horizonte de 2050. A cidade de Curitiba, segundo IPARDES 2015, teve um crescimento no consumo de energia elétrica nos últimos anos e como forma de suprir esse crescimento de energia elétrica, será necessário um bom planejamento energético com outras fontes alternativas de energia (eólica, biomassa e solar), sendo possível assim uma melhor gestão no uso dessa energia elétrica.

Uma das alternativas de energia renovável mais promissoras para o ambiente urbano é o uso da energia solar fotovoltaica. O estado do Paraná tem apresentado uma pré-disposição para análise e aplicação mesmo experimental de outras fontes de energia para geração de energia elétrica como a biomassa, eólica e solar fotovoltaica, esta última mais recentemente através de SFVCR onde pesquisas já desenvolvidas até o momento demonstraram resultados satisfatórios.

## 1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As etapas para realização deste trabalho:

- Primeiramente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em trabalhos já concretizados pelos responsáveis pelo planejamento energético nacional como a EPE, IPARDES, ANEEL, MME e com o auxílio de tendência para um horizonte de 2050 do relatório de Demanda de Energia 13/15 2050, além de consulta a sites e relatórios de outros países que se preocupam com o planejamento energético das suas matrizes elétricas, como por exemplo o relatório do REN 21 e o IEA, que dizem respeito aos assuntos globais de energia.
- Foi realizado estudos de demanda e consumo de energia elétrica para o Brasil para 2050, além de estudos para o estado do Paraná e para a região de Curitiba, neste mesmo horizonte de estudo.
- Foi estudado cenários residenciais, industriais, comerciais e no setor de serviços com questão da demanda e do consumo de energia elétrica para viabilizar a inserção de outras fontes renováveis de energia para Curitiba.
- Foi estudado e verificado tendências de participação da fonte solar fotovoltaica na matriz elétrica da cidade de Curitiba.

## 1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em quatro capítulos:

- O primeiro capítulo apresenta a introdução, que consiste no tema de pesquisa, os problemas e premissas, objetivos, justificativa, procedimentos metodológicos e estrutura do trabalho.
- No segundo capítulo é apresentada a fundamentação teórica sobre os conceitos que envolvem desenvolvimento sustentável, a importância do planejamento de energia elétrica, as fontes de energia, geração de energia elétrica, matriz elétrica Global, Brasil, Paraná e consumo e de demanda de energia elétrica, além de obtenção dos dados atuais de consumo para o Brasil e para o Estado do Paraná com foco para a cidade de Curitiba para auxílio na construção de gráficos para verificação de tendências no horizonte de 2050.

Além disso, mostra a participação de fontes renováveis de energia para a composição da matriz elétrica nacional, além de verificar a viabilidade destas fontes na matriz do estado do Paraná com foco maior na energia solar fotovoltaica, como índices de radiação solar do estado e para a cidade de Curitiba.

- No terceiro capítulo são apresentadas as projeções de demanda de energia elétrica para o Brasil, Paraná e para a cidade de Curitiba no horizonte de 2050 e o futuro da mini e micro geração de energia fotovoltaica, o sistema fotovoltaico conectado à rede - (SFVCR) nos diversos setores (residencial, comercial, industrial, rural e poder público) e da inserção de renováveis para auxílio do planejamento energético de Curitiba no horizonte de 2050.
- No quarto e último capítulo são apresentadas as conclusões obtidas com os dados levantados e a comparação com o cenário atual.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Para começar a análise acerca do estudo do planejamento de energia elétrica para a cidade de Curitiba em um horizonte de 2050, foi necessário compreender os fundamentos de como é feito esse planejamento em uma escala global e a nível nacional. Foi feito um levantamento bibliográfico a respeito dos conceitos que envolvem desenvolvimento sustentável, as fontes de energia, geração de energia elétrica, matriz elétrica Global, Brasil, Paraná e, por fim, para uma análise mais detalhada de consumo e da demanda de energia elétrica para a cidade de Curitiba, com os conceitos que envolvem a geração de energia elétrica de fontes renováveis, principalmente a fonte solar fotovoltaica e suas aplicações. Esses assuntos foram tratados no decorrer deste capítulo.

### 2.1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

A partir da década de 1960 intensificou-se os debates sobre a utilização de recursos e a sua exploração. Isso ocorreu devido a uma série de fatores como por exemplo a crise do petróleo, acelerado crescimento urbano e as alterações nos padrões de consumo.

Foi na Comissão de Brundtland, conduzida pela ex-primeira ministra norueguesa Gro Haalen Brundtland, que se apresentou o termo desenvolvimento sustentável. Essa expressão possui origem nos estudos da Organização das Nações Unidas, o qual utilizou dados sobre mudança climática para amenizar a crise social e ambiental presente na década de 50 em diante. As informações compiladas pela ONU geraram um relatório chamado de “Nosso Futuro Comum” de 1987. Tal estudo analisou e obteve dados em três anos de pesquisa, o qual teve como ênfase os temas referentes ao uso da terra, recursos naturais além das questões sociais. O relatório expôs um dos conceitos mundialmente conhecido, a do desenvolvimento sustentável, que possui o objetivo de atender as necessidades atuais sem comprometer as gerações futuras em sanar as suas próprias necessidades (BARBOSA, 2008).

Segundo Silva e Lima (2010, *apud* TIEPOLO 2015), o tema desenvolvimento sustentável pode ser interpretado como uma transformação equilibrada, no qual inúmeros fatores devem ser considerados como por exemplo a parte cultural, social, ambiental e econômica. Tais mudanças ocorrem do local para o global.

Um fator de grande impacto neste desenvolvimento é o planejamento para a utilização dos recursos energéticos e a geração de energia elétrica. Neste cenário as fontes renováveis de energia tendem a ganhar maior destaque na matriz energética e

gradativamente a redução de fontes não renováveis como a de combustíveis fósseis, com isso, diminuindo as emissões de gases poluentes no meio ambiente (TIEPOLO *et al.*, 2012).

Um bom planejamento acompanhado de políticas públicas é capaz de impactar os sistemas energéticos renováveis e seus abrangentes. Aproximando uma nova realidade baseado em uma economia verde (BETINI *et al.*, 2012).

## 2.2. ENERGIA

Energia é um tema essencial envolvido nas mais diversas áreas da Ciência, amplamente utilizado na descrição e na explicação de fatos do cotidiano, cuja sua importância como objeto de estudo tornou-se inegável no mundo moderno, visto o seu papel no sistema produtivo e econômico.

A energia pode se manifestar em diferentes formas, porém são três que ganham uma maior importância sendo elas calor, trabalho e radiação. As duas primeiras possuem maiores destaques, pois são amplamente utilizadas para a produção de energia elétrica, a qual se tornou indispensável em nossa sociedade (RADOVIC, 2014).

Os estudos apresentados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas das Nações Unidas (IPCC/UM) apontam a limitação das fontes de energias utilizadas atualmente para sustentar até então o desenvolvimento atual. Outro fator crítico são os impactos ambientais gerados pela a exploração e consumo desenfreado de fontes não-renováveis. Sendo inevitável o desenvolvimento em fontes renováveis, é importante ressaltar que a melhora na educação e acessibilidade a informação poderão catalisar esse processo. Com o aperfeiçoamento tecnológico, é uma tendência natural a redução do consumo energético nos setores de produção (CARVALHO, 2014).

Equilibrar a produção de energia elétrica com a demanda é um desafio relevante para manter as taxas de desenvolvimento e crescimento em uma economia como o Brasil, o qual a demanda de energia supera a capacidade de geração (EPE, 2014).

Ao analisar a capacidade de geração de energia elétrica e o potencial de produção do Brasil, percebe-se que a oferta torna-se insuficiente para suprir a demanda desejada, por isso, é importante propor e adotar políticas capazes de incentivar o desenvolvimento sustentável do sistema (EPE, 2014).

### 2.2.1. Fontes Renováveis e Não-Renováveis de Energia

É possível citar algumas fontes de energia como por exemplo a grande quantidade de energia provida pelo Sol, porém seu aproveitamento ainda é baixo. Outros integrantes são os ventos, rios e correntes marítimas. Os recursos citados são fundamentais para sustentar toda a cadeia alimentar (GOLDEMBERG *et al.*, 2007).

Segundo Goldemberg *et al.*, (2007), no decorrer das eras, nosso planeta sofreu inúmeras transformações sendo uma delas a origem das fontes fósseis de energia. Isso ocorreu devido ao acúmulo de matéria orgânica no subsolo terrestre. Os recursos dessa fonte são o petróleo, carvão mineral, gás natural, xisto betuminoso e outros.

De forma semelhante, alguns elementos químicos que sempre estiveram disponíveis na crosta terrestre são capazes de gerar energia através da fissão de seus núcleos: é o caso do urânio. Entretanto, as fontes de energia fóssil e nuclear são consideradas não-renováveis, visto que necessitam de um período geológico longo para se recompor. Já as fontes renováveis de energia necessitam de um tempo inferior para sua reposição. É o caso dos potenciais hidráulicos, eólicos, energia das marés e das ondas, radiação solar e geotermal (GOLDEMBERG *et al.*, 2007).

A biomassa, segundo Goldemberg *et al.*, 2007, é considerada uma fonte renovável de energia composta por várias subcategorias, desde as mais tradicionais como a lenha e os resíduos animais e vegetais, e algumas mais modernas como o etanol para automóveis, biodiesel, bagaço de cana para cogeração de energia, e gás de aterros sanitários utilizados para a geração de eletricidade.

É possível classificar algumas técnicas de conversão de energias renováveis, divididas em tradicionais e modernas. As tradicionais é o caso do fogão movido a lenha, já as modernas possuem subcategorias sendo elas “convencionais” e “novas”. As “convencionais” são tecnologias dominadas e comercialmente disseminadas há um bom período de tempo, como por exemplo as usinas hidrelétricas de grande e médio porte. As “novas” são aquelas que possuem potencial ou já competem comercialmente com as fontes tradicionais podendo ser ou não renováveis, um exemplo é o dos painéis solares fotovoltaicos (GOLDEMBERG *et al.*, 2007). A Figura 1 mostra esta classificação das fontes de energia.

Fontes		Energia primária	Energia secundária	
Não-renováveis	Fósseis	carvão mineral	termoeletricidade, calor, combustível para transporte	
		petróleo e derivados		
		gás natural		
	Nuclear	materiais físséis	termoeletricidade, calor	
Renováveis	"Tradicionais"	biomassa primitiva: lenha de desmatamento	calor	
	"Convencionais"	potenciais hidráulicos de médio e grande porte	hidreletricidade	
		potenciais hidráulicos de pequeno porte		
	"Novas"	biomassa "moderna": lenha replantada, culturas energéticas (cana-de-açúcar, óleos vegetais)	biocombustíveis (etanol, biodiesel), termoeletricidade, calor	
		outros	energia solar	calor, eletricidade fotovoltaica
			geotermal	calor e eletricidade
			eólica	eletricidade
maremotriz e das ondas				

Figura 1 - As fontes de energia e sua classificação.

Fonte: Goldemberg *et al.*, 2007.

Na matriz energética mundial a fonte de combustíveis fósseis é a predominante com uma parcela de 78,3% do consumo final, as renováveis aparecem com 19,2% (incluindo todas as fontes) e a fonte nuclear com 2,5%. Nas fontes renováveis 10,3% são de origem das fontes renováveis "modernas" que é composta por biomassa, hidroelétricas, eólica, solar e outras, o seu uso é para o aquecimento e geração de eletricidade. Já os outros 8,9% são referentes a Biomassa "Tradicional" o qual é composta predominantemente por lenha queimada de forma primitiva (REN21,2014).

Nos países desenvolvidos vivem aproximadamente 1 bilhão de pessoas, onde cada cidadão desses países consome quase 5 vezes mais que um habitante em um país em desenvolvimento (per capita), sendo 83% de sua energia proveniente de combustíveis fósseis. A manutenção deste cenário é insustentável, acarretando em um



impacto direto nas reservas disponíveis e no meio ambiente. Algumas características dessas condições são a poluição do ar e as mudanças climáticas, além das políticas externas e conflitos regionais, contrariando o conceito de desenvolvimento sustentável (GOLDEMBERG *et al.*, 2007).

Segundo Gupta (2010), as partículas finas (produzidas a partir da combustão de combustíveis fósseis), o ozônio ao nível do solo (uma forma molecular do oxigênio) e outros gases poluentes como monóxido e dióxido de carbono são substâncias responsáveis pela poluição do ar. Essas substâncias podem ser naturais ou sintéticas e a população as ingerem em maior ou menor quantidade dependendo do local, os seus efeitos possuem grande impacto na saúde humana sendo estudo há mais de 30 anos. As doenças ocasionadas são asma, deficiência pulmonar e alergias.

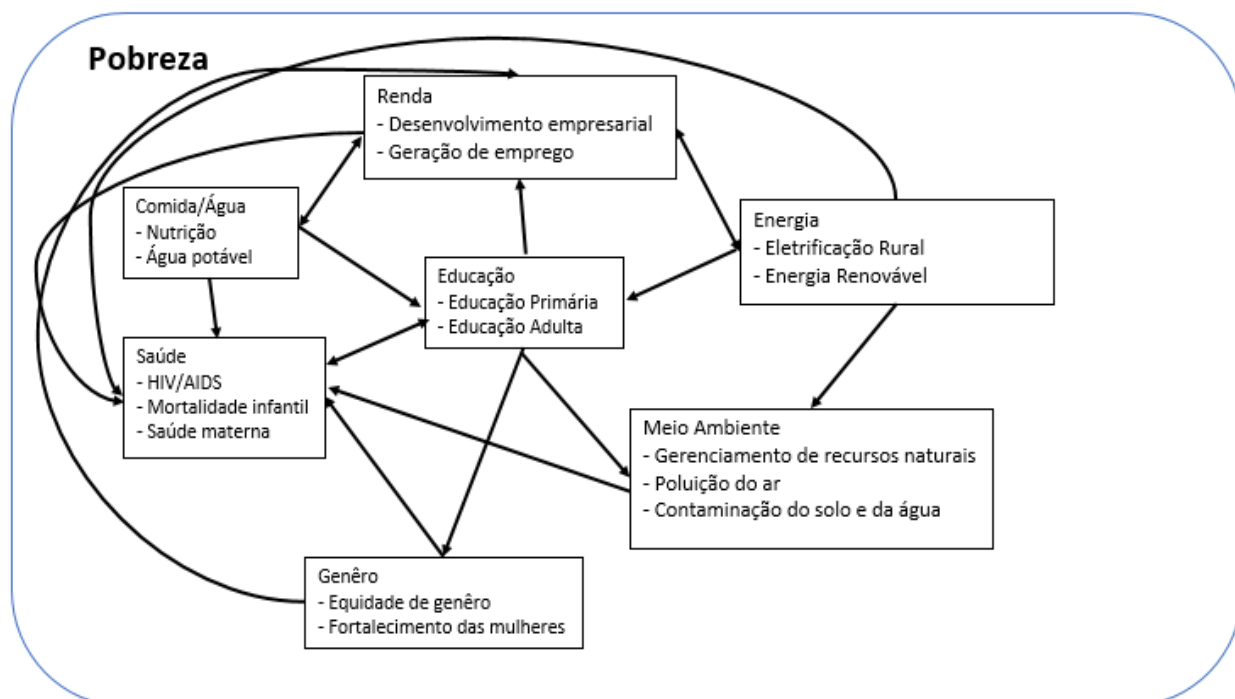
A combustão dos combustíveis fósseis é responsável por 98% do dióxido de carbono mundial (CO<sub>2</sub>) sendo os principais responsáveis a China, Estados Unidos, Rússia e Índia. Ao optar por fontes de energia renováveis (nuclear, eólica, geotérmica e energia solar) ou o seu uso eficiente de energia fóssil ocasionaria uma drástica redução de CO<sub>2</sub> e outros gases prejudiciais (GUPTA, 2010).

### 2.2.2. A Importância da Energia Elétrica no Desenvolvimento Econômico

A energia elétrica é um fator de grande peso na forma de organização da vida das nações e dos indivíduos. É um recurso de valorização constante e um bem essencial para a sociedade, porém poucos possuem consciência do seu real papel principalmente dos impactos causados quando mal administrada (GOMES, 2009).

Segundo Sória (2010), o setor industrial é extremamente dependente do uso da energia elétrica, sendo considerada uma matéria prima para a realização das atividades nas fábricas. A sua origem é o resultado de um processo de transformação de fontes primárias de energia, portanto ela é considerada uma fonte secundária de energia.

Segundo Kanagawa e Nakata (2007), a energia está relacionada diretamente com a pobreza e desenvolvimento. Como é o caso de populações que não possuíam acesso a eletricidade, após o acesso as mulheres puderam se dedicar a oportunidades de trabalho ou estudo, pois não necessitavam exercer trabalhos como cortar lenha ou cozinha de modo precário, promovendo a igualdade de gênero. Na Figura 2, observa-se o impacto que a energia possui sobre outros setores como a educação, meio ambiente e renda.



**Figura 2 - Componentes da pobreza e suas conexões.**

**Fonte: Kanagawa, M., Nakata, T., 2007. Traduzido pelos autores.**

Energia Elétrica	Renda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desenvolvimento empresarial por meio da eletrificação gera emprego;</li> <li>• Mecanização na indústria consegue maior produtividade.</li> <li>• Sistemas de energia de pequena escala em áreas rurais geram indústrias locais.</li> </ul>
	Educação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A iluminação permite estudar à noite;</li> <li>• A eletricidade permite aproveitar as Tecnologias de informação e comunicação.</li> </ul>
	Saúde	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O acesso à eletricidade permite a vacinação e ao armazenamento de medicamentos por meio da refrigeração.</li> </ul>
	Meio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O uso de aplicações elétricas eficientes economiza o consumo de energia;</li> <li>• A aplicação de energias renováveis promove a proteção do meio ambiente.</li> </ul>

**Figura 3 - Influência da energia elétrica nos outros componentes.**

**Fonte: Manrique, 2015.**

A Figura 2 e Figura 3 representam fatores impactantes da energia elétrica. Ao analisar o Produto Interno Bruto (PIB) de um determinado local antes do recurso da energia e após a utilização do mesmo pode-se notar uma melhora considerável. Esse é um caso como o Brasil, visto que o país possui dimensões continentais. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) afirma que a região norte do país representa 45,27% da área total do Brasil, sendo esta a maior região dentre as cinco presentes. Já a região Nordeste ocupa 18,26% da extensão territorial. Com territórios superiores que muitos países europeus essas regiões demonstraram um alto crescimento do Produto Interno Bruto após o acesso à energia elétrica. No ano de 2001, o acesso a esse recurso era de 88,6% e 89,4% nas regiões Norte e Nordeste respectivamente, sendo o seu PIB de 57.026 bilhões reais e 157.302 bilhões de reais. Em 2011, a cobertura elétrica alcançou 96,2% na região Norte e 98,8% na região Nordeste, já o PIB passou a ser de 223.538 bilhões de reais e 555.325 bilhões de reais respectivamente (MANRIQUE, 2015).

### 2.3. A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

O avanço da tecnologia e a mudança de perfil dos consumidores são um dos fatores que trazem a incerteza para qualquer cenário futuro. As decisões precisam ser tomadas com antecipação de modo que atenda às necessidades quando solicitadas (MME, 2016).

As decisões feitas nos setores dependentes do sistema energético afetam diretamente o seu desempenho e outros usuários. Portanto, os setores produtivos e estratégicos necessitam analisar e planejar profundamente quando se trata de mudanças referentes à energia.

As mudanças e decisões tomadas no setor energético demandam tempo e são geralmente de longo prazo. Portanto, é necessário que os métodos de viabilidade e cálculo econômico seja feito com muita precisão e cautela, pois qualquer erro pode ser fatal para o sistema e seus dependentes (BAJAY, 1989).

Segundo Bajay (1989), o sistema energético necessita de uma boa manutenção, pois é um fator primordial para o seu bom funcionamento. E, para manter uma boa performance são necessários grandes investimentos na geração de energia, como a inserção de uma parcela maior das fontes renováveis de energia elétrica (eólica, biomassa e solar fotovoltaica). Estes investimentos devem priorizar outros fatores como o social e não utilizar como único critério a otimização setorial.

É previamente conhecido que as necessidades e possibilidades de cada país são únicos. Portanto, é natural que os critérios e indicadores se tornem particulares de acordo com a realidade presente de cada lugar.

A partir destas características é necessário um planejamento energético e mesmo governos e órgãos internacionais que não são adeptos a um planejamento reconhecem a importância de um (COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPEIAS, 1986, p.31).

#### 2.3.1. Objetivo do Planejamento Energético

Segundo Bajay (1989), o planejamento energético tem por objetivo, para um dado sistema energético, otimizar o suprimento da demanda prevista e proporcionar uma utilização inteligente das várias opções de formas energéticas, dentro das políticas econômica, social e ambiental vigentes, além de trabalhar em harmonia com a realidade e outros sistemas energéticos presentes.

Um detalhe importante para o planejamento é o espaço geográfico do sistema, esse pode ser definido como uma cidade, um conjunto de cidades, um estado, um

conjunto de estados, uma região, uma nação ou até mesmo uma comunidade que engloba várias nações. É importante destacar que quanto maior a autonomia política e econômica do local analisado, melhores são as chances de sucesso na implantação de um dado planejamento energético.

O planejamento energético pode ser dividido em duas grandes partes: a primeira parte responsável pela viabilização, estudos, medidas a serem tomadas e as metas a serem cumpridas. Já a segunda é a parte de implementação e execução deste planejamento, portanto é um processo contínuo de longo prazo, visto que em muitos casos é necessário realizar correções e analisar novamente os dados após a implementação em períodos de curto, médio e longo prazo (BAJAY, 1989).

### 2.3.2. Metodologia Científica para o Planejamento Energético

Para que o planejamento energético seja eficaz e utilizado para tomar decisões importantes é necessária uma metodologia de base científica. Além de contribuições para as partes interessadas, processos transparentes e utilização de hipóteses baseadas em dados.

Dentro do contexto apresentado, propõe-se a seguir uma metodologia científica de abordagem do processo de planejamento energético. As etapas de planejamento envolvidas nestas abordagens são (BAJAY, 1989):

- I. Modelo de desenvolvimento atual;
- II. As relações energia-economia;
- III. Políticas energéticas adotadas;
- IV. Instrumentos utilizados para implementar estas políticas;
- V. Ferramentas metodológicas-modelos;
- VI. Análise dos resultados obtidos.

### 2.3.3. O Modelo de Desenvolvimento Atual

Segundo Tolmasquim (2012) o setor energético ocupa uma posição de destaque e é função do país garantir a capacidade de gerar e entregar esta energia para os setores de produção.

Ao analisar a geração e consumo de energia compara-se com a capacidade do sistema produtivo da economia vigente. Visto que somente o setor energético é insuficiente de promover um nível de atividade econômica desejada. Porém, ao analisar um conjunto de fatores o suprimento energético possui grande destaque e depende de investimentos consideráveis (BAJAY, 1989).

Por possuir tamanha importância para um país é necessário definir e identificar os pontos positivos e negativos do atual modelo de desenvolvimento vigente. Para posteriormente facilitar e auxiliar nas tomadas de decisão do planejamento energético. (BAJAY, 1989).

#### 2.3.4. As Relações Energia-Economia

A relação energia-economia é primordial para o sucesso de um planejamento energético, os fatores que podem influenciar são (EPE, 2016):

- (a) O impacto do consumidor final como usuário e agente do mercado de energia;
- (b) Introdução de novas tecnologias nos setores industriais, transporte e residencial;
- (c) Novos padrões de consumo da população;
- (d) A transformação do modelo de transporte de cargas;
- (e) As políticas de incentivos adotadas e seus impactos na sociedade e
- (f) A competitividade energética e a relação de expansão com setor de produção.

#### 2.3.5. Políticas Energéticas Adotadas

As políticas energéticas desempenham um fator importante em qualquer planejamento, a participação das diretrizes políticas é fundamental quando se trata do setor energético. Podendo ser um excelente catalisador na inserção de novas alternativas de fontes ou na consolidação das já existentes (BAJAY, 1989).

Ao se adotar certas políticas é necessário analisar e avaliar os seus impactos em todas as esferas como por exemplo a econômica, social e tecnológica. As políticas energéticas devem promover o uso sustentável dos recursos e se necessário adaptar-se com as alterações dos cenários ao decorrer do planejamento. (BAJAY, 1989).

#### 2.3.6. Instrumentos Utilizados para Implementar Estas Políticas

A implementação das políticas adotadas exerce um papel fundamental quando se trata de planejamento energético. Os instrumentos que podem ser utilizados para executar essas políticas são (BAJAY, 1989):

- a) A partir da legislação;
- b) Atuação através de instituições e organizações pertencentes ao governo;
- c) Regulação de consumo de energéticos e preços;
- d) Divulgação através de campanhas nos meios de comunicação;
- e) Incentivo a projetos de pesquisa, desenvolvimento e demonstração;
- f) Subsídios para financiamentos e concessões fiscais.

### 2.3.7. Ferramentas Metodológicas-Modelos

Ao realizar um planejamento energético são necessários utilizar ferramentas capazes de auxiliar e exemplificar as situações analisadas. Por se tratar de cenários complexos os modelos computacionais são excelentes opções de ferramentas a serem utilizadas (BAJAY, 1989).

Existem inúmeros modelos de planejamento energético e cada país opta por a utilização mais adequada para suas necessidades. As metodologias utilizadas podem abordar temas como as projeções passadas, avaliação do impacto no cenário macroeconômica e mudanças no perfil do consumidor (EPE, 2015).

As técnicas aplicadas nos modelos vigente são das mais variadas, podendo utilizar modelos contábeis, simulações, programação matemática e até mesmo modelos híbridos (BAJAY, 1989).

Da escolha do modelo até sua aplicação de forma correta torna-se uma ferramenta extremamente poderosa para auxiliar no planejamento energético. Minimiza-se impactos e melhora as tomadas decisões dos planejadores, fornecendo possibilidades de melhorias posteriormente (BAJAY, 1989).

### 2.3.8. Análise Pós Planejamento Energético

O planejamento energético é um processo contínuo de análise de resultados para garantir o sucesso almejado. É importante acompanhar estes resultados após a implementação para aperfeiçoar o modelo utilizado (BAJAY, 1989).

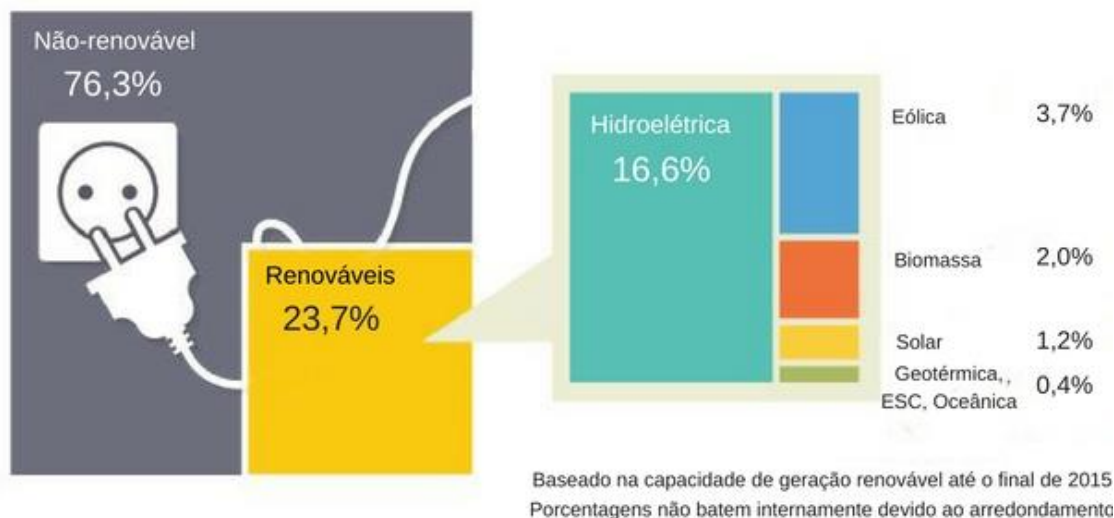
Após realizado o planejamento é aconselhável a implementação de um sistema de controle para a boa execução do projeto. Esse mecanismo auxilia no cumprimento das metas, o ajuste das metas, prever possíveis problemas em certas aplicações, além de reconhecer informações que proporcionam melhorias no sistema (BAJAY, 1989).

## 2.4. A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

### 2.4.1. Matriz de Energia Elétrica Global

Uma grande porcentagem da energia elétrica mundial gerada é proveniente de combustíveis fósseis e fissão nuclear (não-renováveis) correspondendo aproximadamente 76,3%, e apenas 23,7% são provenientes de renováveis, divididas das seguintes formas: 16,6% oriundas de hidroelétricas, 3,7% de eólicas, 2,0% de biomassa, 1,2% de solar fotovoltaica, e os restantes 0,4% através de geotérmicas, concentradores solar e oceânica (REN21, 2016).

A Figura 4 ilustra a porcentagem de participação na geração de energia elétrica global por tipo de fonte energética em 2015.



**Figura 4 - Participação das fontes energéticas na matriz elétrica global.**  
**Fonte: Adaptado de REN21 (2016).**

Uma quantidade razoável destes 76,3% de não-renováveis utilizados na geração de energia elétrica ainda são provenientes da queima de combustíveis fósseis como petróleo, carvão e gás através das termoelétricas. Esta queima de combustíveis fósseis favorece o aumento da poluição do ar, além de acelerar o efeito estufa, sob o efeito da emissão de gases como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) liberado em grandes quantidades através dos processos de combustão dos recursos fósseis, o que contribui com os problemas ambientais como o aquecimento global (ANEEL, 2008).

A partir dos Relatórios do REN21 dos anos de 2010 a 2016 (REN 21, 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; 2015 e 2016), houve uma diminuição na participação de fontes não-renováveis de energia como os combustíveis fósseis, e, por conseguinte, um aumento da participação das fontes renováveis de energia na composição da matriz elétrica global. Os dados apresentados nesses relatórios mostram uma diminuição de 5,7 pontos percentuais de fontes não-renováveis entre os anos analisados e, um aumento de 5,9 pontos percentuais através das fontes renováveis, o que demonstra uma tendência do aumento do uso deste tipo de fonte na matriz elétrica global.

#### 2.4.2. Matriz de Energia Elétrica Nacional

No Brasil, a geração de energia elétrica é feita em sua maior parte por fontes renováveis de energia, principalmente em sua grande maioria por fonte hidráulica, complementada também por fontes não-renováveis, através de combustíveis fósseis e nucleares, e ainda com uma pequena parcela das fontes renováveis não-hidro, tais como: biomassa, eólica e solar.





A capacidade instalada total de geração de energia elétrica do Brasil aumentou mais de 7% comparando os valores de janeiro de 2016 com os de janeiro de 2017, atingindo uma marca de 151.890 MW ante uma marca de 141.684 MW apresentado no início de 2016. Vale destacar o crescimento de fontes renováveis não-hidro, como a eólica e a solar que tiveram um aumento considerável neste período analisado, com crescimento de 31,1% e de 290,5%, respectivamente (MME, 2017). Ressalta-se ainda que, nos dados referentes a 2016, os montantes de geração distribuída não foram considerados, enquanto que para os dados de 2017, as informações de geração distribuída foram acrescentadas.

De acordo com ANEEL (2017), o número total de usinas fotovoltaicas (UFV) analisadas em janeiro de 2017 correspondeu a 7.707 empreendimentos, onde 44 foram de sistemas fotovoltaicos homologados antes da regulamentação 482/2012 da ANEEL e 7.663 de sistemas com geração distribuída (GD), homologados após a resolução. Isso correspondeu a 83 MW de capacidade instalada até janeiro de 2017. Este valor de 83 MW na matriz de capacidade instalada não está em conformidade com a Superintendência de Concessões e Autorizações de Geração (SCG/ANEEL) e que, por isso, não foi apresentado no Banco de Informação de Geração (BIG/ANEEL) (MME, 2017).

Segundo dados da ANEEL (2017), atualizados em maio de 2017, o número total de usinas de geração distribuída (GD) no Brasil passou de 12.000 empreendimentos, o que correspondeu a aproximadamente 124 MW de capacidade instalada. Deste valor, apenas 84,98 MW são referentes à energia solar (UFV), o que corresponde a aproximadamente 70% do total de GD no Brasil.

O percentual de participação das fontes energéticas na capacidade instalada total é mostrado no Gráfico 2 e a matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil de janeiro de 2017 comparada com o mesmo mês do ano anterior é apresentada na Tabela 1.

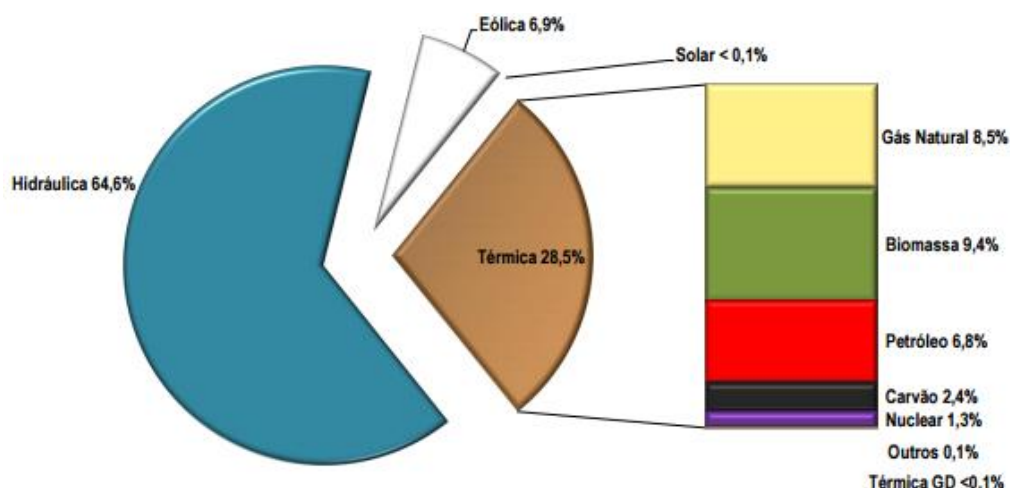
Tabela 1 - Matriz de capacidade instalada\*\*\* de geração de energia elétrica do Brasil.

Fonte	Jan/2016	Jan/2017			Evolução da Capacidade Instalada Jan/2017 - Jan/2016
	Capacidade Instalada (MW)	Nº Usinas	Capacidade Instalada (MW)	% Capacidade Instalada	
<b>Hidráulica</b>	<b>92.100</b>	<b>1.279</b>	<b>98.061</b>	<b>64,6%</b>	<b>6,5%</b>
UHE	86.822	220	92.605	61,0%	6,7%
PCH + CGH	5.278	1.050	5.452	3,6%	3,3%
CGH GD	-	9	4	<0,1%	-
<b>Térmica</b>	<b>41.595</b>	<b>3.025</b>	<b>43.301</b>	<b>28,5%</b>	<b>4,1%</b>
Gás Natural	12.439	159	13.005	8,5%	4,6%
Biomassa	13.277	538	14.237	9,4%	7,2%
Petróleo	10.124	2.237	10.295	6,8%	1,7%
Carvão	3.612	23	3.613	2,4%	0,0%
Nuclear	1.990	2	1.990	1,3%	0,0%
Outros	153	30	150	0,1%	-1,8%
Térmica GD	-	36	11	<0,1%	-
<b>Eólica</b>	<b>7.968</b>	<b>459</b>	<b>10.444</b>	<b>6,9%</b>	<b>31,1%</b>
Eólica	7.968	414	10.444	6,9%	31,1%
Eólica GD	-	45	0,166	<0,1%	-
<b>Solar</b>	<b>21</b>	<b>7.707</b>	<b>83</b>	<b>&lt;0,1%</b>	<b>290,5%</b>
Solar - Fotovoltaica	21	44	24	<0,1%	11,4%
Solar GD	-	7.663	60	<0,1%	-
<b>Capacidade Total - Brasil</b>	<b>141.684</b>	<b>12.470</b>	<b>151.890</b>	<b>100,0%</b>	<b>7,2%</b>

Fonte: MME (2017).

\*A partir de julho de 2015, na matriz de capacidade instalada são incluídas as usinas fiscalizadas pela SFG/ANEEL, mas que não estão em conformidade com a SCG/ANEEL e que, por isso, não são apresentadas no BIG/ANEEL. Algumas delas são térmicas com combustíveis desconhecidos e que por isso, são incluídas como "Outros". \*\* Inclui outras fontes fósseis (147 MW). \*\*\* Os valores de capacidade instalada referem-se à capacidade instalada fiscalizada apresentada pela ANEEL no Banco de Informações de Geração - BIG, adicionados aos montantes das usinas fiscalizadas pela SFG/ANEEL e das informações publicadas pela Agência sobre geração distribuída (mini e micro geração), conforme disponível em: [www.aneel.gov.br/scg/gd](http://www.aneel.gov.br/scg/gd). Além dos montantes apresentados, existe uma importação contratada de 5.650 MW com o Paraguai e de 200 MW com a Venezuela. Fonte dos dados: ANEEL e MME (Dados BIG e GD do site da ANEEL – 01/02/2017).

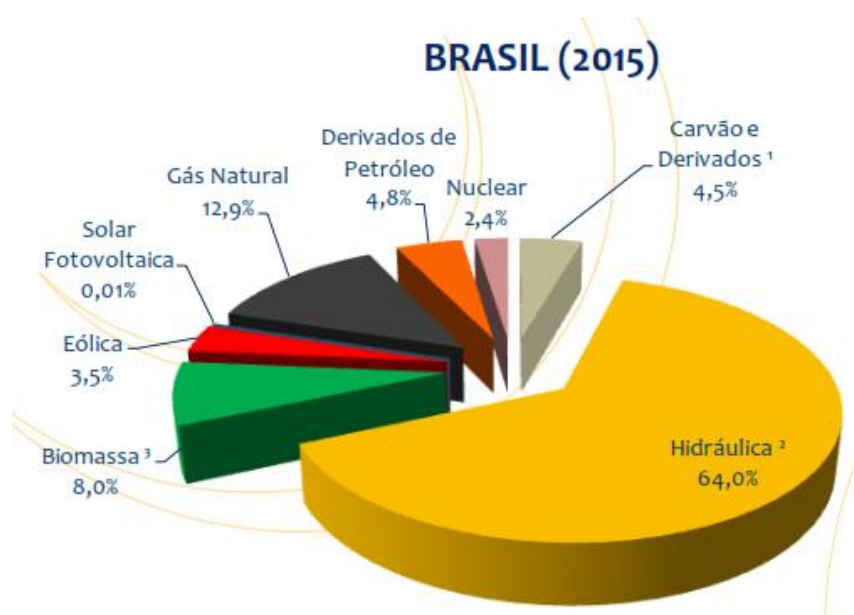
Um ponto relevante a ser analisado na Figura 6 é a porcentagem de participação das térmicas movidas a combustíveis fósseis (gás, carvão e petróleo), que corresponde a aproximadamente a 17,7% da matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil, enquanto que a soma das renováveis não hidráulicas somam juntas em torno de 16%, ou seja, quase a mesma participação das não renováveis (MME, 2017). Entretanto, ao considerar-se apenas a capacidade instalada de energia eólica e solar, ainda representa um valor abaixo, correspondendo quase 7% de participação da matriz elétrica nacional apesar do grande potencial existente no Brasil, principalmente da fonte solar.



**Figura 6 - Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Brasil sem importação contratada.**

Fonte: MME (2017)

No ano de 2015, houve uma redução na oferta de energia hidráulica devido ao fator climático com a falta de chuvas. Essa redução correspondeu uma taxa de 3,2% em relação ao ano anterior. Com essa queda da oferta hídrica, houve um aumento da participação de renováveis não-hidro na matriz elétrica de 74,6% para 75,5%, explicado também pela diminuição da geração térmica à base de derivados de petróleo devido à queda da economia brasileira, e ao incremento da geração a base de biomassa e eólica (MME, 2016b). A Figura 7 mostra a matriz elétrica em relação à geração de energia elétrica do Brasil do ano de 2015.



**Figura 7 - Matriz elétrica de geração de energia elétrica do Brasil em 2015.**

Fonte: MME (2016b).

Entretanto, ao se analisar a participação dos combustíveis fósseis e nuclear, houve um aumento considerável da participação na matriz nos últimos anos, apesar de uma pequena queda percentual em relação ao ano de 2014.

O uso da energia proveniente de combustíveis fósseis (térmicas a gás e óleo diesel) garante um fornecimento sólido de energia elétrica ao sistema, porém, isso agrava o meio ambiente com a emissão de gases nocivos ao efeito estufa, seguindo um caminho contrário ao modelo adotado pelos outros países que preconizam uma participação cada vez maior de renováveis (com foco nas fontes eólica, biomassa e solar) alinhado ao conceito de desenvolvimento sustentável (TIEPOLO, 2015).

A Tabela 2 mostra o panorama da geração de energia elétrica por tipo de fonte na matriz elétrica brasileira nos anos de 2014 e 2015.

**Tabela 2 - Geração de Energia Elétrica nos anos de 2014 e 2015, por tipo de fonte, em GWh**

Fonte	2015	2014
Hidrelétrica	359.743	373.439
Gás Natural	79.490	81.073
Biomassa <sup>2</sup>	47.394	44.987
Derivados do Petróleo <sup>3</sup>	25.662	31.529
Nuclear	14.734	15.378
Carvão Vapor	19.096	18.385
Eólica	21.625	12.210
Solar Fotovoltaica	59	16
Outras <sup>4</sup>	13.682	13.524
<b>Geração Total</b>	<b>581.486</b>	<b>590.542</b>

<sup>1</sup> Inclui geração distribuída

<sup>2</sup> Inclui lenha, bagaço de cana e lixo

<sup>3</sup> Inclui óleo diesel e óleo combustível

<sup>4</sup> Inclui outras fontes primárias, gás de coqueria e outras secundárias

**Fonte: MME (2016b).**

### 2.4.3. Matriz de Energia Elétrica do Paraná

O estado do Paraná está situado na região sul do Brasil, com uma população de 10.444.526 habitantes, e com área de aproximadamente 200.000 km<sup>2</sup> distribuída em 399 municípios, conforme mostrado na Figura 8.



**Figura 8 – Mapa do estado do Paraná**  
Fonte: Wikipédia, 2017

No ano de 2015, o estado apresentou um consumo de energia elétrica de aproximadamente 28,86 TWh (IPARDES, 2015). De acordo com os dados do relatório do BEN (2016) com base no ano de 2015, o estado do Paraná possuía uma capacidade instalada de geração de energia elétrica de 17,25 GW. Essa capacidade instalada no estado engloba as seguintes fontes: Hídrica – 91,88%, Eólica – 0,07%, Térmica – 7,25%, Nuclear - 0% e desprezando-se os valores de energia solar, por apresentar valores muito ínfimos.

#### 2.4.3.1. O potencial de energia hidráulica do Paraná

O Paraná possui um grande potencial hidráulico, correspondendo aproximadamente a 24,12 GW. Os recursos hídricos do estado já foram muito explorados ao longo dos anos. Estima-se que quase 70% do potencial hidráulico já foi utilizado. Esse potencial hidráulico poderia suprir uma demanda de energia de aproximadamente 112

TWh/ano, considerando um fator de capacidade de 53% para usinas hidrelétricas. Entretanto, a exploração desta fonte de energia em sua capacidade máxima é impraticável por diversos fatores sociais e econômicos, por implicar com problemas de deslocamentos populacionais ou na destruição da fauna e da flora que estão ameaçados de extinção, chegando-se à conclusão de que não há mais espaço para a ampliação desta fonte energética (TIEPOLO *et al.*, 2014c).

#### 2.4.3.2. O potencial de energia biomassa do Paraná

O conceito de biomassa refere-se à matéria orgânica de origem animal ou vegetal que pode ser utilizada na produção de energia. Da mesma maneira que a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar, pois resulta da conversão da energia solar em energia química por meio da fotossíntese, base dos processos biológicos dos seres vivos. Uma das principais vantagens da biomassa é o seu aproveitamento direto por meio da combustão da matéria orgânica em fornos ou caldeiras (MME, 2016).

Existem diversas formas de geração de energia elétrica a partir da biomassa. No Brasil, a geração de energia elétrica a partir da biomassa residual tem sido bastante pesquisada. Segundo Bley *et al.*, (2009, *apud* TIEPOLO *et al.*, 2014c), a biomassa residual é composta de restos de vegetais impróprios para o consumo ou plantio de grãos que são biodegradados como matéria orgânica. A partir deste estudo da biomassa residual, foi estimado um potencial de produção de energia elétrica de 12 TWh/ano a partir do biogás gerado.

Segundo Souza *et al.*, (2002), o potencial técnico de produção de eletricidade estimado apenas com biomassa residual no estado do Paraná no ano de 2000 foi de 108,6 milhões de GJ, equivalente a 30,16 TWh/ano, o que seria capaz de suprir toda a demanda de energia elétrica do estado no ano de 2015, que correspondeu a 28,86 TWh. Vale ressaltar ainda que neste estudo foram utilizados apenas produtos vegetais (milho, soja, trigo, arroz, algodão, feijão, amendoim, cana-de-açúcar e mandioca).

#### 2.4.3.3. O potencial de energia eólica do Paraná

O Potencial Eólico brasileiro estimado no estudo do Atlas Eólico Brasileiro pelo CRESEB em 2001 levou em consideração alguns fatores de análise, como a velocidade média anual do vento igual ou superior a 6 m/s, a utilização das curvas médias de desempenho de turbinas eólicas instaladas em torres de 50 metros de altura e um fator de disponibilidade de 0,98, considerado típico para usinas eólicas comerciais. A partir destes dados, estimou-se um potencial disponível da ordem de 143 GW para o

Brasil. Deste total, a região nordeste é a que possui o maior potencial, representando aproximadamente a metade (75,05 GW) do potencial eólico total estimado no Brasil (CRESESB, 2001).

Segundo COPEL (2007), potencial eólico do Paraná, levando-se em consideração as mesmas características levantadas no estudo do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, apresentou uma capacidade instalada estimada de 17,5 GW e a estimativa de geração eólica anual no estado foi de 850 GWh. Quando o estudo foi aplicado para turbinas instaladas a 75 metros de altura, a capacidade instalada estimada foi de 1,36 GW, correspondendo a uma produção de energia elétrica anual estimada aproximadamente de 3,76 TWh, enquanto que para turbinas instaladas a 100 metros de altura, a capacidade instalada estimada foi de 3,37 GW e produção de energia elétrica estimada anual de 9,39 TWh.

#### 2.4.3.4. O potencial de energia solar no Mundo, Brasil e Paraná

Muitos países europeus têm investido cada vez mais em energia proveniente do sol, com a inserção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR), a fim de reduzir a utilização de combustíveis fósseis em suas matrizes elétricas. Com isso, reduziria a emissão dos gases nocivos ao meio ambiente, além de otimizar o uso dos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sendo permitida que toda a energia gerada a partir dos SFVCR ou apenas o seu excedente seja enviado ao sistema elétrico de distribuição.

Segundo o REN21 (2016), a capacidade instalada total global até 2015 foi de aproximadamente 227 GWp, sendo o país com maior capacidade instalada a China com 44 GWp, seguida da Alemanha com 39,7 GWp.

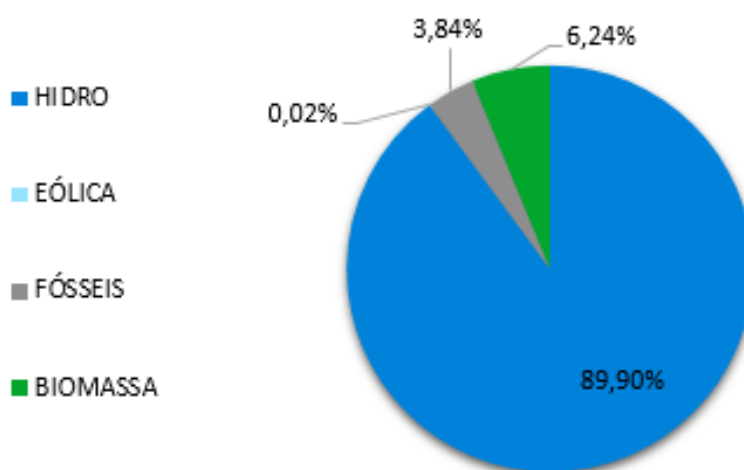
A partir de 17 de abril de 2012, foi editada no Brasil a Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, que regulamenta e permite que o consumidor brasileiro possa gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade utilizando o modelo de compensação (*net metering*) limitados em até 1 MW (ANEEL, 2012).

Esta normativa foi revisada em 2015 pela ANEEL com a Resolução 687/2015 que passou a vigorar em março de 2016. As principais mudanças foram definidas nos limites da micro e minigeração distribuída, com até 75 kW para microgeração e para a minigeração entre 75 kW a 5MW (3 MW para hídrica). Além disso, foram alterados o prazo da utilização dos créditos de energia de 36 para 60 meses.



Com esta nova medida da ANEEL, o total acumulado em SFVCR implantado no Brasil em 2012 passou dos 8 MW de potência instalados (MME, 2013a). Esse número é muito superior aos 161,32 kW referentes aos instalados até o final de 2009 no Brasil, cujo valor é considerado ínfimo quando comparado com os países europeus, que apresentavam até 2008 cerca de 4,5 GWp de potência instalados (BENEDITO E ZILLES, 2010).

O Gráfico 1 ilustra a matriz elétrica no estado do Paraná com relação à sua capacidade instalada, de acordo com o tipo de fonte. A porcentagem da participação das fontes de energia solar e eólica na matriz elétrica paranaense aparecem de forma incipiente e correspondem a 0,00012% e 0,02%, respectivamente (ANEEL, 2016a).



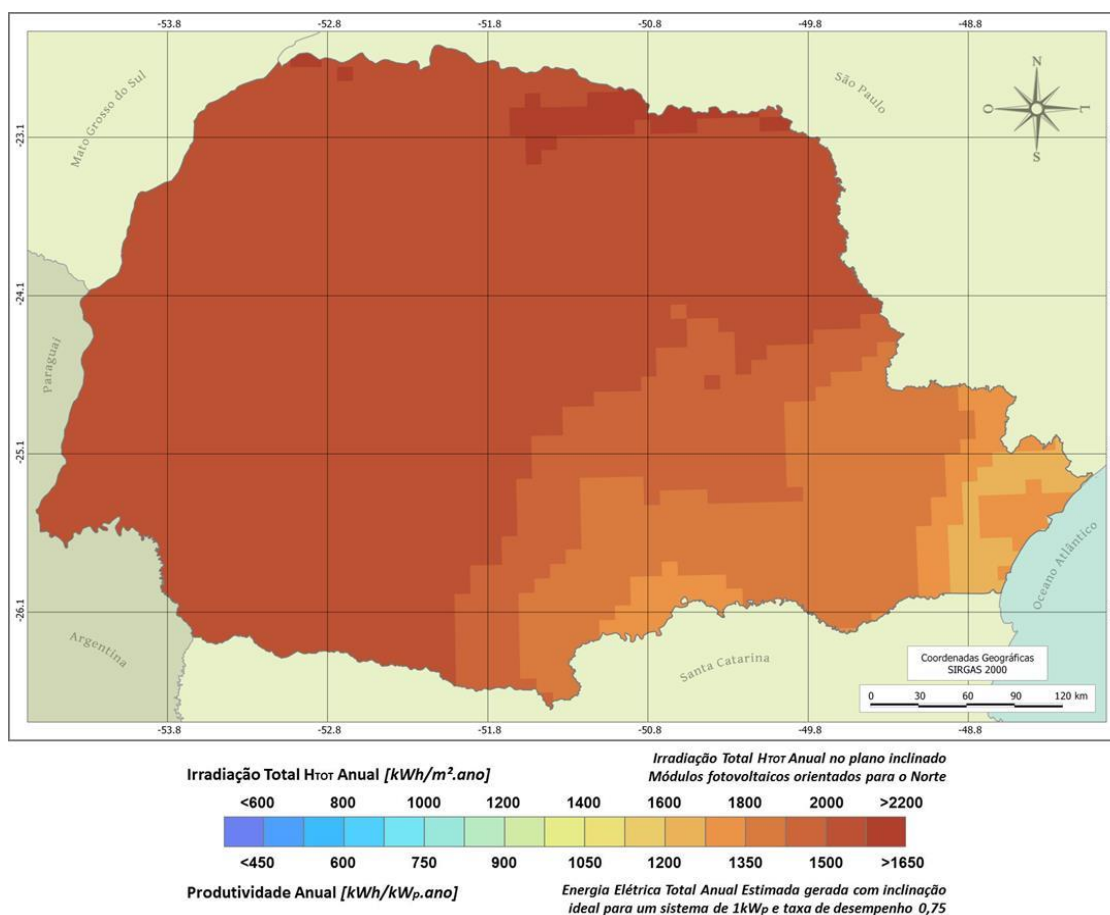
**Gráfico 1** - Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica do Paraná.

**Fonte: Adaptado de ANEEL (2016b)**

A principal fonte geradora no estado do Paraná, a exemplo do Brasil, é através das hidroelétricas que correspondem a aproximadamente 90% de toda a capacidade instalada no estado. Isso dificulta novas expansões desta fonte na matriz elétrica do estado, pois já foi explorado cerca de 70% do território para este tipo de fonte, necessitando o estado utilizar outras fontes, principalmente de renováveis não hidro cuja participação atual ainda é muito baixa, com um total de 6,26% (quase que totalmente através de termoelétricas movidas a biomassa) (ANEEL, 2016a).

Isso torna-se necessário estudos detalhados sobre o potencial de outras fontes para geração de energia elétrica no estado, como a solar através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFVCR), principalmente quando se observa que esta fonte permite a geração de energia elétrica de forma distribuída e próxima ao ponto de consumo, de forma limpa e renovável.

Além disso, existem estudos que comprovam que o estado do Paraná possui valores elevados de irradiação e produtividade, conforme demonstrado na Figura 13. Isso mostra o grande potencial e a viabilidade da utilização da fonte solar fotovoltaica na geração de energia elétrica no Paraná para suprir a demanda de energia elétrica no horizonte de 2050 (MORAES *et al.*, 2016).



**Figura 9 - Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná - Total Anual (Plano Inclinado -  $H_{TOT}$ ).**

**Fonte: Tiepolo *et al.*, 2016.**

De acordo com Tiepolo (2015), o estado do Paraná possui valores de irradiação total ( $H_{TOT}$ ) anual no plano inclinado média de 1.986 kWh/m<sup>2</sup> e valores de produtividade total anual média no plano inclinado de 1.490 kWh/kWp para uma taxa de desempenho (TD) de 75%.

Esses índices de irradiação e de produtividade apresentados acima confirmam o excelente potencial do Paraná em relação à Europa, com valores aproximadamente 59% superiores aos apresentados na Alemanha, país com a maior capacidade instalada de SFVCR até o ano de 2014, e com uma média próxima à de Portugal e superior à de outros 29 países europeus pesquisados (TIEPOLO, 2016).

Isso exemplifica claramente a necessidade de investir em energia solar no estado do Paraná como forma de complementar a sua matriz elétrica e ainda viabilizar um melhor planejamento de energia elétrica para os próximos anos, a fim de suprir a demanda de energia que o estado terá no horizonte de 2050.

## 2.5. ENERGIA SOLAR PARA A GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

### 2.5.1. Energia Solar

A energia proveniente do Sol é extremamente importante para o ecossistema e a vida humana, é de longa data que o homem utiliza esse recurso para suprir suas necessidades. Um exemplo é o aquecimento, iluminação e alimentação. Porém, nas últimas décadas houve um novo destino para esse recurso, o uso do Sol como fonte direta para a produção de eletricidade. Duas novas tecnologia surgiram para diversificar a geração de energia: a fotovoltaica, que consiste na conversão direta da luz em eletricidade e a heliotérmica que é uma forma de geração termelétrica, visto que um fluido é aquecido a partir da energia solar para produzir vapor (TOLMASQUIM, 2016).

De acordo com TOLMASQUIM (2016),

As duas tecnologias combinadas representam uma parcela pequena da matriz energética global, mas merecem destaque especial pelas suas perspectivas positivas. A rápida expansão da capacidade instalada nos últimos anos, atrelada à forte redução de custos; o imenso potencial técnico de aproveitamento; e o fato de não emitirem poluentes durante sua operação, fez com que o mundo voltasse sua atenção para a energia solar como alternativa de suprimento elétrico. De fato, várias entidades (GREENPEACE INTERNATIONAL; GWEC; SOLARPOWER EUROPE, 2015; IEA, 2014a, 2014b; SHELL,2013) têm apontado em seus estudos de longo prazo parcela significativa da geração elétrica total proveniente de geração fotovoltaica e heliotérmica.

A fotovoltaica é a tecnologia que vem conquistando uma parcela maior do mercado nos últimos anos, sendo responsável por 98% da capacidade instalada entre as duas fontes (REN21, 2015).

Segundo Tolmasquim (2016), o surgimento dessa tecnologia pode ser apresentado em 4 estágios. O primeiro estágio ocorreu na necessidade de aplicações espaciais, o qual era necessário encontrar uma fonte de energia para satélites e assim introduziram as células fotovoltaicas, mas foi na década de 1970, devido a crise do petróleo, a fotovoltaica começou a se tornar viável economicamente em locais isolados utilizando um conjunto de baterias ocorrendo assim o segundo estágio. Na década de 1990 com a introdução de novos conceitos como o desenvolvimento sustentável, alguns países adotaram políticas de incentivos a geração fotovoltaica conectada à rede, dentre esses incentivos pode-se citar o pagamento de tarifas-prêmio. Com novas perspectivas

no horizonte a tecnologia fotovoltaica sofreu uma drástica redução de custo, viabilizando ao longo da década atual o terceiro estágio de desenvolvimento. No atual estágio em andamento um grande fator está ocorrendo a paridade tarifária na geração distribuída e especialistas afirmam que até 2020 deve ser atingido na maior parte do mundo. O quarto estágio de desenvolvimento começa a se materializar, concomitantemente com o terceiro, com a energia fotovoltaica tornando-se cada vez mais competitiva com fontes convencionais de energia na geração centralizada. Supõem-se que esse estágio se concretize nos meados de 2025.

De acordo com Tolmasquim (2016), a tecnologia utilizada para a geração fotovoltaica se mostra consolidada, está em operação por mais de 35 anos para atendimento elétrico. Porém, a falta de conhecimento tecnológico em energias renováveis, por parte de todos os agentes do processo de geração e consumo prejudica uma maior abertura. O desafio de entender e mensurar os riscos desses ativos faz com que os investidores, por exemplo, tenham dificuldades em financiar projetos de geração fotovoltaica, em especial de geração distribuída. Portanto, a disseminação do conhecimento em energias renováveis é um importante fator para que esses parceiros invistam nessas tecnologias.

### 2.5.2. Energia Solar Fotovoltaica

As fontes não renováveis possuem uma grande parcela de participação na matriz elétrica mundial, porém ao utilizar essas fontes surgem consequências severas como é o caso do efeito estufa e o aquecimento global. Inúmeras ações surgem ao longo dos anos para tornar a matriz elétrica mais limpa e sustentável. Dentre as fontes renováveis, a solar fotovoltaica é considerada uma das mais promitentes (TIEPOLO, 2015).

Em um período de 40 anos a energia solar deve se estabelecer no panorama energético mundial segundo especialistas. Podendo ser indispensável a instalação de painéis fotovoltaicos em edifícios governamentais novos, como já ocorre em alguns países como parte da política pública (GLENN *et al.*, 2011).

O conceito de energia solar fotovoltaica consiste basicamente na conversão direta da luz do sol em eletricidade, com a utilização do efeito fotovoltaico, no qual usa-se célula fotovoltaica (equipamento construído com material semicondutor) que é a unidade elementar deste sistema (TIEPOLO, 2015).

#### 2.5.2.1. Tecnologia dos sistemas fotovoltaicos

Os dispositivos fotovoltaicos convertem a luz solar diretamente em eletricidade e não devem ser confundidos com outras tecnologias solares, como energia solar

concentrada (CSP) ou solar térmica para aquecimento e resfriamento. Os principais componentes de um sistema de energia fotovoltaica são vários tipos de células fotovoltaicas (muitas vezes chamadas de células solares) e encapsulados para formar um módulo fotovoltaico, a estrutura de montagem do módulo ou da matriz, o inversor de frequência (essencial para sistemas conectados à rede e necessário para a maioria dos sistemas off-grid), a bateria de armazenamento e o controlador de carga (estes essenciais para sistemas fora da rede ou sistemas isolados) (IEA, 2015).

Existem dois tipos de conexão para sistemas fotovoltaicos: o sistema fotovoltaico isolado (SFVI) e o sistema conectado à rede (SFVCR).

Os sistemas fotovoltaicos isolados utilizam baterias de armazenamento necessárias para fornecer a energia elétrica durante períodos de pouca luz. Um controlador de carga (ou regulador) é usado para manter a bateria no estado de carga mais elevado possível e fornecer ao utilizador com a quantidade necessária de eletricidade, protegendo a bateria de descarga profunda ou sobrecarga (IEA, 2015)

Já os sistemas fotovoltaicos conectados à rede utilizam um inversor de conversão de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA), que é então fornecida à eletricidade. Um inversor pode ser usado para todo o módulo ou podem ser utilizados inversores para cada "cadeia" de módulos. Os módulos fotovoltaicos com inversores integrados, normalmente designados por "módulos CA", podem ser diretamente ligados à rede elétrica (quando aprovado pela Operadores de rede) e desempenham um papel de compensação em determinados mercados (IEA, 2015).

### 2.5.3. Principais Incentivos para a Energia Solar Fotovoltaica

As políticas e programas de incentivos às fontes de energia renovável vem ganhando destaques especialmente, a energia solar fotovoltaica, elas possuem o objetivo de elevar o grau de competitividade e reduzir gradativamente os investimentos ao longo de um período de tempo. O Estado possui algumas opções para alavancar essas fontes como por exemplo: às iniciativas voluntárias que possuem o objetivo de educar e informar, a criação e implantação de normas ambientais ou impostos energéticos e o suporte direto a essas fontes. Outro sistema interessante é o sistema de preços e cotas, sendo que o primeiro estabelece um mecanismo de incentivo após a implantação do sistema fotovoltaico, essa opção favorece o consumidor residencial, pois reduz o tempo de retorno do investimento inicial. O sistema de cotas define um patamar de representatividade da fonte de energia renovável escolhida a ser atingida, após isso cria-se subsídios para atingir a meta estabelecida, permitindo o mercado determinar o preço. Afetando desde os produtores, distribuidores e consumidores (SALAMONI, 2009).

No país, o aproveitamento do sol para geração elétrica esteve historicamente ligado à geração fotovoltaica. O seu início foi nas áreas rurais, o qual criou-se programas para a eletrificação a partir do uso dessa tecnologia. Em 2010 em diante que ela começou a ganhar proporções nacionais com a regulamentação de geração distribuída conectada à rede e a realização de leilões específicos (TOLMASQUIM, 2016).

A EPE (2012), em seu relatório de análise da inserção da geração fotovoltaica no Brasil, apresentou quais seriam as principais formas de incentivo para o consumidor residencial investir na geração fotovoltaica distribuída, seriam elas: a criação de tarifa-prêmio (sistema *Feed-in*), cotas, subsídio ao investimento inicial, dedução no imposto de renda, incentivo a aquisição de eletricidade verde (através de isenções ou abatimentos de impostos federais e estaduais), obrigatoriedade de aquisição de fotovoltaica no portfólio de renováveis, fundos de investimentos para fotovoltaica, ações voluntárias de bancos comerciais, ações voluntárias de distribuidoras, padrões em edificações sustentáveis (CAMPOS, 2015).

### 3. DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA NO HORIZONTE 2050

Até 2050, o planeta passará por diversas mudanças e neste horizonte a realidade será bastante distinta da qual se conhece atualmente, em todos os campos, seja ele social, econômico, energético e ambiental, entre outros. Quando comparado com o passado, constata-se o quanto a humanidade evoluiu do ponto de vista tecnológico, para seguramente concluir que muitas transformações ocorrerão (EPE, 2016).

Nesse contexto, estimar o futuro do planejamento energético é um desafio muito árduo, mas absolutamente imperativo e essencial a ser realizado, uma vez que, pelas características intrínsecas do setor energético, as decisões precisam ser tomadas com bastante antecipação e clareza, de modo que as condições adequadas estejam presentes para incentivar que determinadas opções estejam disponíveis para a sociedade no momento em que for necessário. Incluem-se aí, por exemplo, diversas áreas como “a formação de recursos humanos, a viabilização comercial de tecnologias, a transformação de ambiente regulatório e mesmo as transformações de hábitos de consumo, embora esses últimos apresentem especial dificuldade a mudanças de padrões de consumo”. Nesta última situação, contudo, há margem de indução através das políticas adequadas adotadas (EPE, 2016).

Portanto, este estudo se propõe a apresentar uma visão de longo prazo para a demanda de energia elétrica brasileira e paranaense com foco especial para a cidade de Curitiba no longo prazo que é o tema de pesquisa.

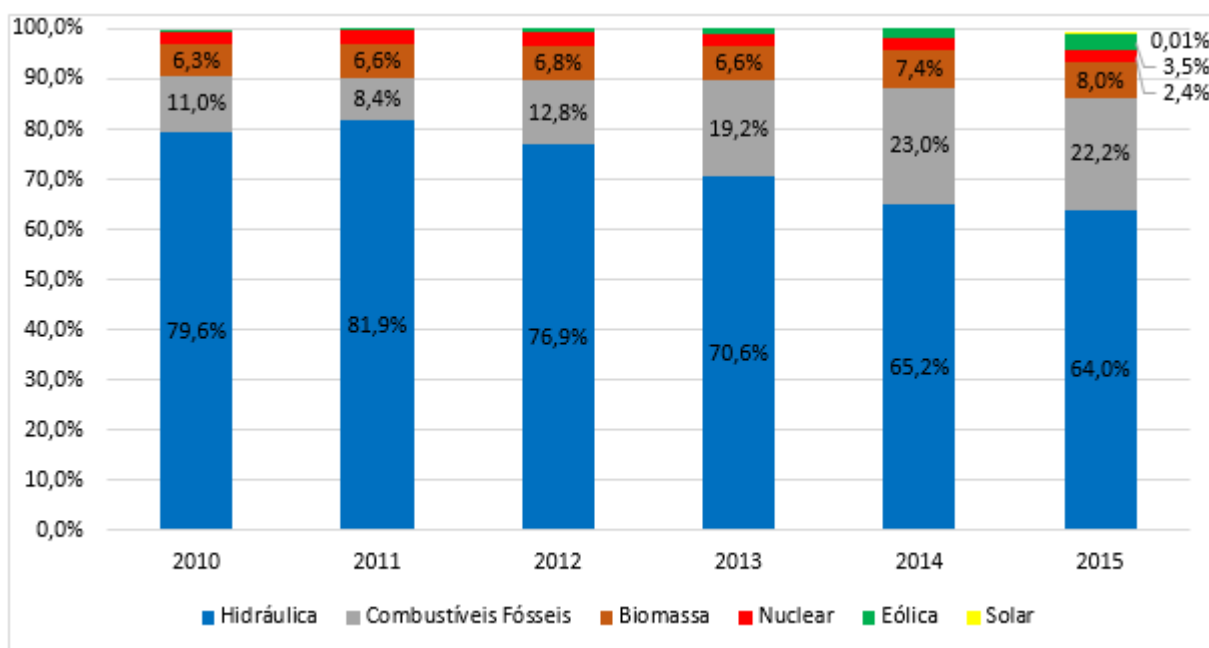
#### 3.1. CENÁRIO BRASILEIRO

Atualmente, as hidroelétricas contribuem com a maior parte da geração de energia elétrica no país. No entanto, essa contribuição na matriz elétrica nacional tende a diminuir ao decorrer dos anos devido aos impactos ambientais e sociais, ocasionados em função da formação dos seus reservatórios (TIEPOLO *et al.*, 2016).

Observa-se ainda neste cenário da matriz elétrica nacional, o aumento da participação das fontes fósseis através das termelétricas, o que contrapõe com as medidas mencionadas na Conferência do Clima (COP21) realizada em dezembro de 2015 em Paris na França e reforçada na última Conferência do Clima (COP22) realizada no final do ano de 2016 em Marrakesh, no Marrocos, que tem como um dos objetivos o de diminuir a emissão de gases de efeito estufa para a diminuição do aquecimento global e agravantes ao meio ambiente. Segundo o governo brasileiro a meta é reduzir cerca de 37% as emissões de gases do efeito estufa até 2025, na comparação com os níveis registrados em 2005 (PORTAL BRASIL, 2016).

Com este cenário, é preciso de investimentos em estudos para conhecimento da evolução da demanda de energia elétrica no Brasil e para o estado do Paraná com ênfase para a cidade de Curitiba, em um horizonte de longo prazo como o de 2050, com o objetivo de fornecer informações relevantes para uma melhor gestão da energia no estado com o menor impacto possível ao seu meio ambiente. Com isso, há a preocupação de investir em outras fontes de energia além das hidroelétricas como fontes renováveis de energia, em destaque a solar fotovoltaica, aliado a uma política pública favorável à essa implantação visto que o Brasil e o Paraná possuem cenários muito favoráveis para a disseminação deste tipo de fonte nas suas matrizes elétricas (MORAES *et al.*, 2016).

Conforme a Figura 9 abaixo, observa-se que apesar de a sua maior geração ter acontecido no ano de 2011, comparado com os anos analisados, correspondendo mais de 80% de participação na geração de energia elétrica no Brasil, após esse ano houve uma diminuição na sua participação na matriz elétrica nacional, fato que pode ser explicado principalmente pelo baixo índice de chuvas que aconteceu nos últimos anos, e também pelo aumento da demanda de energia elétrica no período que foi suprida por outras fontes, principalmente as térmicas que utilizam combustíveis fósseis em sua geração.



**Figura 10 - Participação na geração de energia elétrica por tipo de fonte no Brasil**

**Fonte: MORAES *et al.*, 2016**

Segundo dados do relatório do BEN (2016), o Brasil apresentou no ano de 2015 um consumo de energia elétrica de 581,5 TWh, e como pode ser observado pela sua



série histórica, conforme a Tabela 3, a demanda de energia elétrica no país tende a aumentar nas próximas décadas, visto que o país está em desenvolvimento, onde apresentará ao longo dos próximos anos um aumento no número de unidades consumidoras como indústrias e residências, por causa do aumento da população, e áreas de comércio e serviços, conseqüentemente necessitando de mais energia para abastecê-las.

**Tabela 3 – Histórico do consumo total de energia elétrica no Brasil, em TWh**

<b>ANOS</b>	<b>Consumo Total de Energia Elétrica no Brasil em TWh</b>
<b>1970</b>	39,7
<b>1980</b>	122,7
<b>1990</b>	217,7
<b>2000</b>	331,6
<b>2010</b>	464,7
<b>2015</b>	581,5

**Fonte: MME (2016b) e EPE (2014)**

Segundo dados da EPE (2014), o Brasil apresentará em 2050 uma demanda de energia elétrica correspondente a 1.624 TWh, muito superior aos 581,5 TWh apresentados em 2015 (MME, 2016a).

Portanto, realizar uma projeção de longo prazo é sempre um desafio ainda mais se tratando de uma estimativa de demanda de energia. Os cenários são os mais diversos possíveis. Essas incertezas se justificam devido a competitividade de energéticos, avanços tecnológicos, mudança de consumo e evolução da infraestrutura (EPE, 2016).

Ao analisar alguns estudos de demanda de energia no longo prazo é possível identificar alguns fatores que influenciam esta estimativa como: o impacto do papel do consumidor final como gerador da sua própria energia e o uso eficiente da mesma, sendo este modo a geração distribuída podendo contribuir para uma redução significativa no crescimento da demanda de energia elétrica em um longo período (EPE, 2016).

A evolução da mobilidade nas cidades brasileiras é outro ponto impactante na demanda energética. A mudança do padrão de crescimento das grandes cidades e cidades de médio e pequeno porte com o foco na melhoria do transporte coletivo, com as políticas e planejamentos urbanos adequados é possível realizar um profundo impacto no consumo de energia e na qualidade de vida da população (EPE, 2016).

São inúmeros fatores atrelados ao lado econômico e social que devem ser levados em consideração. Os desafios são imensos e se planejar é uma medida fundamental para as tomadas de decisões, conforme o avanço dos fatores citados anteriormente podem impactar no planejamento (EPE, 2016).

### 3.1.1 Comparativo dos Sistemas Fotovoltaicos do Brasil com o resto do Mundo

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, sigla em inglês para *International Energy Agency*), o crescimento dos países cadastrados de 2014 para 2015 foi mais de 40 GW de capacidade adicionada quando se trata de Sistemas Fotovoltaicos. A Figura 10 representa o crescimento dos SFVCR dos principais países membros.



**Figura 11 – Evolução da capacidade adicionada anualmente dos sistemas fotovoltaicos a nível mundial.**

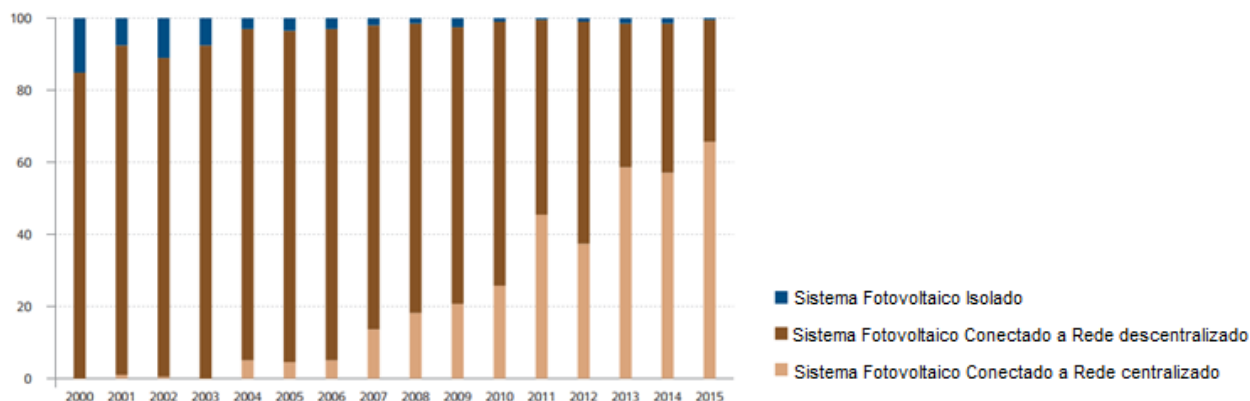
**Fonte: IEA (2016)**

Os mercados mais emergentes são China, Japão e Estados Unidos com uma ampla participação na expansão dos sistemas fotovoltaicos na sua maioria de geração distribuída. Vale ressaltar que a Alemanha se encontra em um cenário de consolidação quando se trata de sistemas fotovoltaicos e não de franca expansão (IEA, 2016).

Ao se tratar de América Latina, o Chile recebe destaque e instalou 446 MW no ano de 2015, o relatório cita que a parte norte do país sul-americano possui um grande potencial devido as áreas desérticas. A Agência Internacional de Energia destaca o Brasil como um país que está fomentando novos projetos para o longo prazo (IEA, 2016).

A Figura 11 apresenta as tendências mundiais e é importante ressaltar um considerável crescimento dos sistemas fotovoltaicos concentrados e conectados à rede. Esse desenvolvimento se deu a um maior investimento e políticas favoráveis para a

instalação de parques solares para uma produção em maior quantidade nos países membros da IEA (IEA, 2016).



**Figura 12 – Divisão de geração do sistema fotovoltaico a nível mundial.**  
Fonte: IEA (2016)

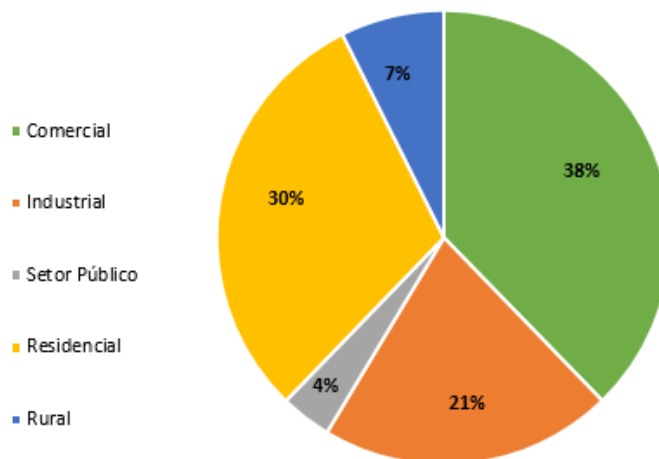
O Brasil por possuir a maior rede conectada da América Latina ainda apresenta resultados inferiores de SFVCR aos seus vizinhos. Segundo dados do IEA, o governo brasileiro se comprometeu a atingir 3,5 GWp em sistemas fotovoltaicos até 2023, sendo leiloados 3 GWp para construção após 2018. O potencial do Brasil se desenvolverá em grande velocidade sendo projetado para 2024 uma capacidade instalada de 4,5 GWp (IEA, 2016).

Para comprovar esse forte crescimento no Brasil, em 2014 foi realizado o primeiro leilão no qual foi contratado a energia proveniente de plantas fotovoltaicas centralizadas com a entrada prevista em 2017 de 891 MWp nas regiões do Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste (EPE, 2015).

Esse forte crescimento nos próximos anos se deve à entrada de grandes usinas no SIN e a Resolução Normativa nº 482/2012 (que foi atualizada em novembro/2015 pela normativa 687/2015 da Aneel) que estabelece as condições gerais para o acesso de micro e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de eletricidade, em conjunto com o sistema de compensação de energia (EPE, 2015).

### 3.1.2 Comparativo dos Sistemas Fotovoltaicos no Brasil por Setor

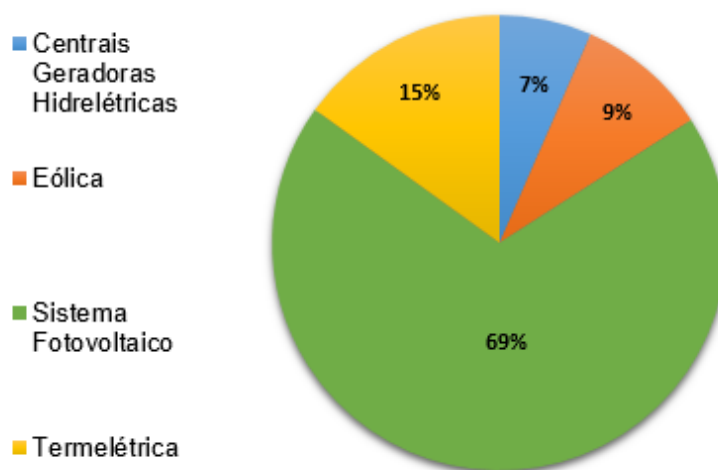
Com a Resolução Normativa nº 482/2012 que estabelece o acesso a micro e mini geração e seus respectivos valores para essas duas classes, nota-se um notável crescimento no setor comercial e residencial com a implementação dessas normativas. Conforme apresentado o Gráfico 2 (ANEEL, 2017).



**Gráfico 2 – Unidades consumidoras com geração distribuída por classe de consumo.**

Fonte: ANEEL (2017)

Dentro da geração distribuída a fonte com a maior parcela é a Solar Fotovoltaica com estimativa de alcançar 148 GWh em 2019 e aproximadamente 1600 GWh em 2024. Nota-se uma grande participação da Solar Fotovoltaica na utilização das unidades consumidoras em geração distribuída, conforme o Gráfico 3.



**Gráfico 3 – Unidades geradoras com Geração Distribuída por tipo de fonte.**

Fonte: ANEEL (2017)

## 3.2. CENÁRIO PARA O ESTADO DO PARANÁ

### 3.2.1. Projeção de Demanda de Energia Elétrica do Paraná no Horizonte 2050

O estado do Paraná possui uma tendência de crescimento na sua demanda de energia elétrica para o horizonte de 2050, conforme dados comparados com os de consumo do Brasil para esse mesmo período. A participação do estado no consumo de energia elétrica em relação ao Brasil, entre os anos de 2004 e 2015, é de aproximadamente 4,95%, conforme mostrado na Tabela 4 (MORAES *et al.*, 2016).

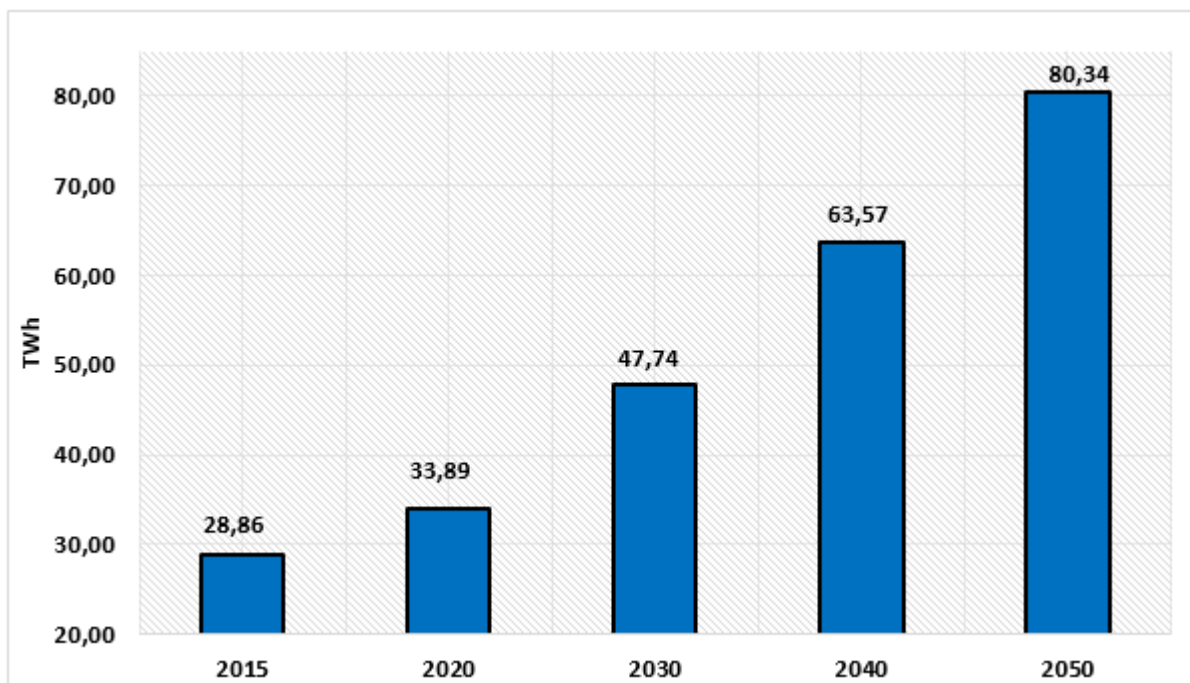
Seguindo a tendência do país, são necessários estudos mais relevantes que se atentem ao planejamento energético do estado do Paraná, e a utilização de outras fontes de energia que se complementem é de muita importância para a manutenção do fornecimento de energia e conseqüentemente, do crescimento da economia.

**Tabela 4 - Consumo Total de Energia Elétrica no Paraná e no Brasil entre os anos de 2004 a 2015, em TWh**

<b>Anos</b>	<b>Paraná</b>	<b>Brasil</b>	<b>% Participação do Paraná em relação ao Brasil</b>
2004	18,2	387,5	4,69%
2006	21,1	419,4	5,03%
2007	22,3	445,1	5,02%
2008	23,6	463,1	5,10%
2009	23,8	466,2	5,10%
2010	25,2	515,8	4,88%
2011	25,8	531,7	4,86%
2012	26,9	552,5	4,88%
2013	28,1	570,1	4,93%
2014	29,5	590,5	4,99%
2015	28,8	581,5	4,96%
-	-	<b>Média</b>	<b>4,95%</b>

**Fonte: MORAES *et al*, 2016**

Partindo-se das projeções de demanda de energia elétrica para o Brasil até 2050, é possível fazer uma análise da projeção da demanda de energia elétrica para o estado do Paraná entre 2020 a 2050. A previsão para 2050, corresponde aproximadamente 3 vezes o valor de consumo do ano de 2015 com demanda de energia elétrica estimada de 80,34 TWh como mostrado no Gráfico 4 (MORAES *et al.*, 2016).



**Gráfico 4 - Projeção de demanda de energia elétrica no Paraná no horizonte 2050**

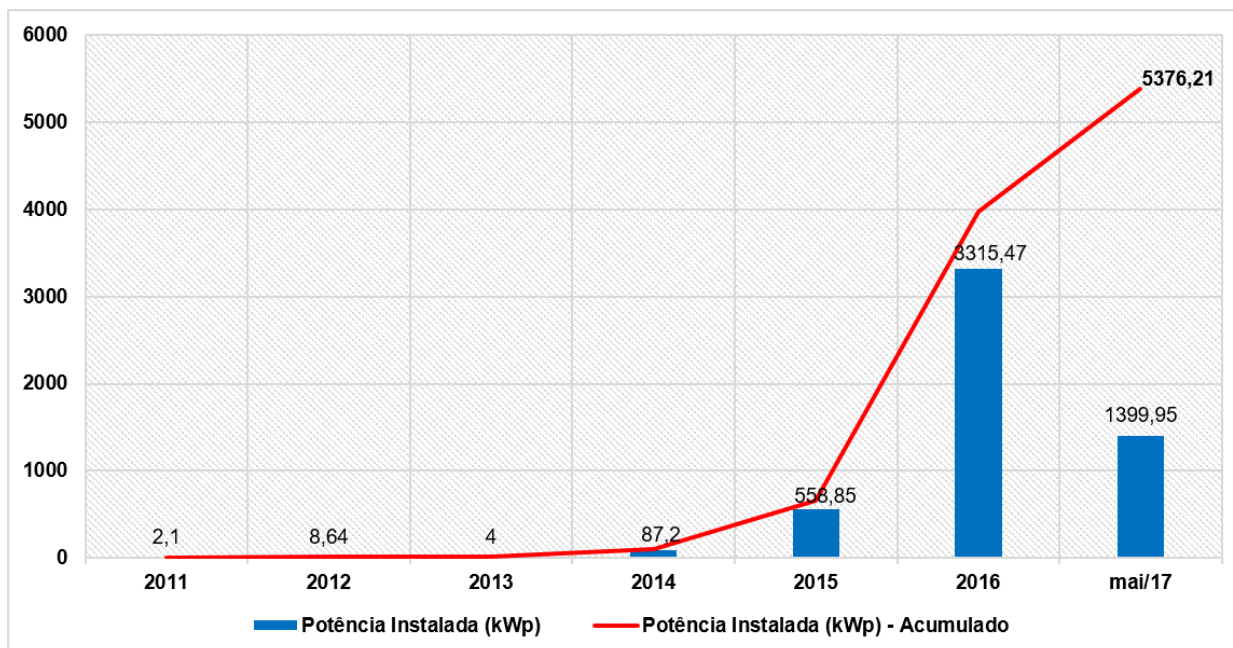
Fonte: Adaptado de MORAES *et al.*, 2016

Com o crescimento neste horizonte, a tendência é a utilização de outras fontes de energia tais como a solar, eólica e biomassa sendo um grande desafio para o poder público com investimentos em estudos para conhecimento da evolução de demanda e do consumo de energia elétrica na cidade de Curitiba com o intuito de ter uma melhor gestão da energia elétrica para atender as necessidades da sociedade quanto ao crescimento do setor industrial, comercial e de serviços. Isso é importante também para com o comprometimento com o meio ambiente.

### 3.2.2. Potencial de SFVCR no Estado do Paraná

Segundo Urbanetz *et al.*, (2014a e 2014b), em 2011 houve a instalação de 2,1 kWp de SFVCR no Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) (primeiro SFVCR no estado antes da regulamentação 482 da ANEEL), e em 2012 a instalação do SFVCR de 8,64 kWp da empresa ELCO (primeiro SFVCR no estado após regulamentação 482 da ANEEL).

A evolução da capacidade instalada de SFVCR no estado do Paraná entre os anos de 2011 e início de 2017 tem representado um aumento na forma de Geração Distribuída (GD), chegando ao final de abril de 2017 com mais de 5 MWp, conforme mostrado no Gráfico 5 (ANEEL, 2017).

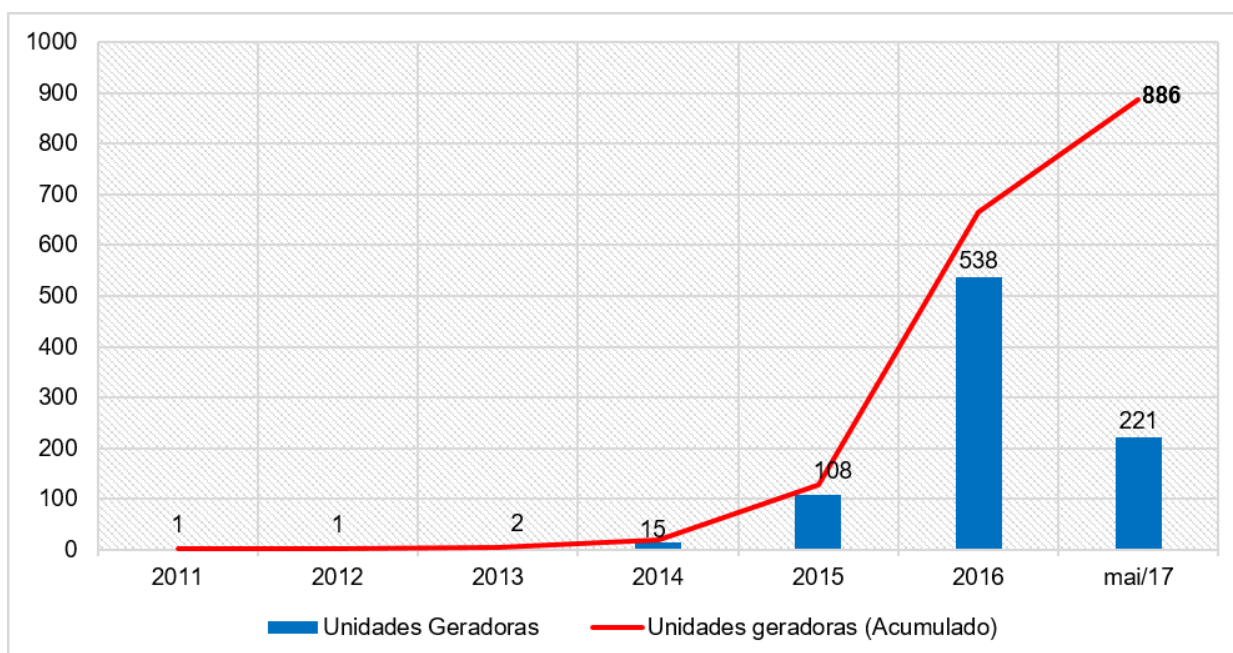


**Gráfico 5 - Capacidade Instalada de SFVCR no Paraná (kWp)**

Fonte: Adaptado de Urbanetz *et al.*, 2014a, Urbanetz *et al.*, 2014b e ANEEL (2017)

### 3.2.3 Comparativo dos Sistemas Fotovoltaicos no Paraná por Setor

Segundo os dados da (ANEEL, 2017), até o mês de abril de 2017, o Brasil vem apresentando um bom desenvolvimento quando se trata em energia a partir de fontes renováveis, em especial a fotovoltaica. O Paraná acompanha o ritmo nacional e vem apresentando resultados favoráveis nos anos analisados conforme mostrado no Gráfico 6.

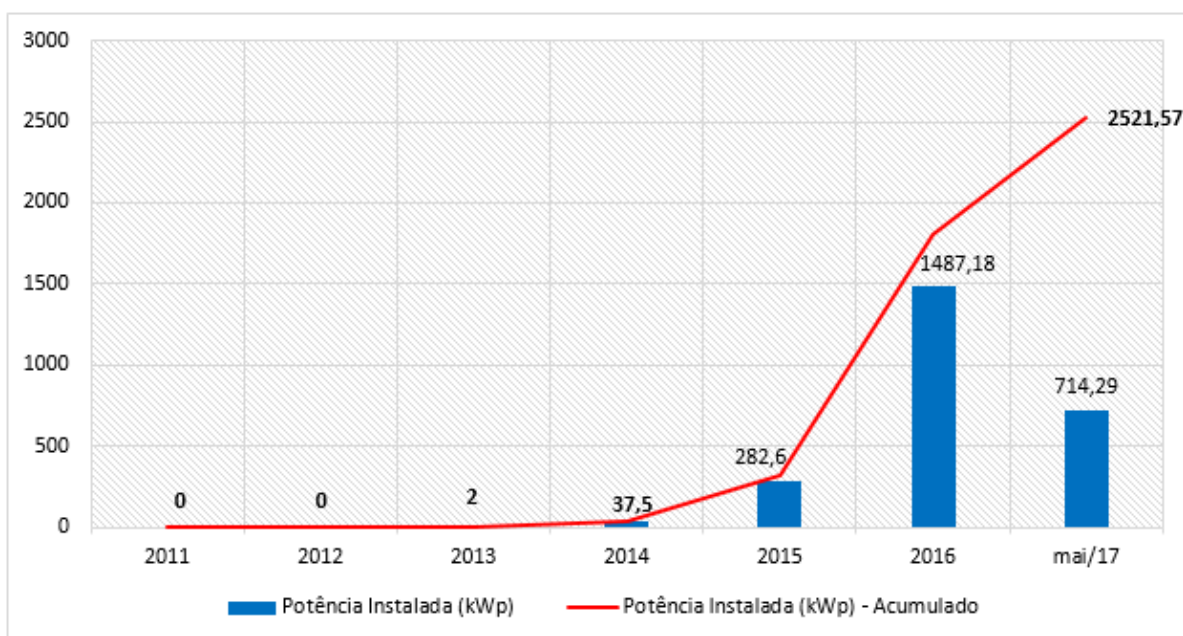


**Gráfico 6 – Unidades geradoras de SFVCR no Estado do Paraná**

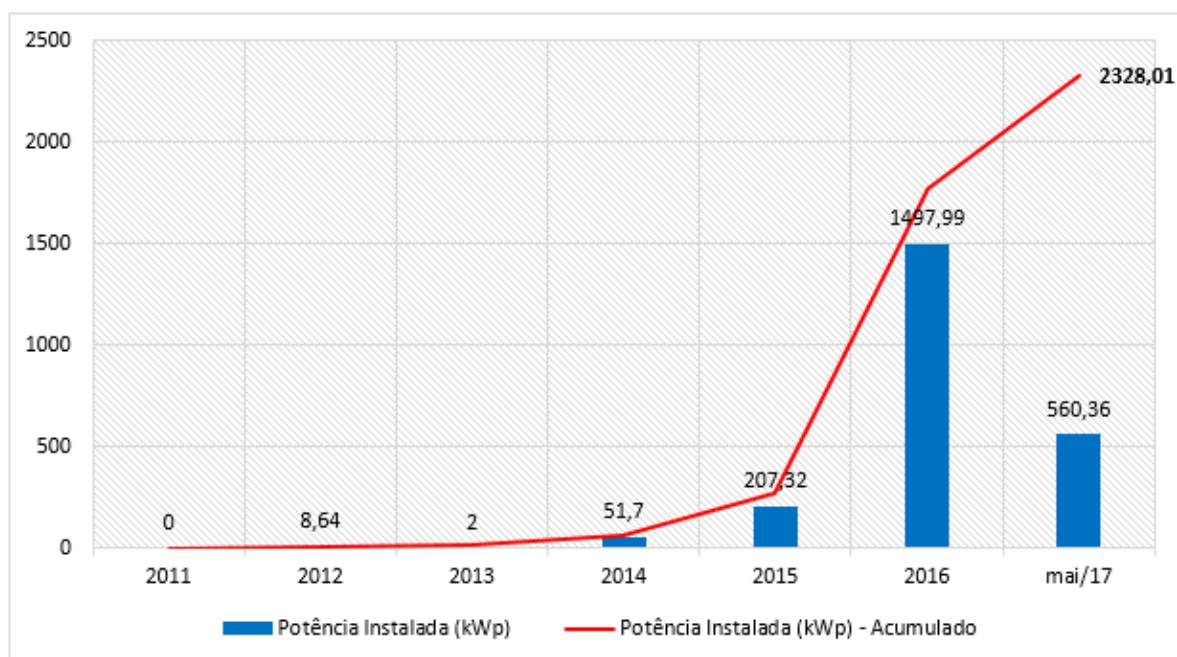
Fonte: Adaptado de Urbanetz *et al.*, 2014a, Urbanetz *et al.*, 2014b e ANEEL (2017)

Ao analisar os dados da (ANEEL, 2017) para o estado do Paraná, observa-se que dentre as 886 unidades consumidoras no acumulado dos anos analisados de 2011 até o mês de maio de 2017, é possível analisar os setores que representam o maior crescimento. Essa evolução pode ser vista nos Gráfico 7 e 8, setores residencial e comercial, respectivamente.

O setor residencial apresenta uma potência instalada acumulada de aproximadamente 2,6 MWp e o setor comercial com aproximadamente 2,4 MWp, dados do mês de maio de 2017.



**Gráfico 7 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) no Paraná para o setor Residencial – GD**  
Fonte: ANEEL (2017)

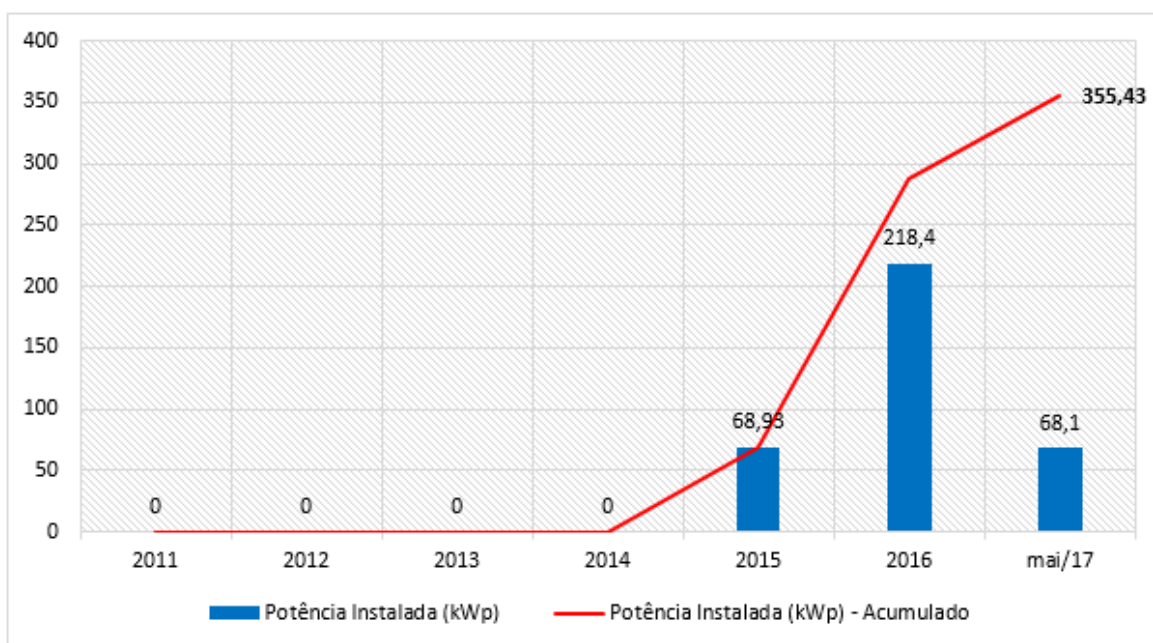


**Gráfico 8 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) no Paraná para o setor Comercial – GD**  
Fonte: Adaptado de Urbanetz *et al.*, 2014a, Urbanetz *et al.*, 2014b e ANEEL (2017)

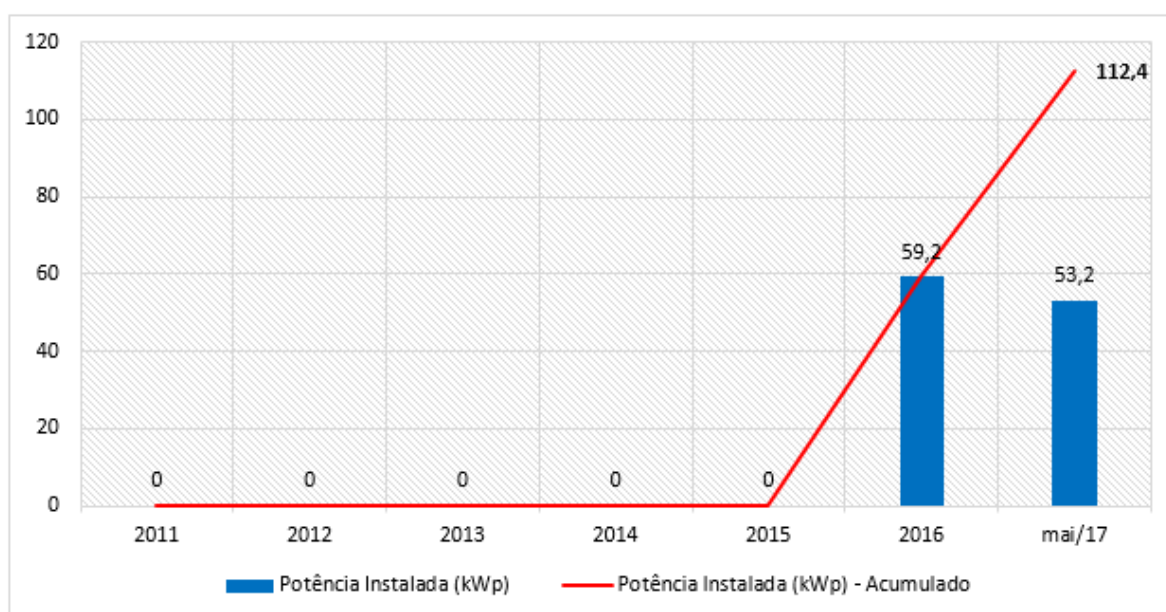


Os crescimentos significativos para o setor residencial e comercial do estado do Paraná devem-se ao mesmo motivo do nível nacional, que é a política de incentivo para mini e micro geração.

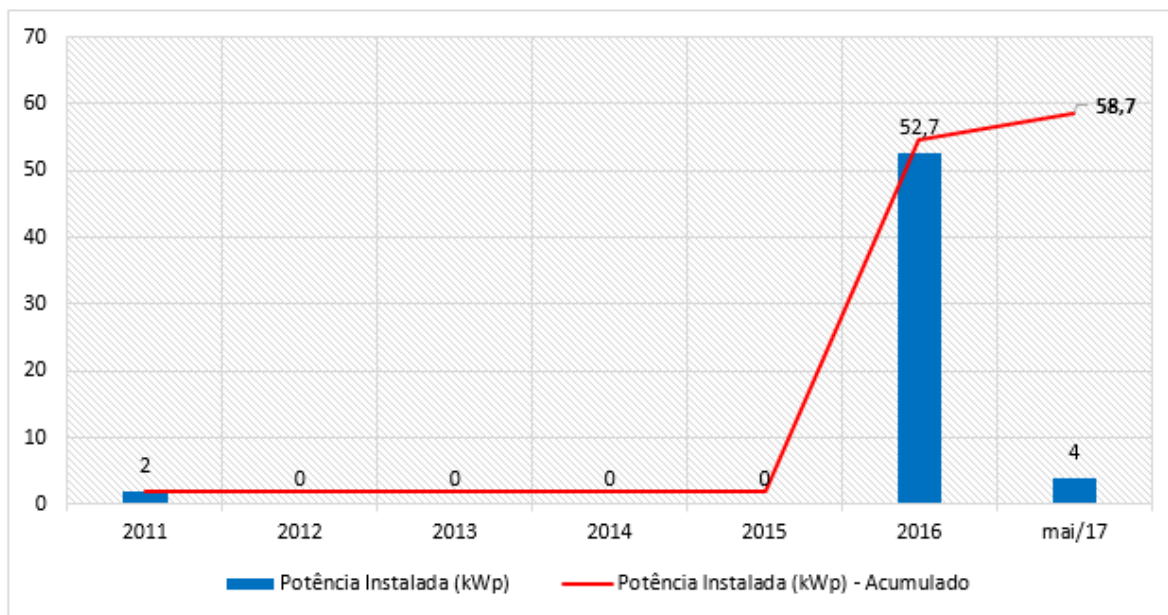
Já o setor industrial, rural e serviço público (Iluminação e Prédios públicos) apresentaram um crescimento mais ativo a partir de 2016, porém abaixo quando comparados com os setores residencial e comercial, conforme mostrados nos Gráficos 9, 10 e 11, respectivamente representando os setores industrial, rural e serviço público.



**Gráfico 9 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) no Paraná para o setor Industrial – GD**  
Fonte: ANEEL (2017)



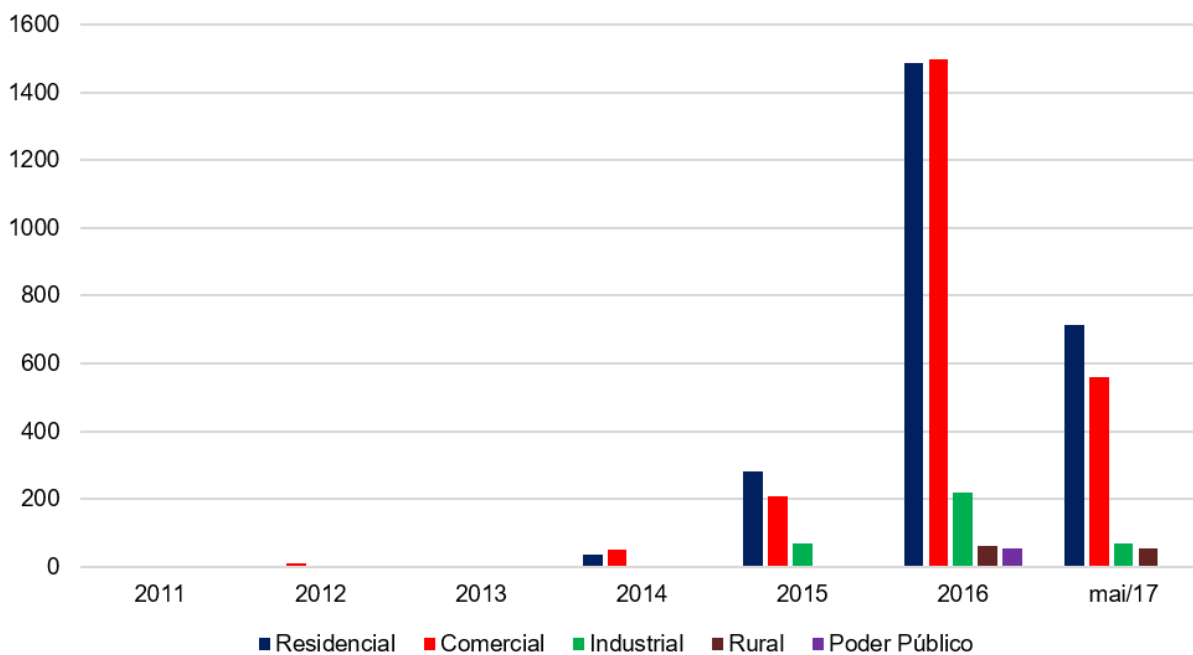
**Gráfico 10 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) no Estado do Paraná para o setor Rural – GD**  
Fonte: ANEEL (2017)



**Gráfico 11 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) no Estado do Paraná para o Poder Público – GD**

Fonte: Adaptado de Urbanetz *et al.*, 2014a, Urbanetz *et al.*, 2014b e ANEEL (2017)

A capacidade total instalada do Paraná no acumulado entre os anos de 2011 até o mês de abril de 2017 é de 5,37 MWp e sua comparação por setor pode ser analisada no Gráfico 12 (ANEEL, 2017).



**Gráfico 12 – Potência adicionada anualmente de SFVCR (kWp) no Estado do Paraná com todos os setores – GD**

Fonte: Adaptado de Urbanetz *et al.*, 2014a, Urbanetz *et al.*, 2014b e ANEEL (2017)

Pode-se observar bem que os setores residencial e comercial foram os que mais investiram em instalações de SFVCR nos anos analisados pela ANEEL. Isso é um fator positivo, pois também são uns dos setores que possuem maiores consumos de energia elétrica no estado do Paraná com 7,16 MWh e 5,67 MWh, respectivamente, no ano de 2015, segundo dados do (IPARDES, 2016), o que favorece o suprimento desta energia com novas instalações de SFVCR no estado para o longo prazo.

### 3.2.4 Projeção de SFVCR para o Estado do Paraná no Horizonte 2050

Com base no valor médio de produtividade apresentado no estado, da demanda prevista para 2050 de 80,34 TWh, e da demanda em 2015 que foi de aproximadamente 28,86 TWh, foi feita a projeção da contribuição necessária somente de SFVCR para suprir este déficit de energia elétrica que será da ordem de 51,48 TWh até 2050.

Em função das premissas adotadas, estimou-se que será necessário a implantação de aproximadamente 34,56 GWp em SFVCR em todo o estado do Paraná, de forma a suprir a demanda prevista. Na Figura 14, é apresentada a projeção da inserção de SFVCR no horizonte 2050 em função da demanda prevista de energia elétrica no estado.

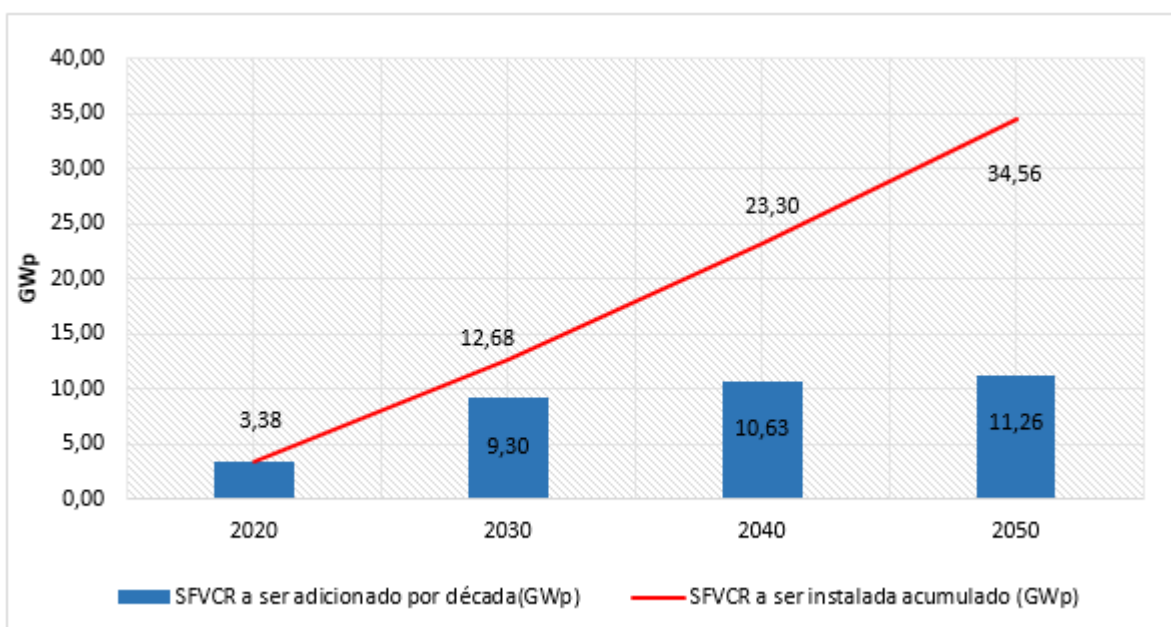


Figura 13 - Potencial de SFVCR a ser instalado no Paraná no horizonte 2050 (GWp)

Fonte: Adaptado de MORAES *et al.*, 2016

### 3.3. CENÁRIO PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA

Curitiba é a capital do Paraná e possui aproximadamente 2 milhões de habitantes, com uma área de aproximadamente de 430 km<sup>2</sup> localizada na região sul do Brasil, conforme mostrado na Figura 15.



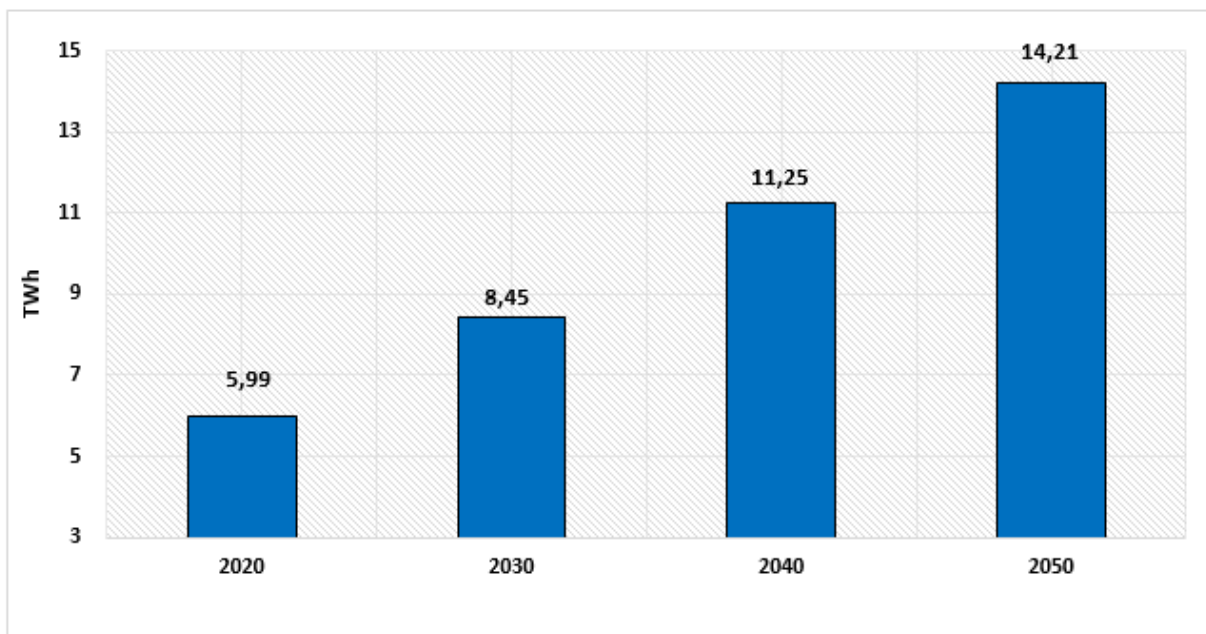
**Figura 14 – Mapa da cidade de Curitiba – PR**

**Fonte: Wikipédia, 2017**

#### 3.3.1. Projeção de Demanda de Energia Elétrica de Curitiba no Horizonte 2050

A cidade de Curitiba apresentou no ano de 2015 um consumo de energia elétrica de aproximadamente 4,73 TWh (IPARDES, 2015). Portanto, de forma análoga à análise feita para o Brasil e para o estado do Paraná, foi feito o levantamento da projeção de consumo que a cidade de Curitiba terá no horizonte de 2050. A projeção da demanda de energia elétrica para a cidade curitibana para os próximos anos é semelhante às projeções do Brasil e do Paraná, que é de aumento, em função do crescimento econômico e populacional da cidade para os próximos anos.

A participação no consumo de energia elétrica da cidade de Curitiba em relação ao estado do Paraná, entre os anos de 2004 e 2015, é de aproximadamente 18%, e para o horizonte de 2050 essa demanda de energia elétrica será de aproximadamente 14,21 TWh, conforme mostrado no Gráfico 13.



**Gráfico 13 - Projeção de demanda de energia elétrica em Curitiba no horizonte 2050**

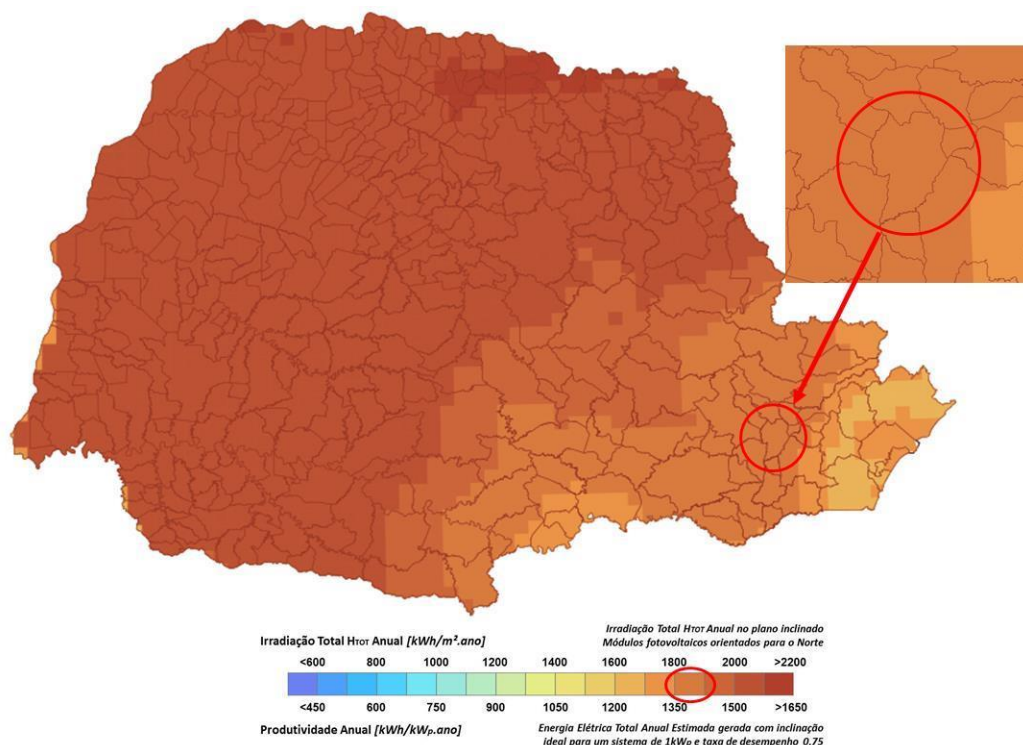
Fonte: adaptado de IPARDES (2010) e EPE (2014).

Uma questão de fundamental importância está em como atender essa demanda futura de energia elétrica. Pois com esse aumento de mais de três vezes da demanda de energia elétrica encontrada no ano de 2015 para o horizonte de 2050, abre uma preocupação quanto ao fornecimento e na geração da energia elétrica. Uma alternativa viável para auxiliar na geração de energia elétrica de forma limpa e sustentável é a implementação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR) para a cidade de Curitiba.

### 3.3.2. Potencial de SFVCR na Cidade de Curitiba

A cidade de Curitiba é conhecida por ter a menor temperatura média entre as capitais brasileiras e possui grande índice de nebulosidade durante o ano. Apesar disso, ela possui índices de Irradiação e Produtividade Total Anual Média apenas 8,6% inferior à média de todo o território brasileiro (TIEPOLO, 2015). Isso representa também que, Curitiba possui índices melhores que os da Alemanha e de vários países da Europa, o que fomenta ainda mais a utilização de SFVCR na geração de energia elétrica na cidade.

Estudos realizados na cidade de Curitiba, comprovam índices significativos de irradiação e produtividade. A Média Total Anual de Irradiação e Produtividade estimada é de 1.829 kWh/m<sup>2</sup>.ano e 1.372 kWh/kWp.ano, respectivamente. A Figura 17 ilustra o mapa Fotovoltaico do estado do Paraná com destaque para a cidade de Curitiba, evidenciando os excelentes índices (TIEPOLO, 2015).

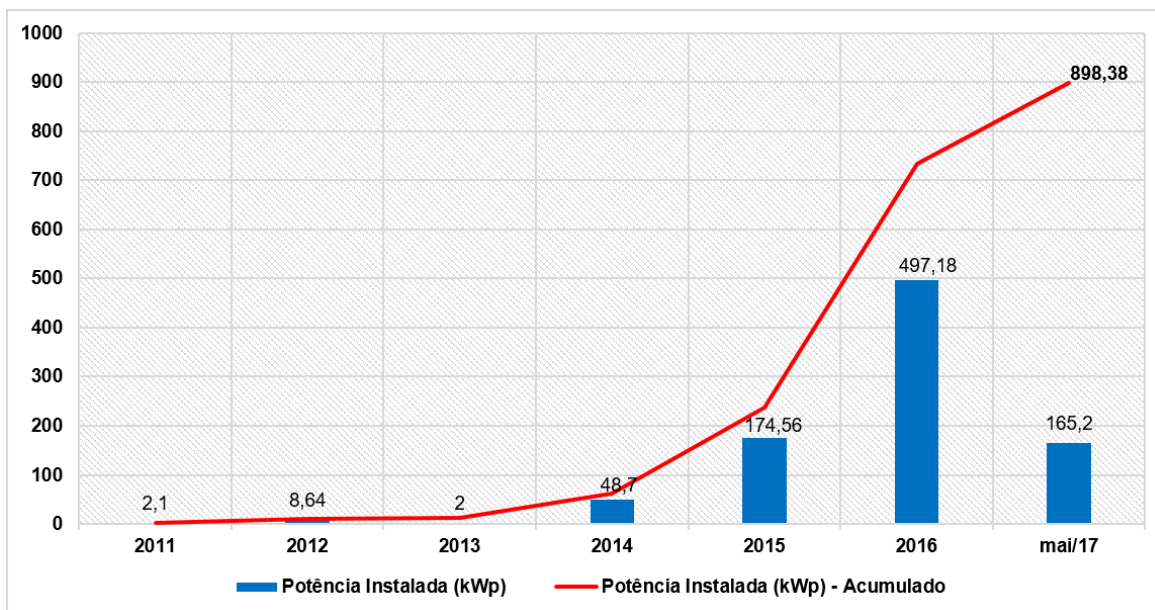


**Figura 15 - Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná com destaque para a cidade de Curitiba - Total Anual (Plano Inclinado -  $H_{TOT}$ )**

**Fonte: Tiepolo *et al.*, 2014b**

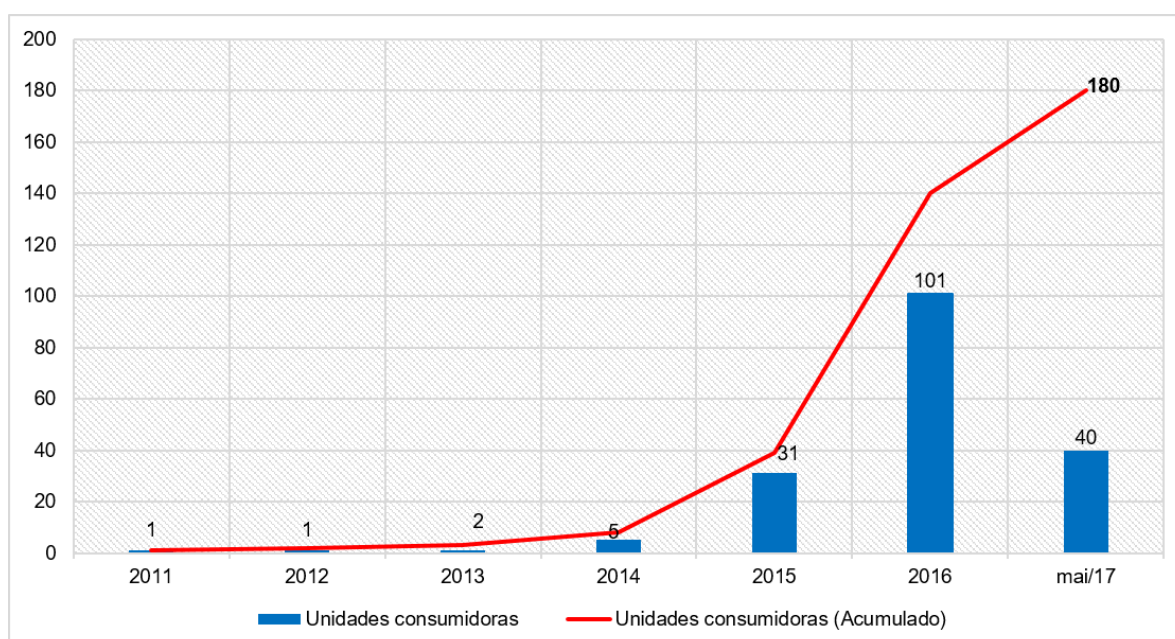
Esses índices de Irradiação e de Produtividade demonstram o excelente potencial da cidade de Curitiba quando comparado com a Europa. Isso exemplifica claramente a necessidade de investir em energia solar na cidade de Curitiba como forma de complementar a sua matriz elétrica e ainda viabilizar um melhor planejamento de energia elétrica para os próximos anos, a fim de suprir a demanda de energia que a cidade necessitará no horizonte de estudo deste trabalho.

A evolução da capacidade instalada de SFVCR em Curitiba entre os anos de 2011 e maio de 2017 tem representado um aumento na forma de Geração Distribuída (GD), assim como observado no estado do Paraná e Brasil, chegando ao final de maio de 2017 com aproximadamente 900 kWp e com quase 200 unidades consumidoras de GD, conforme mostrado nos Gráficos 14 e 15, respectivamente (ANEEL, 2017).



**Gráfico 14 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) – GD – Curitiba.**

Fonte: Adaptado de Urbanetz *et al.*, 2014a, Urbanetz *et al.*, 2014b e ANEEL (2017)



**Gráfico 15 – Unidades Geradoras – Geração Distribuída – Curitiba.**

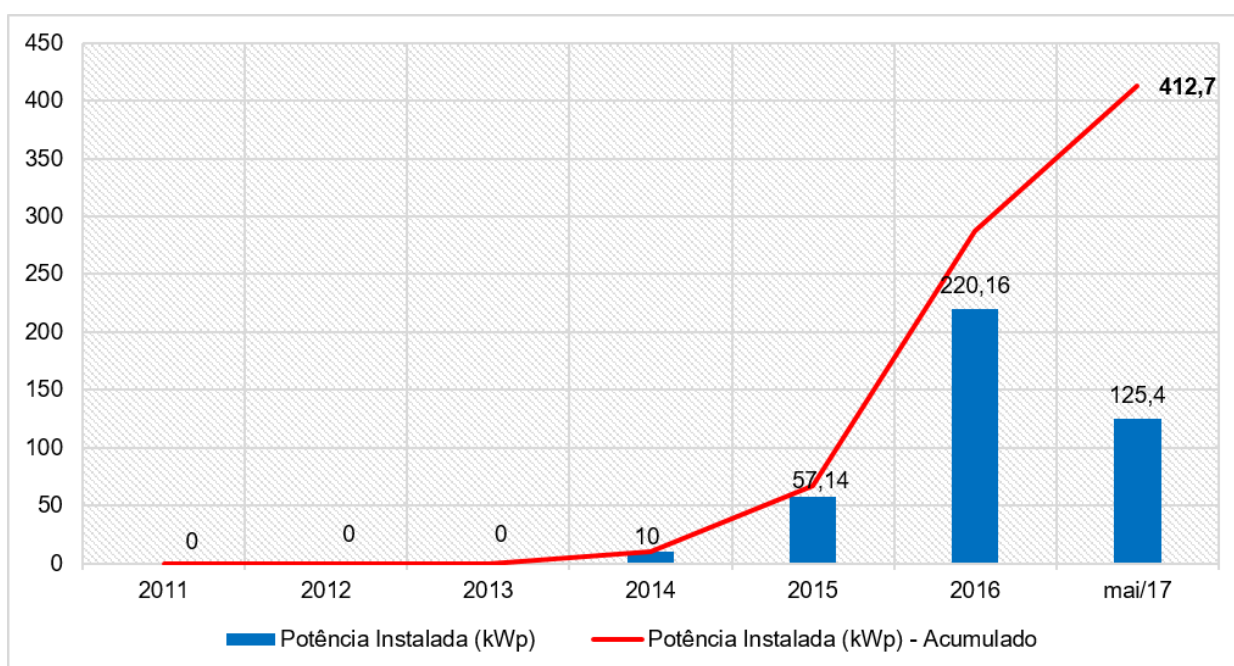
Fonte: Adaptado de Urbanetz *et al.*, 2014a, Urbanetz *et al.*, 2014b e ANEEL (2017)

### 3.3.3. Comparativo dos Sistemas Fotovoltaicos em Curitiba por Setor

Da mesma forma que foi observado o crescimento dos setores residencial e comercial para o estado do Paraná, a cidade de Curitiba também apresenta nestes dois setores a sua maior capacidade instalada nos anos analisados entre 2011 e início de 2017. Os setores rural e poder público foram desconsiderados neste estudo por apresentarem valores desprezíveis de geração distribuída de SFVCR nos anos analisados.

Curitiba acompanha também a tendência nacional no aumento de instalações de SFVCR, isso é justificado pelos incentivos governamentais como a normativa 482/2012 da ANEEL (revisada em 2015) para mini e micro geração de energia elétrica.

Para o setor residencial, a cidade de Curitiba apresentou mais de 400 kWp de potência instalada de SFVCR no acumulado dos anos analisados, conforme mostrado no Gráfico 16. Isso demonstra uma tendência para a cidade de Curitiba, pois os custos em SFVCR para o setor residencial estão diminuindo e a tecnologia dos materiais melhorando ao longo dos anos.

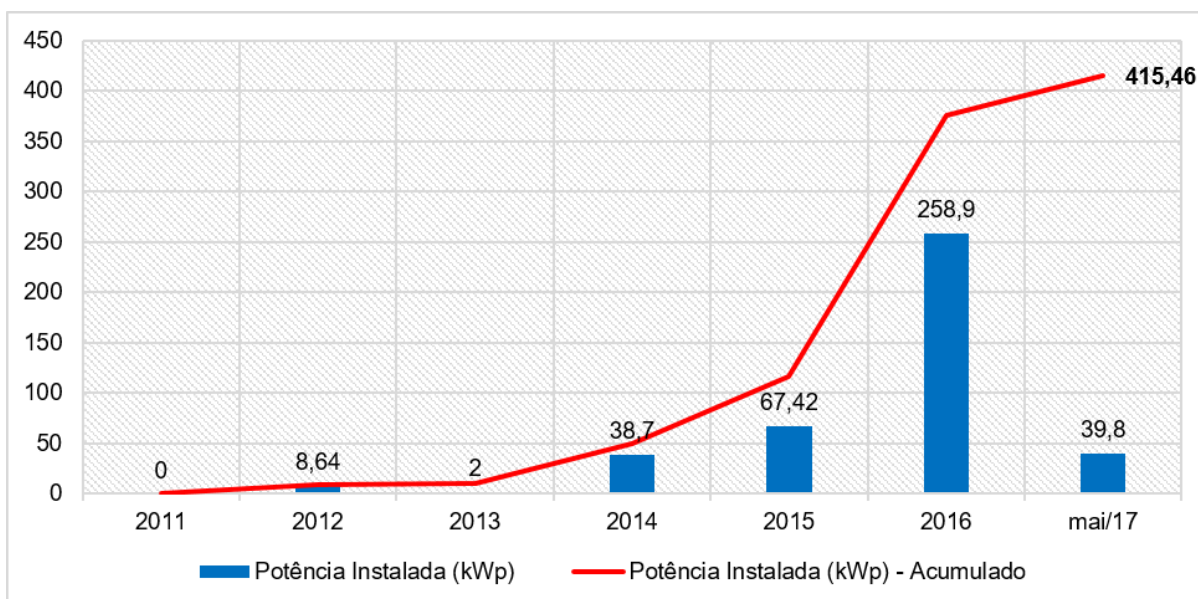


**Gráfico 16 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) - Residencial – GD – Curitiba.**

**Fonte: ANEEL (2017)**

O setor comercial em Curitiba foi o que mais teve investimentos em SFVCR no acumulado dos anos analisados, representando mais de 415 kWp de potência instalada, conforme mostrado no Gráfico 17. Isso representa também uma visão positiva, pois é mais uma alternativa de suprimento do consumo de energia elétrica para este setor da economia da cidade.

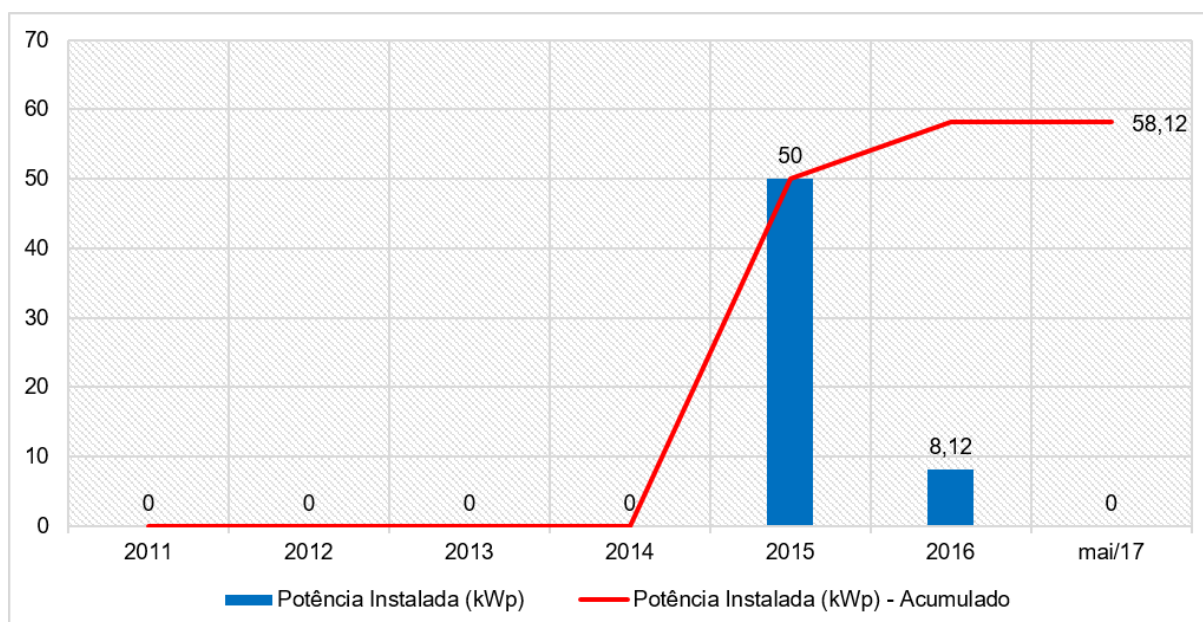




**Gráfico 17 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) - Comercial – GD – Curitiba.**

Fonte: Adaptado de Urbanetz *et al.*, 2014a, Urbanetz *et al.*, 2014b e ANEEL (2017)

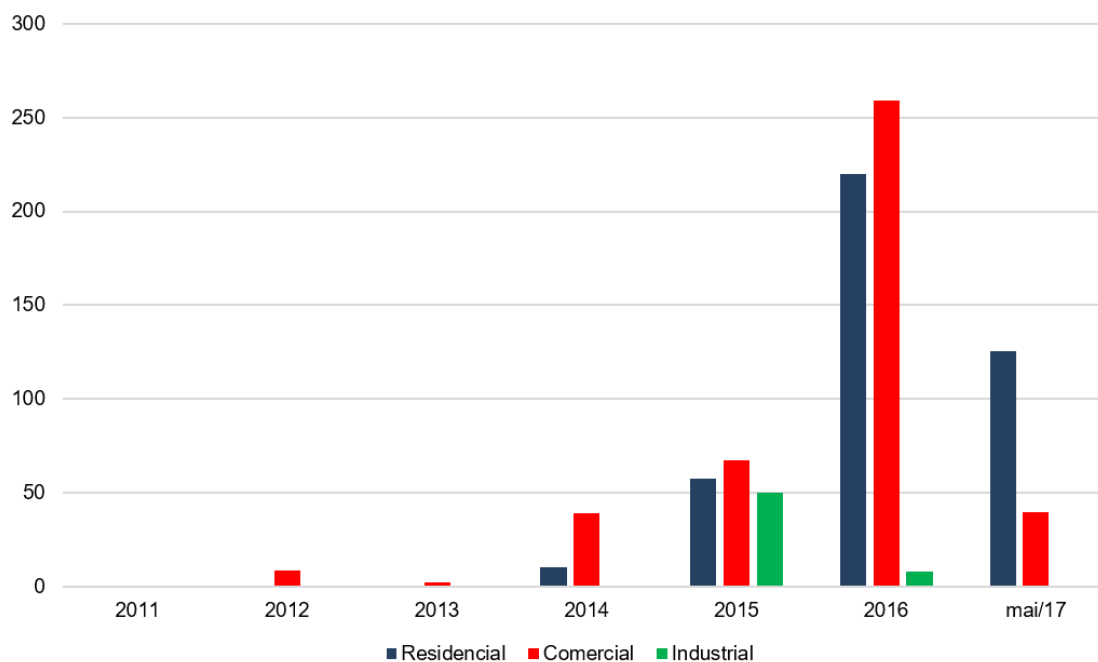
Já para o setor industrial, apenas a partir do ano de 2015 que houve instalação de SFVCR. O número ainda é baixo, conforme o Gráfico 18 quando comparado com os setores residencial e comercial, devido ao retorno sobre o investimento em relação a tarifa nesse setor ser mais longo.



**Gráfico 18 – Potência Instalada de SFVCR (kWp) - Industrial – GD – Curitiba.**

Fonte: ANEEL (2017)

A capacidade total instalada na cidade de Curitiba no acumulado entre os anos de 2011 até o mês de maio de 2017 é quase 1 MWp (ANEEL, 2017) e sua comparação por setor pode ser analisada no Gráfico 19.



**Gráfico 19 – Potência Instalada de SFVCR dos setores residencial, comercial e industrial (kWp) - GD – Curitiba.**

**Fonte: Adaptado de Urbanetz *et al.*, 2014a, Urbanetz *et al.*, 2014b e ANEEL (2017)**

Pode-se observar no Gráfico 19 que no ano de 2016 houve um aumento de aproximadamente quatro vezes da potência instalada em relação ao ano de 2015. Essa é a tendência para o ano de 2017 e para os próximos anos. É uma alternativa de energia limpa e sustentável para suprir a demanda que a cidade terá no horizonte 2050, lembrando que, para o planejamento energético é importante a complementariedade das outras fontes de energia, principalmente o uso das renováveis não-hidro, como a eólica e a biomassa.

#### 3.3.4. Projeção de SFVCR para a Cidade de Curitiba no Horizonte 2050

Considerando a projeção de demanda de energia elétrica da cidade de Curitiba para o horizonte 2050, foi feita de forma análoga aos estudos de projeção do estado do Paraná a estimativa de demanda de energia elétrica para a cidade de Curitiba neste período.

Para estimar a demanda de energia elétrica no horizonte 2050 na cidade de Curitiba, foi determinado o percentual médio de participação do consumo da cidade em relação ao total do estado no período entre 2004 e 2015, que ficou em torno de 17,69%, segundo dados do IPARDES.

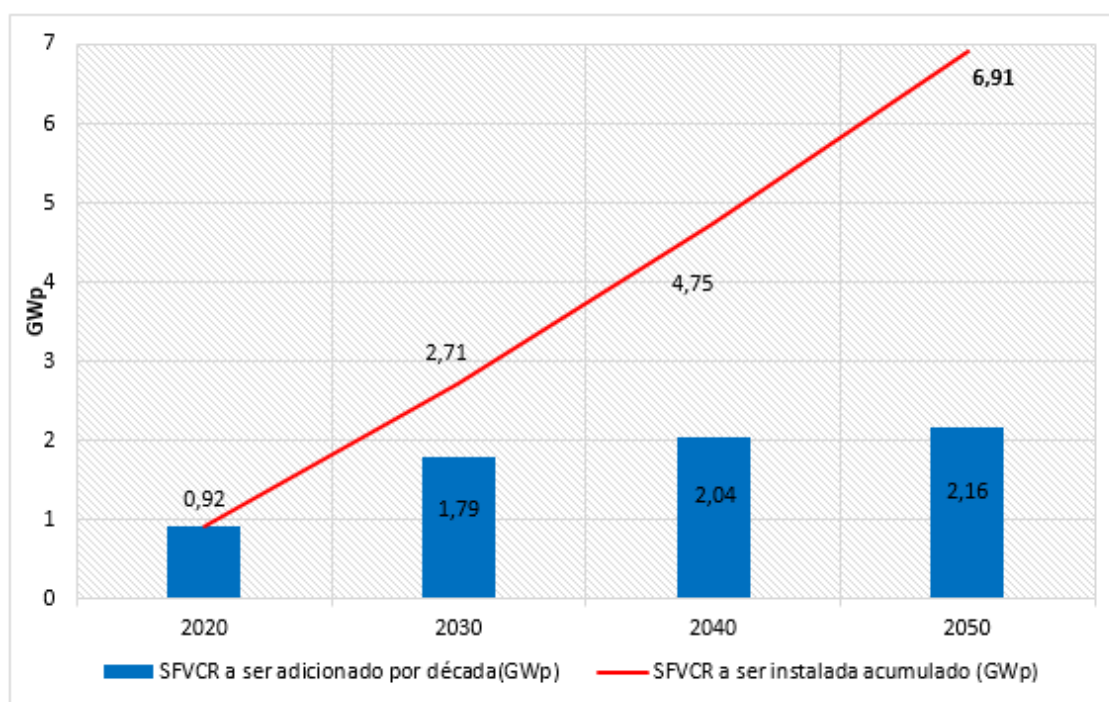
Conclui-se, portanto, que haverá um crescimento no consumo de energia elétrica considerável para Curitiba para o horizonte de 2050. A partir desta premissa, foi estimado o potencial fotovoltaico a ser instalado de forma a atender a sua demanda de energia elétrica, levando-se em conta a sua produtividade média apresentada em estudos já elaborados. A capacidade instalada estimada de SFVCR para suprir a demanda de energia elétrica até 2050 para a cidade de Curitiba é apresentada na Tabela 5.

**Tabela 5 - Capacidade instalada prevista de SFVCR para a cidade de Curitiba no horizonte de 2050.**

Consumo em 2015 (TWh)	Consumo estimado para 2050 (TWh)	Energia a ser suprida (TWh)	Produtividade Média (kWh/kWp)	Potência acumulada de SFVCR a ser instalado até 2050 (GWp)			
				2020	2030	2040	2050
4,73	14,21	9,48	1372	0,92	2,71	4,75	6,91

Fonte: Adaptado de ANEEL (2016b), IPARDES (2015), EPE (2014), MME (2016a) e TIEPOLO (2015)

A partir destes dados de demanda de energia elétrica para a cidade de Curitiba no horizonte de 2050, foi feito um estudo do potencial de SFVCR a ser instalada até 2050 para suprir essa diferença de demanda que haverá entre os anos de 2020 a 2050, conforme mostra a Figura 168.



**Figura 16 - Potencial de SFVCR a ser instalado em Curitiba no horizonte 2050 (GWp)**

Fonte: Adaptado de ANEEL (2016b), IPARDES (2014), EPE (2014), MME (2016a) e TIEPOLO (2015).

Com isso, há a possibilidade de suprir uma demanda considerável de energia elétrica neste horizonte de longo prazo na cidade de Curitiba com a instalação de SFVCR que é oriundo de uma fonte renovável inesgotável e com baixos impactos ambientais.

Para isto, é necessário que haja incentivos por parte do governo federal e estadual para disseminar a utilização desta fonte de energia. Em relação ao governo federal, este isentou recentemente a cobrança das alíquotas de PIS e COFINS para a geração distribuída no modelo de compensação de energia, ficando a cargo dos estados quanto a isenção da alíquota de ICMS na parcela de energia elétrica a ser compensada.

Entende-se que a partir de uma política pública de estado haverá um incentivo a uma maior utilização deste tipo de fonte renovável para geração de energia elétrica na cidade de Curitiba com a implementação de SFVCR, como também propiciar uma maior conscientização da sociedade com respeito à necessidade de um desenvolvimento sustentável.

#### 4. CONCLUSÃO

O planejamento de energia é um fator essencial para o fornecimento de informações como subsídio para que os gestores públicos possam ter como apoio na tomada de decisões. Com isso, o planejamento da energia elétrica é extremamente importante para alavancar o crescimento econômico do país, reduzindo os riscos de haver um desabastecimento de energia elétrica e impactos socioeconômicos e ambientais.

Correlacionado a esse tema do planejamento energético, o termo desenvolvimento sustentável está cada vez mais importante nos dias de hoje, e o seu objetivo principal é o de equilibrar as dimensões ambiental, econômica e social.

Novas políticas públicas à geração de energia elétrica através de fontes renováveis de energia, como por exemplo, a geração distribuída, têm crescido gradativamente de forma Global e também no Brasil. Com isto, de forma similar à eólica, a fonte solar principalmente através de SFVCR tem ganhado espaço no cenário nacional nos últimos anos, principalmente após à regulamentação 482/2012 e da sua revisão em 2015 (687/2015) feita pela ANEEL.

Ao se comparar o panorama mundial com o brasileiro, é possível apontar o crescimento do número de plantas de sistemas fotovoltaicos centralizados, visto que no Brasil quase toda a parcela da produção por SFVCR é por geração distribuída descentralizado, situação que sofrerá alteração no futuro próximo com os leilões realizados pelos órgãos responsáveis, seguindo assim uma tendência mundial.

No cenário nacional os setores residencial e comercial apresentaram resultados significativos de geração distribuída através de SFVCR desde o ano de 2012. Esse aumento se deve a políticas incentivadoras e a viabilidade da tecnologia como um retorno sobre o investimento menor do que em anos anteriores.

O Paraná vem acompanhando esse ritmo de crescimento das energias renováveis, a nível nacional, possibilitando o seu crescimento nos sistemas fotovoltaicos (SFVCR) instalados após a regulamentação 482/2012 da ANEEL.

Atualmente, no estado do Paraná, a participação na geração de energia elétrica através de hidroelétricas é bem representativo e boa parte dessa fonte já foi explorada. Isso é um fator que dificulta novas expansões de usinas hidrelétricas para a matriz elétrica paranaense, tendo a necessidade da participação de outras fontes renováveis não hidro, como a solar fotovoltaica, cuja participação atual ainda é desprezível.

Os setores que mais cresceram comparando-se a capacidade instalada em SFVCR no Paraná, foi o setor residencial e comercial. Isso demonstra a importância de investimentos de mais estudos sobre o potencial das diversas fontes para geração de energia elétrica no estado e em especial para a cidade de Curitiba, como por exemplo, a solar fotovoltaica através de SFVCR, principalmente quando se observa que esta fonte permite a geração de energia elétrica de forma distribuída e próxima ao ponto de consumo, de forma limpa e renovável.

Historicamente, o Paraná tem apresentado uma participação de aproximadamente 4,95% da demanda total brasileira, o que deverá representar em 2050 uma demanda de aproximadamente 80,34 TWh, ou seja, deverão ser acrescentados 51,48 TWh no estado em relação ao apresentado em 2015.

Esse estudo também foi aplicado para a cidade de Curitiba, onde a demanda de energia elétrica apresentará crescimento de aproximadamente três vezes ao da demanda encontrada em 2015, chegando no ano de 2050 com 14,21 TWh. Portanto, para esse período analisado, haverá a necessidade de implementar aproximadamente 6,91 GWp de SFVCR, a qual auxiliará na demanda energética da cidade para a geração de energia elétrica.

O estado do Paraná e a cidade de Curitiba, evidenciam valores elevados de irradiação e produtividade, muito maiores aos encontrados na maior parte da Europa, o que fomenta e viabiliza ainda mais a utilização deste tipo de fonte na geração de energia elétrica no estado. É uma possibilidade de suprir a demanda crescente de energia elétrica no horizonte 2050, de forma mais consciente e limpa, através de uma fonte inesgotável de energia.

Porém, para desenvolver e viabilizar tais projetos relacionados a SFVCR, e de fornecer apoio às pesquisas para se ter um bom planejamento energético de longo prazo, para a cidade de Curitiba, deve-se ter uma boa política pública que atenda a essas necessidades de expansão da demanda de energia elétrica para um horizonte de 2050. Assim, investimentos de SFVCR de forma distribuída, através de micro e mini geração, como também através de usinas fotovoltaicas se fazem necessários.

Como trabalho futuro, o desafio será o de dar continuidade aos estudos da fonte solar fotovoltaica e investimentos em políticas públicas que favoreçam o aumento de SFVCR, lembrando que para se ter um excelente planejamento energético, há a necessidade de complementariedade de outras fontes, como por exemplo, a energia eólica e a biomassa, fontes renováveis não hidro que minimizariam grandes impactos ambientais. Pois só assim, com essas questões e investimentos de médio a longo prazo,

poderão ser solucionadas e serão fatores primordiais para tornar a cidade de Curitiba como um modelo de referência no Brasil neste setor.

## REFERÊNCIAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **“Atlas de energia elétrica do Brasil”**, Brasília, 3ª Edição, ISBN: 978-85-87491-10-7, 2008, disponível online em [http://www.aneel.gov.br/visualizar\\_texto.cfm?idtxt=1689](http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689).

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **“Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012”**, 2012, disponível online em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>, acessado em setembro de 2016.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Banco de Informação de Geração - BIG - Capacidade de Geração no Estado**, atualizado em 29/03/2016, disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/CapacidadeEstado.cfm?cmbEstados=PR:PARAN%C1>> acessado em março de 2016a.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, **“Microminigeração”**. Atualizado em 25/08/2016, disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/scg/rcg/Microasp>>, acessado em 25 de agosto de 2016b.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Outorgas e Registros de Geração – Resumo por tipo de Geração**. Atualizado em 30/04/2017, disponível em: [http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset\\_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp\\_p\\_id%3D101\\_INSTANCE\\_mJhnKli7qcJG%26p\\_p\\_lifecycle%3D0%26p\\_p\\_state%3Dnormal%26p\\_p\\_mode%3Dview%26p\\_p\\_col\\_id%3Dcolumn-2%26p\\_p\\_col\\_pos%3D1%26p\\_p\\_col\\_count%3D2](http://www.aneel.gov.br/outorgas/geracao/-/asset_publisher/mJhnKli7qcJG/content/registro-de-central-geradora-de-capacidade-reduzida/655808?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Foutorgas%2Fgeracao%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_mJhnKli7qcJG%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2), acessado em Abril de 2017.

BAJAY, S. V. **Planejamento energético: Necessidade, objetivo e metodologia**. *Revista Brasileira de Energia*, v. 1, n. 1, p. 45-53, 1989.

BAJAY, S. V. (1989), **“Planejamento energético regional: a experiência paulista à luz de práticas que a inspiraram no exterior”**, in Capacitação para a tomada de decisões na área de energia, Montevideu, FINEP/UNESCO.



BARBOSA, Gisele Silva. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. Revista Visões, v. 4, n. 1, p. 1-11, 2008, disponível em <[http://files.gtsustentabilidade.webnode.com/200000055-d44dfd5476/4ed\\_O\\_Desafio\\_Do\\_Desenvolvimento\\_Sustentavel\\_Gisele.pdf](http://files.gtsustentabilidade.webnode.com/200000055-d44dfd5476/4ed_O_Desafio_Do_Desenvolvimento_Sustentavel_Gisele.pdf)> acessado em 02 de janeiro de 2017.

BENEDITO, R. S., ZILLES, R., “**A expansão da oferta de energia elétrica nos centros urbanos brasileiros por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede**”, Revista Brasileira de Energia, Vol. 16, nº 1, pp. 7-19, 2010.

BETINI, R. C., CASTAGNA, A. G., & TIEPOLO, G. M. **O Emprego Verde e o Desenvolvimento Sustentável**, Curitiba, 2012;

CAMPOS, H. M. V. B. **Geração Distribuída de Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica de Curitiba e Região: Um Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2015;

CARVALHO, J. F. **Energia e sociedade. Estudos avançados**, v. 28, n. 82, p. 25-39, 2014, disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142014000300003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142014000300003&script=sci_arttext), acessado em janeiro de 2017.

COMISSÃO DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS (1986), **A energia e o desenvolvimento: que desafios? Quais métodos? - Sínteses e conclusões**. Rio de Janeiro, Editora Marco Zero/AIE- COPPE/UFRJ.

COPEL, Companhia Paranaense de Energia. “**Atlas do Potencial Eólico do Estado do Paraná**”, 2007, disponível em <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas\\_eolico/Atlas\\_do\\_Potencial\\_Eolico\\_do\\_Estado\\_do\\_Parana.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas_do_Potencial_Eolico_do_Estado_do_Parana.pdf)>, acessado em março de 2017.

DEL VALLE, A. (1985), “**Planificación energética: desafios para su renovación**”, in Anais do Seminário Latino Americano de Modelagem para Planejamento Energético, Montevideu, FINEP/UNESCO.

EPE, (Empresa de Pesquisa Energética), **Série ESTUDOS DA DEMANDA DE ENERGIA NOTA TÉCNICA DEA 13/14. Demanda de Energia 2050, Ano 2014.**

Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA%2013-14%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>>

EPE, (Empresa de Pesquisa Energética), **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024, Ano 2015.** Disponível em:

<http://www.epe.gov.br/PDEE/Relat%C3%B3rio%20Final%20do%20PDE%202024.pdf>>  
acessado em Abril de 2017.

EPE, (Empresa de Pesquisa Energética), **Série ESTUDOS DA DEMANDA DE ENERGIA NOTA TÉCNICA DEA 13/15. Demanda de Energia 2050, Ano 2016.**

Disponível em: < <http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>>

GLENN, J.C.; GORDON, T.J.; FLORESCU, E. **“Futures studies around the World”**, In: 2011 State of the future, Washington, EUA, The millennium project, Global futures studies & research, cap. 7, 2011, Disponível em <http://www.millennium-project.org/millennium/2011SOF.html>>, acessado em janeiro de 2017.

GOMES, J. P. P.; VIEIRA, M. M. F. **O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002.** Rap — rio de Janeiro, v. 43, n. 2, p. 295-321, 2009, disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rap/v43n2/v43n2a02>>, acessado em outubro de 2016.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T. **“Energias renováveis: Um futuro sustentável”**, Revista USP, São Paulo, n.72, p.6-15, 2007.

GUPTA, R.B.; DEMIRBAS, A. **“Gasoline, Diesel, and Ethanol Biofuels from Grasses and Plants”**, ISBN 978-0-521-76399-8, 2010, disponível em <<http://f3.tiera.ru/1/genesis/580584/583000/05bb764e7c9e1bdbd64cdfa57ca931ef>>, acessado em setembro de 2016.

IEA. **Technology Roadmap - Solar Thermal Electricity - 2014 Edition**, 2014.

Disponível em:

<[http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarThermalElectricity\\_2014edition.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarThermalElectricity_2014edition.pdf)>

IEA. **Trends 2015 in Photovoltaic Applications - 2015 Edition**, 2015. Disponível em : <[http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/national/IEA-PVPS\\_-\\_Trends\\_2015\\_-\\_MedRes.pdf](http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/national/IEA-PVPS_-_Trends_2015_-_MedRes.pdf)>, acessado em janeiro de 2017.

INSTITUTO DE ECONOMIA ENERGÉTICA (1987a), Política Energética, XVII Curso **Latinoamericano de Economía y Planificación Energética**, Bariloche, IDEE/Fundación Bariloche.

INSTITUTO DE ECONOMIA ENERGÉTICA (1987b), **Lecturas sobre proceso de planeamiento energético**, XVII Curso Latinoamericano de Economía y Planificación Energética, Bariloche. IDEE/Fundación Bariloche.

IPARDES, **Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social**.

“Anuário Estatístico do Estado do Paraná – 2010 - Infraestrutura - 2.1- Energia - 2.1.1 Consumo e número de consumidores de energia elétrica, segundo categorias e os municípios do Paraná - 2010”. Disponível em <[http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario\\_2010/index.html](http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2010/index.html)>, acessado em setembro de 2016.

IPARDES, **Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social**.

“Anuário Estatístico do Estado do Paraná – 2014 - Infraestrutura - 2.1- Energia - 2.1.1 Consumo e número de consumidores de energia elétrica, segundo categorias e os municípios do Paraná - 2014”. Disponível em <[http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario\\_2014/index.html](http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2014/index.html)> , acessado em setembro de 2016.

IPARDES, **Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social**.

“Anuário Estatístico do Estado do Paraná – 2015 - Infraestrutura - 2.1- Energia - 2.1.1 Consumo e número de consumidores de energia elétrica, segundo categorias e os municípios do Paraná - 2015”. Disponível em <[http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario\\_2015/index.html](http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2015/index.html)>, acessado em janeiro de 2017

KANAGAWA, M.; NAKATA, T. **Analysis of the energy access improvement and its socio-economic impacts in rural areas of developing countries**. Ecological Economics, v. 62, n. 2, p. 319-329, 2007, disponível em [https://www.researchgate.net/profile/Toshihiko\\_Nakata2/publication/223752382\\_Analysis\\_of\\_the\\_energy\\_access\\_improvement\\_and\\_its\\_socio-economic\\_impacts\\_in\\_rural\\_areas\\_of\\_developing\\_countries/links/0deec53c5eab79285b000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Toshihiko_Nakata2/publication/223752382_Analysis_of_the_energy_access_improvement_and_its_socio-economic_impacts_in_rural_areas_of_developing_countries/links/0deec53c5eab79285b000000.pdf), acessado em setembro de 2016.

MANRIQUE, A. K. R. **Diretrizes para a Sustentabilidade de uma Minirrede de Sistemas Solares Fotovoltaicos em uma Região Isolada da Colômbia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2015;

MME, (Ministério de Minas e Energias). **Balanco Energético Nacional 2012: Ano Base 2011**, Ano 2012. Disponível em [https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2012\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2012_Web.pdf)

MME, (Ministério de Minas e Energias). **Balanco Energético Nacional 2013: Ano Base 2012**, 2013. Disponível em [https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2013\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2013_Web.pdf)

MME, (Ministério de Minas e Energias). **Balanco Energético Nacional 2014: Ano base 2013 - Relatório Síntese**, 2014. Disponível em [https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2014\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2014_Web.pdf)

MME, (Ministério de Minas e Energias). **Balanco Energético Nacional 2015: Ano base 2014 - Relatório Síntese**, Ano 2015, disponível em [https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2015\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2015_Web.pdf)

MME, (Ministério de Minas e Energias). **Balanco Energético Nacional 2016: Ano base 2015 - Relatório Síntese**, Ano 2016, disponível em

<[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2016\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2016_Web.pdf)> 2016a, acessado em setembro de 2016.

MME, (Ministério de Minas e Energias). “**Séries Históricas Completas**”, 2016b, disponível em <<https://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompletas.aspx>>, acessado em setembro de 2016.

MME, (Ministério de Minas e Energias). “**Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**”, 2017, disponível em <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/4475726/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Janeiro-2017.pdf/18c00330-e3d9-4534-a9f1-73af3e989604>>, acessado em 28/03/2017.

MORAES, L. C. L.; GAIO, J. N.; TIEPOLO, G.; URBANETZ Jr, J.; PEREIRA, Ênio B.; PEREIRA, Sílvia V.; ALVES, A. R. “**Contribuição Da Fonte Solar Fotovoltaica Na Matriz Elétrica Do Estado Do Paraná No Horizonte 2050**”, apresentado no CIEI&EXPO 2016 – Smart Energy, Conferência Internacional de Energias Inteligentes. Curitiba, 2016.

ONS, Operador Nacional do Sistema. “**O que é o SIN - Sistema Interligado Nacional**”, 2017, disponível em <[http://www.ons.org.br/conheca\\_sistema/o\\_que\\_e\\_sin.aspx](http://www.ons.org.br/conheca_sistema/o_que_e_sin.aspx)>, acessado em março de 2017.

PORTAL BRASIL, “**COP-22 inicia regulamentação do Acordo de Paris**”, 2016, disponível em <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2016/11/cop-22-inicia-regulamentacao-do-acordo-de-paris>>, acessado em março de 2017.

RADOVIC, L. R. “**Energy and Fuels in Society**”, disponível em <<http://www.ems.psu.edu/~radovic/fundamentals.html>>, acessado em janeiro de 2017.

REN21. **Renewable 2010 – Global Status Report, 2010**, disponível em <[www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx](http://www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx)>, acessado em setembro de 2016.

REN21. **Renewable 2011 – Global Status Report, 2011**, disponível em <[www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx](http://www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx)>, acessado em setembro de 2016.

REN21. **Renewable 2012 – Global Status Report, 2012**, disponível em <[www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx](http://www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx)> acessado em setembro de 2016.

REN21. **Renewable 2013 – Global Status Report, 2013**, disponível em <[www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx](http://www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx)>, acessado em setembro de 2016.

REN21. **Renewable 2014 – Global Status Report, 2014**, disponível em <<http://www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx>>, acessado em setembro de 2016.

REN21. **Renewable 2015 – Global Status Report, 2015**, disponível em <[http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015\\_Onlinebook\\_low1.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015_Onlinebook_low1.pdf)>, acessado em setembro de 2016.

SALAMONI, Isabel T. **Um programa residencial de telhados solares para o Brasil: diretrizes de políticas públicas para a inserção da geração fotovoltaica conectada à rede elétrica**. 2009. 186 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis-SC, 2009.

SIMIONI, C. A. **O uso de energia renovável sustentável na matriz energética brasileira: obstáculos para o planejamento e ampliação de políticas sustentáveis**. 2006.

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A. **A demanda por energia elétrica no Brasil**. *Revista brasileira de economia*, v. 58, n. 1, p. 68-98, 2004.

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A. **Estimações e previsões da demanda por energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Secretaria de Acompanhamento Econômico do Ministério da Fazenda, 2002.

SÓRIA, A. F. S.; FILIPINI, F. A. **Eficiência Energética**, Base Editora, Curitiba, ISBN 978-85-7905-563-8, 2010.

SOUZA, S. N. M., SORDI, A., OLIVA, C.A., “**Potencial de energia primária de resíduos vegetais no Paraná**” – 4º Encontro de Energia no Meio Rural, Campinas, 2002, disponível em [http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000022002000200042&lng=en&nrm=iso](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000200042&lng=en&nrm=iso), acessado em: 15 Março de 2017.

TIEPOLO, G.; CASTAGNA, A. G.; CANCEGLIERI, O.; BETINI, R. C. **Fontes Renováveis de Energia e a Influência no Planejamento Energético Emergente no Brasil**, VIII CBPE – Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2012;

TIEPOLO, G.; CANCEGLIERI, O.; URBANETZ Jr, J.; VIANA, T. “**Photovoltaic Generation Potential of Paraná State, Brazil – a Comparative Analysis with European Countries**”, Apresentado no ISES Solar World Congress 2013, Cancún, México, Publicado no Energy Procedia, Volume 57, 2014, pages 725-734, 2014a;

TIEPOLO, G.; CANCEGLIERI, O.; URBANETZ Jr, J.; VIANA, T.; PEREIRA, E. B. “**Comparação entre o potencial de geração fotovoltaica no estado do Paraná com Alemanha, Itália e Espanha**”, V Congresso Brasileiro de Energia Solar – V CBENS, Recife, 2014b;

TIEPOLO, G. M.; CANCEGLIERI JR, O.; URBANETZ JR, J. **Estudo do Potencial de Participação das Fontes Renováveis de Energia na Matriz Elétrica do Estado do Paraná**, CBPE, Florianópolis, 2014c;

TIEPOLO, G. M., CANCEGLIERI JR, O., URBANETZ JR, J. **Comparação do Potencial Fotovoltaico do Estado do Paraná com Alemanha, Espanha e Itália – Valores Revisados e Atualizados**, SODEBRAS, ISSN – 1809-3957, p. 127, Salvador, agosto, 2015.

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

TIEPOLO, G. M., URBANETZ JR, J., PEREIRA, E. B., PEREIRA, S. V., ALVES, A. R. **Potencial de Geração de Energia Elétrica Através de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede no Estado do Paraná – Resultados Parciais.** CBENS, Belo Horizonte, 2016;

TOLMASQUIM, M. T. **Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 247-260, 2012.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica** – EPE: Rio de Janeiro, 2016

URBANETZ JR, J., CASAGRANDE JR, E. F., TIEPOLO, G. M. **Análise do Desempenho de Dois Anos de Operação do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica do Escritório Verde da UTFPR**, CBENS, Recife, 2014a, acessado em outubro de 2016.

URBANETZ JR, J., CHINVELSKI, T., SIMÃO, C. A. F., MAKISHI, L. M. M. **Primeiro Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica Homologado pela COPEL**, CBENS, Recife, 2014b, acessado em outubro de 2016.

URBANETZ Jr, J. **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 de doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, 2010.