

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CÂMPUS CURITIBA

ENGENHARIA ELÉTRICA

ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

ARILEIDE CRISTINA ALVES

RENATA LAUTERT YANG

**ESTUDO DA COMPLEMENTARIEDADE DA MATRIZ ELÉTRICA
BRASILEIRA PELO ESTADO DO PARANÁ ATRAVÉS DA FONTE
SOLAR FOTOVOLTAICA NO HORIZONTE 2050**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2017

ARILEIDE CRISTINA ALVES
RENATA LAUTERT YANG

**ESTUDO DA COMPLEMENTARIEDADE DA MATRIZ ELÉTRICA
BRASILEIRA PELO ESTADO DO PARANÁ ATRAVÉS DA FONTE
SOLAR FOTOVOLTAICA NO HORIZONTE 2050**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Eletricista e Engenheira de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Máximo Tiepolo

CURITIBA
2017

ARILEIDE CRISTINA ALVES
RENATA LAUTERT YANG

Estudo da Complementariedade da Matriz Elétrica Brasileira pelo Estado do Paraná Através da Fonte Solar Fotovoltaica no Horizonte 2050

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

Curitiba, 29 de junho de 2017.

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

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

ORIENTAÇÃO

Gerson Máximo Tiepolo, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Gerson Máximo Tiepolo, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jair Urbanetz Jr., Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jorge Assade Leludak, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

AGRADECIMENTOS

Agradecemos as valiosas sugestões da banca examinadora, o Professor Doutor Jair Urbanetz Jr. e o Professor Doutor Jorge Assade Leludak, que enriqueceram as conclusões do trabalho. Em especial, à dedicada, gentil e constante orientação do Professor Doutor Gerson Máximo Tiepolo, desde a concepção das ideias até a concretização deste.

RESUMO

ALVES, Arileide Cristina; YANG, Renata Lautert. **Estudo da complementariedade da matriz elétrica brasileira pelo estado do Paraná através da fonte solar fotovoltaica no horizonte 2050**. 2017. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Elétrica / Controle e Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

A energia é essencial para as atividades humanas, e considerando-se a prospecção de que a demanda por energia aumente, é necessário realizar estudos de novas soluções técnicas para viabilizar a utilização das fontes disponíveis, mitigando problemas ambientais e garantindo atendimento satisfatório para a sociedade. Uma maior participação das fontes de energia renováveis na matriz elétrica tem sido incentivada em nível mundial, e uma série de políticas públicas vêm sendo adotadas por diferentes países a fim de se buscar maior segurança energética e sustentabilidade. Neste contexto, a energia solar fotovoltaica desempenha, potencialmente, um papel importante na evolução da participação de fontes alternativas na matriz energética mundial, visto sua abundância e ampla disponibilidade na superfície terrestre. Este trabalho propõe uma metodologia para modelar um cenário que estima o consumo de energia elétrica em 2050 no Estado do Paraná, e de que forma pode contribuir para a complementariedade da matriz elétrica brasileira. Além disso, indica, com base em fatores de decisão claros e pré-especificados, qual deve ser o local ótimo para possível implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Paraná para atender a esta demanda.

Palavras-chave: Consumo de energia 2050. Complementariedade. Planejamento energético. Energia solar fotovoltaica. Mesorregiões do Paraná.

ABSTRACT

ALVES, Arileide Cristina; YANG, Renata Lautert. **Study on the complementarity in the brazilian electric supply by Parana through the photovoltaic solar source on the horizon 2050.** 2017. 51f. Final dissertation – Bachelor Degree Electrical Engineering / Control and Automation. Federal Technological University of Parana, Curitiba, 2017.

Energy is essential for human activities, and considering the prospect that the demand for energy increases, it is necessary to conduct studies of new technical solutions to make feasible the use of available sources, mitigating environmental problems and ensuring satisfactory service to society. Greater participation of renewable energy sources in the electric supply has been stimulated worldwide, and a number of public policies are being adopted by different countries in order to seek greater energy security and sustainability. In this context, photovoltaic solar energy potentially plays an important role in the evolution of the participation of alternative sources in the world energy matrix, since its abundance and wide availability on the terrestrial surface. This work proposes a methodology to model a scenario that projects the consumption of electric power in 2050 in the State of Paraná, and how it can contribute to the complementarity of the Brazilian electric matrix. In addition, it indicates, based on clear and pre-specified decision factors, what should be the optimal location for the possible implantation of grid-connected photovoltaic systems in Paraná to meet this demand.

Keywords: Energy consumption 2050. Complementarity. Energy planning. Photovoltaic solar energy. Mesoregions of Paraná.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo total de energia elétrica no Brasil em TWh/ano, no período 2013-2050...	3
Figura 2 - Previsão global da participação de fontes renováveis na geração de energia.....	4
Figura 3 – Mapa Fotovoltaico Brasileiro – Total anual.....	6
Figura 4 – Variação do PIB e do consumo de energia no Brasil.....	9
Figura 5 - Fluxo energético brasileiro 2016 (ano base 2015), considerando 1 tep = 11,63 x 10 ³ kWh	17
Figura 6 - Evolução da participação das fontes na demanda total de energia até o ano de 2050	18
Figura 7 - Oferta interna de energia elétrica no Brasil por fonte em porcentagem	19
Figura 8 - Evolução da capacidade instalada por fonte de geração.....	19
Figura 9 - Variação percentual da geração elétrica entre 2014 e 2015.....	20
Figura 10 - Diferentes formas de radiação solar.....	22
Figura 11 - Mapa mundial de irradiação solar.....	23
Figura 12 - Irradiância ao longo do dia no Escritório Verde.....	24
Figura 13 - Mapas fotovoltaicos do estado do Paraná – Média diária sazonal plano inclinado	24
Figura 14 - Painel, módulo e célula fotovoltaica.....	26
Figura 15 - Curva I-V (Corrente em função da tensão).....	27
Figura 16 - Componentes de um SFVI.....	27
Figura 17 - Esquematização de um SFVCR.....	28
Figura 18– As mesorregiões do Estado do Paraná	31
Figura 19– Gráfico de Dispersão e linha de tendência	34
Figura 20 – Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Centro Ocidental	42
Figura 21 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Centro Ocidental em 2010 e projeção para 2050	42
Figura 22 – Potencial de complementariedade fotovoltaica das mesorregiões do Paraná	44
Figura 23 - Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Centro Oriental	57
Figura 24 – Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Centro Oriental sem o município de Ponta Grossa.....	57
Figura 25 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Centro Oriental em 2010 e projeção para 2050	58

Figura 26 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Centro Oriental em 2010 e projeção para 2050, sem os municípios de Ponta Grossa e Telêmaco Borba	58
Figura 27 – Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Centro Sul	60
Figura 28 – Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Centro Sul, sem Guarapuava e Palmas.....	60
Figura 29 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Centro Sul em 2010 e projeção para 2050	61
Figura 30 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Centro Sul em 2010 e projeção para 2050, sem os municípios de Guarapuava, Palmas e Quedas do Iguaçu	61
Figura 31 – Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Metropolitana.....	63
Figura 32 - Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Metropolitana, sem Curitiba e São José dos Pinhais	64
Figura 33 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Metropolitana em 2010 e projeção para 2050	64
Figura 34 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Metropolitana em 2010 e projeção para 2050 sem Curitiba e São José dos Pinhais.....	65
Figura 35 - Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Sudeste Paranaense..	74
Figura 36 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Sudeste Paranaense em 2010 e projeção para 2050.....	74
Figura 37 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Sudeste Paranaense em 2010 e projeção para 2050, sem o município de Mallet.....	75
Figura 38 – Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Sudoeste Paranaense	77
Figura 39 - Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Sudoeste Paranaense, sem os municípios de Dois Vizinhos, Francisco Beltrão, Pato Branco.....	77
Figura 40 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Sudoeste Paranaense em 2010 e projeção para 2050.....	78
Figura 41 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Sudoeste Paranaense em 2010 e projeção para 2050, sem os municípios de Dois Vizinhos, Francisco Beltrão, Pato Branco, São João.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Participação das fontes na geração de energia elétrica.....	5
Tabela 2 – Geração elétrica em GWh nos anos de 2015 e 2014	20
Tabela 3 – As 10 mesorregiões do Estado do Paraná.....	31
Tabela 4– Variáveis independentes (xi) e dependentes (yi)	34
Tabela 5 – Ajuste de duas retas no diagrama de dispersão	36
Tabela 6 – Análise da variação dos coeficientes da FO	39
Tabela 7– Dados da mesorregião Centro Ocidental	41
Tabela 8 – Resultados da Função Objetivo por mesorregião	43
Tabela 9 – Produtividade média e Potência FV para as mesorregiões	45
Tabela 10 – Dados da mesorregião Centro Oriental.....	56
Tabela 11 - Dados da mesorregião Centro Sul	59
Tabela 12 - Dados da mesorregião Metropolitana de Curitiba.....	62
Tabela 13 - Dados da mesorregião Noroeste Paranaense	65
Tabela 14 - Dados da mesorregião Norte Central	67
Tabela 15 - Dados da mesorregião Norte Pioneiro.....	69
Tabela 16 - Dados da mesorregião Oeste Paranaense	71
Tabela 17 - Dados da mesorregião Sudeste Paranaense.....	73
Tabela 18 - Dados da mesorregião Sudoeste Paranaense.....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN – Balanço Energético Nacional

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FO – Função Objetivo

GWh – Giga Watt Hora

GWp – Giga Watt Pico

IDHM – Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social

ISM – Irradiação Solar Média

kWh – Kilo Watt Hora

kWp – Kilo Watt Pico

MME – Ministério de Minas e Energia

MWh – Mega Watt Hora

PE – Planejamento Energético

PIB – Produto Interno Bruto

PR – Paraná

SFVCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica

SFVI – Sistema Fotovoltaico Isolado

SIN – Sistema Interligado Nacional

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

TWh – Tera Watt Hora

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 TEMA	8
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	8
1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS	8
1.4 OBJETIVOS	10
1.4.1 Objetivo geral.....	10
1.4.2 Objetivos específicos.....	10
1.5 JUSTIFICATIVA	10
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 ENERGIA	13
2.2 PLANEJAMENTO ENERGÉTICO	15
2.3 ENERGIA SOLAR.....	22
2.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	25
2.5 POTENCIAL FOTOVOLTAICO DO ESTADO DO PARANÁ.....	28
3. METODOLOGIA	30
3.1 MESORREGIÕES DO PARANÁ.....	30
3.2 AJUSTE DE CURVAS.....	33
3.3 FUNÇÃO OBJETIVO E POTENCIAL FOTOVOLTAICO	37
4. RESULTADOS.....	40
REFERÊNCIAS.....	49
APÊNDICE A.....	56

1. INTRODUÇÃO

A noção de sustentabilidade tem duas origens. A primeira, em Biologia, na subárea Ecologia, refere-se à característica ou condição de determinado processo ou sistema que permita sua permanência, por determinado prazo. Isto pode ser exemplificado pela capacidade de recuperação e reprodução dos ecossistemas em face de agressões antrópicas ou naturais (LOUREIRO, 2012).

A segunda, na Economia, como adjetivo do desenvolvimento, em face da percepção crescente ao longo do século XX de que o padrão de produção em relação ao consumo, em expansão no mundo, sobretudo no último quarto desse século, não tem possibilidade de perdurar (NASCIMENTO, 2012).

O sociólogo John Elkington, criou nos anos 90, um modelo para o qual o conceito de sustentabilidade estabelece três variáveis, que devem ser desenvolvidas e levadas em consideração concomitantemente. Deve haver integração entre as dimensões econômica, humana e ambiental, ou seja, o propósito da sustentabilidade deve se prestar ao atendimento de forma equilibrada às pessoas, ao planeta e ao lucro. Nesse modelo, as organizações devem ser responsáveis em mensurar o que geram e o que destroem, nas dimensões econômica, social e ambiental (SUSTAINABILITY, 2008) (ELKINGTON, 1999).

Segundo Scott (2002), existem mais de 300 definições distintas para o termo ‘sustentabilidade’. Não se pretende aqui discuti-las, uma vez que, de tão genérica e abrangente, a tarefa se tornaria inviável. O objetivo é destacar que a ideia de sustentabilidade ganha corpo e expressão política quando na adjetivação do termo desenvolvimento, sendo, basicamente, fruto da percepção de uma crise ambiental global. Além disso, ressaltar que sustentabilidade é um conceito sistêmico e que exige correlação contínua de interesses econômicos, humanos e ambientais.

Nesse contexto, uma das possíveis interpretações de sustentabilidade, pode ser a percepção da finitude dos recursos naturais e sua gradativa e perigosa depleção, o que, sem dúvidas, exige prestar atenção em como conciliar a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento econômico. Essa intenção é comumente denominada “Desenvolvimento Sustentável” (BOZA *et al.*, 2011).

A definição clássica mais próxima do consenso oficial de Desenvolvimento Sustentável, ainda que sendo objeto de grande debate mundial é: “Desenvolvimento Sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras em satisfazer suas próprias necessidades” (LENZI, 2006), (IPIRANGA *et al.*,

2011). A expressão foi usada pela primeira vez em 1987 pela ex-primeira ministra norueguesa Gro Brundtland. Na época ela era presidente de uma comissão da Organização das Nações Unidas (ONU) e publicou um livreto intitulado *Our Common Future* (Nosso Futuro Comum), onde relacionava progresso e meio ambiente.

Tanto a expressão quanto sua definição tornaram-se popularizadas e inseridas em agenda política a partir de 1987, com a divulgação do *Relatório Brundtland*. Esse relatório não apresenta um modo de operacionalizar o conceito de Desenvolvimento Sustentável. Suas linhas mestras revelam um contrato entre gerações, ressaltando que o progresso econômico e social não podem se fundamentar na exploração indiscriminada e devastadora da natureza (UNITED NATIONS, 1987). Porém, está claro que, crescimento significa sempre e inegavelmente, alguma forma de degradação do meio ambiente e de perda física (SOLO e GEORGESCU-ROEGEN, 1974).

Dentro deste aspecto, pode-se considerar o desenvolvimento econômico e social da humanidade como sendo resultado direto do aumento da intensidade na utilização de energia, tenha essa natureza muscular (humana e animal), de água, vento, termais, biomassa ou combustíveis fósseis (VARGAS, 1996). Corroborando com isso, Goldemberg (2010), cita que o caminho para um desenvolvimento sustentável exige utilização mais eficiente da energia nos transportes, nos processos produtivos e nas construções, crescendo-se ampliação da utilização de energias renováveis.

Nesse contexto, sendo a energia essencial para as atividades humanas, e considerando-se a prospecção de que a demanda por energia aumente, faz-se necessário o desenvolvimento de novas soluções técnicas para viabilizar a utilização das fontes disponíveis, a fim de mitigar problemas ambientais e garantir atendimento satisfatório para a sociedade. De acordo com estudo do MME relativo à demanda de energia no Brasil no período 2013-2050, haverá aumento significativo no consumo de energia, conforme apresentado na Figura 1.

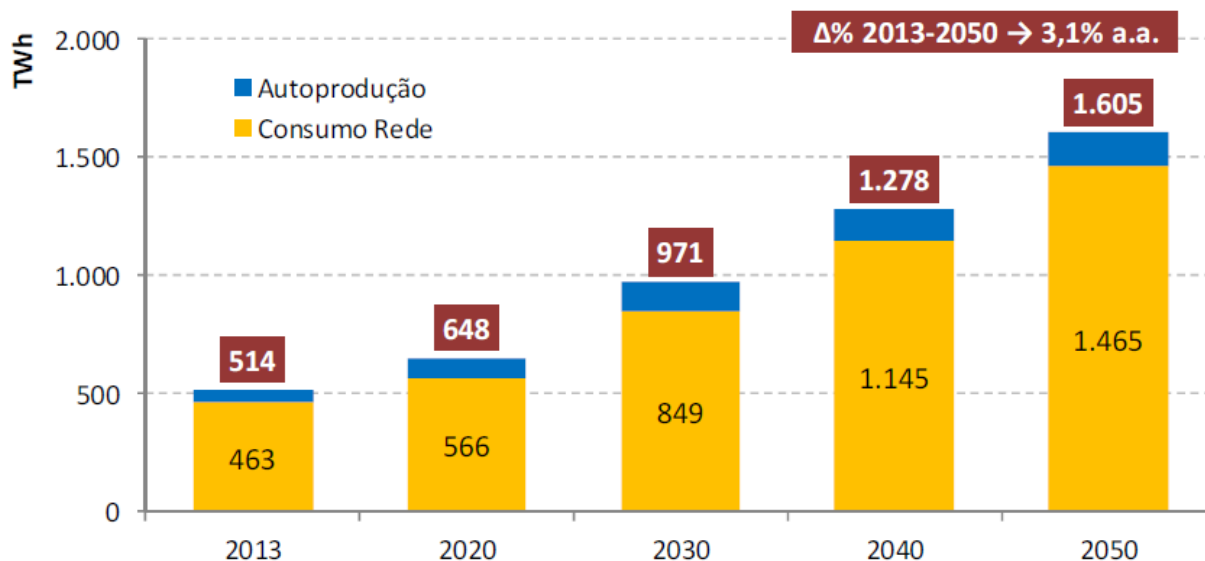


Figura 1 - Consumo total de energia elétrica no Brasil em TWh/ano, no período 2013-2050
Fonte: EPE (2016).

Observando-se a Figura 1, pode-se notar que o consumo da energia elétrica da rede terá um aumento de 216%, indo de 463 TWh em 2013, para 1.465 TWh em 2050. Percebe-se ainda, que a autoprodução de energia elétrica compreenderá um acréscimo de 180%, indo de 50 TWh em 2013 para 140 TWh em 2050.

No que diz respeito à produção de energia elétrica no Brasil, o estado do Paraná é um dos maiores produtores através de fonte hídrica, devido à grande bacia hidrográfica existente (TIEPOLO, 2015).

Porém, dificuldades quanto à exploração do potencial hídrico, sejam de natureza política e/ou ambiental, impulsionam a análise e aplicação de outras fontes de energia. Além disso, a dificuldade de expansão de fontes que utilizam combustíveis fósseis em função dos gases causadores do efeito estufa e conseqüentemente do aquecimento global, e da demanda crescente de energia elétrica, causarão aumento na utilização das fontes renováveis de energia. A Figura 2 ilustra a participação de diferentes fontes na matriz elétrica mundial até o ano 2100, e mostra em destaque o avanço previsto dos sistemas fotovoltaicos, cuja participação é estimada em 64%.

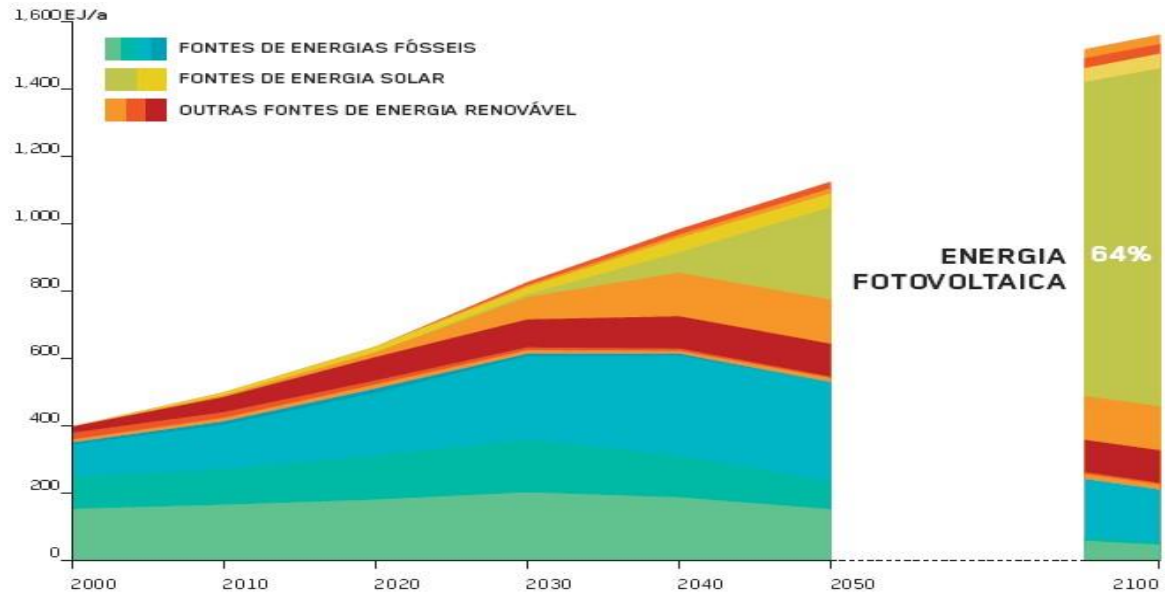


Figura 2 - Previsão global da participação de fontes renováveis na geração de energia elétrica no horizonte 2100
Fonte: Sapa Solar (2014).

Uma maior participação das fontes de energia renováveis na matriz elétrica tem sido incentivada em nível mundial, e uma série de políticas públicas vêm sendo adotadas por diferentes países a fim de se buscar maior segurança energética de forma sustentável. Neste contexto, a energia solar fotovoltaica desempenha, potencialmente, um papel importante na evolução da participação de fontes alternativas na matriz energética mundial, visto sua abundância e ampla disponibilidade na superfície terrestre.

Diante do exposto, faz-se necessário analisar as condições no Brasil, a fim de realizar uma prospecção e estudo nesta área. Conforme publicado pelo MME (2015), a oferta interna de energia elétrica qualitativa e quantitativamente possui variedade, como evidencia a Tabela 1.

Tabela 1 – Participação das fontes na geração de energia elétrica

ESPECIFICAÇÃO	GWh		15/14 %	Estrutura (%)	
	2014	2015		2014	2015
HIDRO	373.439	359.743	-3,7	59,8	58,4
BAGAÇO DE CANA	32.303	34.163	5,8	5,2	5,5
EÓLICA	12.210	21.626	77,1	2,0	3,5
SOLAR	16	59	266,4	0,003	0,010
OUTRAS RENOVÁVEIS	13.879	14.864	7,1	2,2	2,4
ÓLEO	31.668	25.662	-19,0	5,1	4,2
GÁS NATURAL	81.075	79.490	-2,0	13,0	12,9
CARVÃO	18.385	19.096	3,9	2,9	3,1
NUCLEAR	15.378	14.734	-4,2	2,5	2,4
OUTRAS NÃO-RENOVÁVEIS	12.125	12.049	-0,6	1,9	2,0
IMPORTAÇÃO	33.775	34.422	1,9	5,4	5,6
TOTAL	624.254	615.908	-1,3	100,0	100,0
<i>Dos quais renováveis</i>	<i>465.623</i>	<i>464.877</i>	<i>-0,2</i>	<i>74,6</i>	<i>75,5</i>

Notas: (a) inclui 52,7 TWh de autoprodutor cativo em 2015 (que não usa a rede básica); (b) Gás industrial inclui gás de alto forno, gás siderúrgico, gás de coqueria, gás de processo, gás de refinaria, enxofre e alcatrão

Fonte: MME (2016).

Entretanto, a energia solar encontra-se entre as fontes menos utilizadas, apesar de seu elevado potencial. Assim, o investimento em energia fotovoltaica pode alavancar um trabalho de sucesso, no sentido de que este tipo de fonte pode atuar de forma mais expressiva na complementariedade e atendimento à demanda de forma distribuída.

Em prol do investimento em energia solar fotovoltaica no Brasil, pode-se alegar ainda que a radiação solar recebida no país anualmente é favorável, conforme mostra a Figura 3. É possível perceber neste mapa que o estado do Paraná encontra-se em um local de grande potencial para implantação desta fonte de energia, pois recebe elevada irradiação solar em grande parte de seu território.

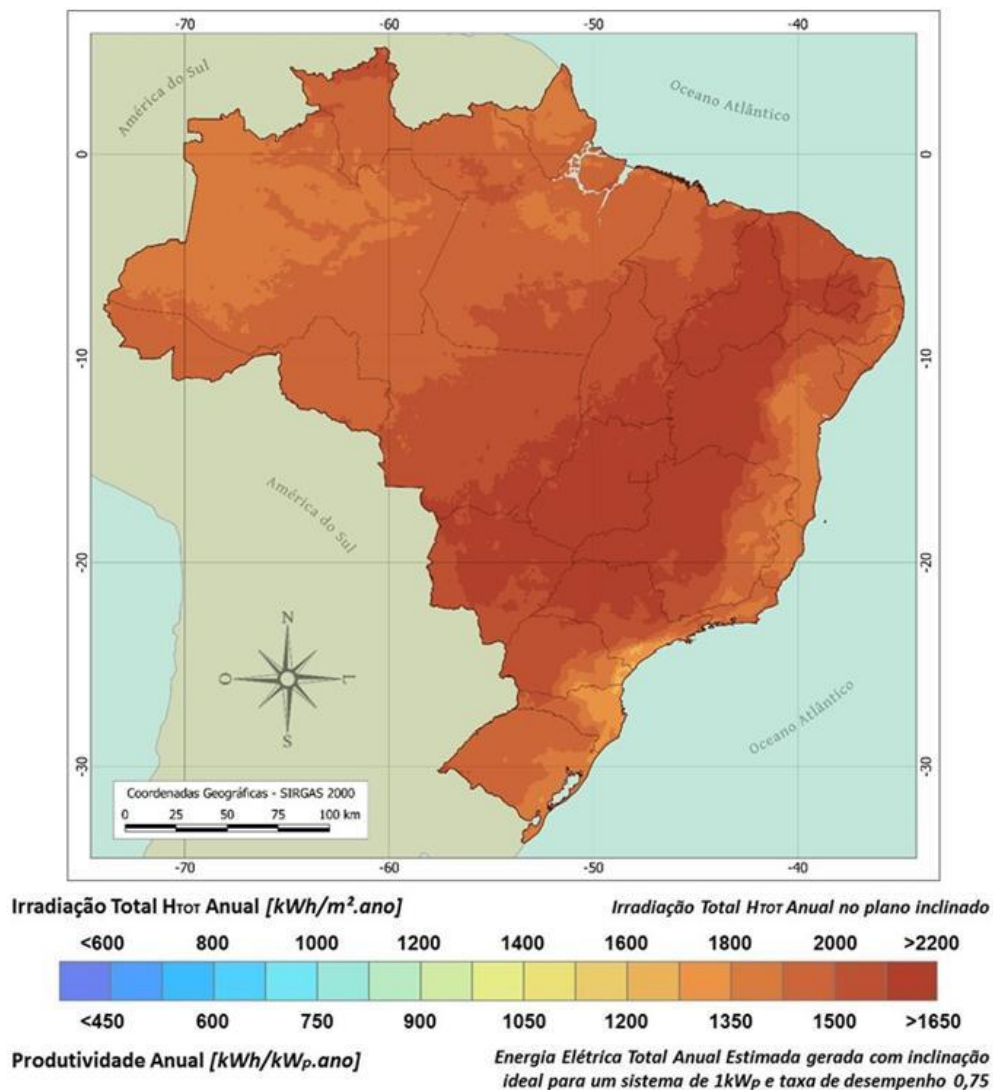


Figura 3 – Mapa Fotovoltaico Brasileiro – Total anual

Fonte: TIEPOLO (2015).

No que diz respeito à geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos pode-se afirmar que o Sistema Interligado Nacional (SIN) possui atualmente dois tipos de subsistemas geradores: a geração centralizada, composta por usinas de grande porte que normalmente ficam distantes dos centros consumidores e, a geração distribuída, onde a oferta é feita por meio de usinas de pequeno porte que se localizam nos consumidores ou próximos a estes. Existem sistemas de menor porte, os quais não são conectados ao SIN, como os sistemas isolados que ficam em regiões mais remotas do país, como exemplo, a região Norte do Brasil, onde não há possibilidade de conexão ao sistema nacional, devido à inviabilidade econômica imposta pela distância ou questões ambientais (ANEEL, 2008).

A geração centralizada evidencia uma clara vantagem por produzir energia em larga escala, onde sempre se reduz os custos por MWh, diminuindo também o valor que o consumidor final paga pelo seu consumo mensal (NAKABAYASHI, 2015). Porém, há sempre necessidade de grandes linhas de transmissão, aquisição de grandes áreas para sua construção e claro, os riscos, impactos ambientais e sociais que todas as grandes construções trazem à população local.

Para a geração distribuída, o custo é aumentado visto à menor escala, porém não há normalmente necessidade de linhas de transmissão adicionais as existentes para o transporte de energia, o que pode reduzir perdas significativas.

De acordo com Pinho e Galdino (2014), os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em três configurações principais: isolados ou conectados à rede. A utilização de uma ou outra categoria irá depender de uma série de fatores, como: disponibilidade de recursos energéticos, custo de manutenção, investimento inicial, área demandada entre outros aspectos. Os Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFVI), também conhecidos como autônomos, são frequentemente utilizados em locais não atendidos pela rede elétrica, logo, este tipo de sistema possui vasta empregabilidade, sendo instalados em diversos locais, como: residências em zonas rurais, áreas de *camping*, ilhas, sinalização de estradas, na alimentação de sistemas de telecomunicações e no carregamento de baterias de veículos elétricos. Quanto aos sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR), estes têm destacada vantagem devido à alta produtividade e ao fato de possuírem um inversor de frequência que desliga de forma automática o sistema, em caso de alguma falha na rede elétrica, evitando desta forma, o efeito do ilhamento (URBANETZ JR, 2010).

De acordo com Tiepolo *et al.* (2013), a geração de energia elétrica através da fonte solar fotovoltaica pode ser realizada por meio de usinas fotovoltaicas em parques específicos, ou através da geração distribuída, na qual os consumidores geram “parte ou toda energia utilizada para suprir as suas necessidades, sendo que a energia não utilizada e excedente pode ser entregue ao sistema elétrico”. A segunda forma de geração demonstra-se mais conveniente, a fim de evitar perdas na transmissão de energia. Ou seja, este conceito torna possível que a energia seja gerada onde será consumida, podendo ser instalada na cobertura da edificação ou na fachada (URBANETZ JR, 2010).

Considerando estes fatos relativos à demanda crescente de energia e a viabilidade da utilização da fonte fotovoltaica no Brasil, é importante planejar o setor energético a fim de “assegurar a continuidade do abastecimento de energia à sociedade ao menor custo, com o menor risco contra o desabastecimento, e com os menores impactos socioeconômicos e

ambientais” (TIEPOLO, 2012). Assim, o planejamento para a determinação da participação do estado do Paraná na complementação da matriz elétrica nacional através do sistema fotovoltaico mostra-se extremamente relevante no contexto atual.

1.1 TEMA

Estudo da complementariedade da matriz elétrica brasileira pelo Paraná, através da fonte solar fotovoltaica no horizonte 2050.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Modelar um cenário que projete, em termos de GW, quanto o Estado do Paraná, através de suas regiões, pode contribuir para complementariedade no suprimento da matriz elétrica brasileira no horizonte até 2050. Além disso, pretende-se indicar, com base em fatores de decisão claros e pré-especificados, quais devem ser os locais mais apropriados para possível implantação de sistemas fotovoltaicos para geração centralizada e distribuída no Paraná.

1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS

O consumo de energia é um dos principais indicadores do desenvolvimento econômico e do nível de qualidade de vida de qualquer sociedade. Essa inter-relação pode ser observada no gráfico apresentado na Figura 4, onde se observa que a expansão do poder econômico, relacionada ao Produto Interno Bruto (PIB), eleva o consumo de energia.

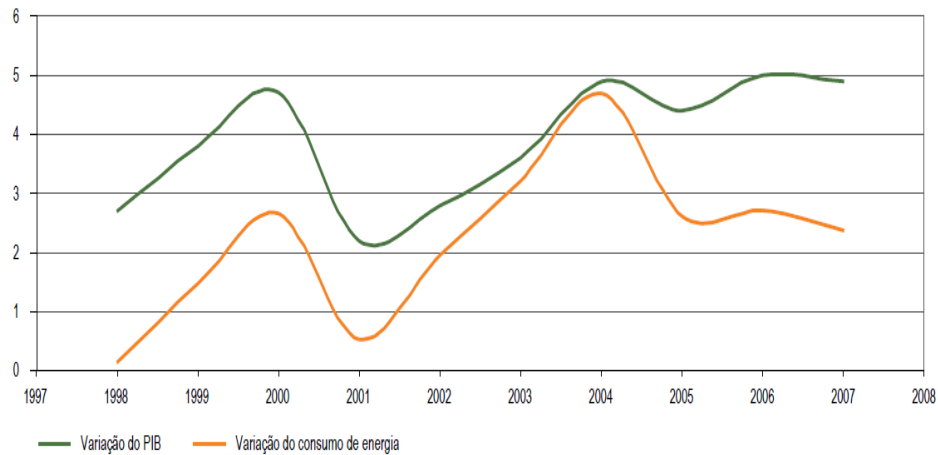


Figura 4 – Variação do PIB e do consumo de energia no Brasil
Fonte: IPEA (2008).

É fato que um dos maiores problemas mundiais com o qual se defronta a humanidade está na dificuldade de produzir/gerar energia elétrica, com principal intuito de fornecer níveis de conforto às suas populações (RIPPEL *et al.*, 2009). O interesse na oferta crescente em energia elétrica de diversas populações do mundo é uma realidade, resultante em grande parte da velocidade do desenvolvimento industrial.

Devido à demanda crescente de energia no país, segundo a previsão do Ministério de Minas e Energia do Brasil para 2050, ilustrada na Figura 1, o consumo de energia elétrica terá um aumento significativo, portanto é necessário que se faça um planejamento energético para determinar de que forma se irá atender ao suprimento da demanda prevista. Como alternativa de fonte de energia elétrica, a solar fotovoltaica tem se destacado de forma global como uma das fontes mais promissoras, portanto a análise de como essa energia poderá contribuir na geração de energia elétrica no estado do Paraná e no Brasil futuramente é relevante. Desta forma, a pergunta a ser respondida é: “De quanto poderá ser a participação do estado do Paraná na complementação da matriz elétrica nacional através de sistemas fotovoltaicos para o ano de 2050?”.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa é efetuar um estudo referente à complementariedade da matriz elétrica brasileira pelo estado do Paraná através de fonte solar fotovoltaica no horizonte de 2050.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estudar o potencial fotovoltaico no Brasil e no Paraná, coletando dados de energia gerada e consumida no estado do Paraná e no Brasil, e calcular a previsão de demanda no horizonte 2050.
- Estudar a viabilidade da adoção de energia fotovoltaica para complementar a demanda crescente no Paraná.
- Pesquisar a representatividade da energia fotovoltaica no estado do Paraná no cenário atual e prever sua utilização para o ano de 2050 com dados existentes a nível nacional.
- Indicar, com base em fatores de decisão claros e pré-especificados, quais devem ser os locais ótimos para possível implantação de sistemas fotovoltaicos de geração centralizada e distribuída no Paraná.

1.5 JUSTIFICATIVA

Ao analisar os dados disponibilizados pelo MME conforme mostrado na Figura 1, percebe-se um aumento significativo na demanda, ou seja, é preciso que ocorra um enorme aumento na geração de energia, em evidência as fontes renováveis não hídricas, com grande potencial de expansão para suprir a demanda.

No cenário brasileiro, segundo o Balanço Energético Nacional (2016), a representatividade de energias renováveis é de 75,5%, sendo que a geração hidráulica contribui com 64% de toda energia elétrica nacional. Entretanto, a fonte hidráulica não deverá crescer substancialmente para atender a demanda futura, fazendo com que investimentos em outras fontes de energia renovável sejam primordiais a fim de atender a demanda e de modo

sustentável. De acordo com Inatomi e Udaeta (2007), cada tipo de produção de energia possui impactos ambientais, como as termelétricas que geram gases aceleradores do efeito estufa e as hidrelétricas que ocasionam a mudança do fluxo do rio, destroem a vegetação, prejudicando a fauna. A energia solar fotovoltaica traz benefícios ambientais significantes em comparação com outras fontes de energia convencionais e, portanto, contribui com o desenvolvimento sustentável nas atividades humanas (TSOUTSOS *et al.*, 2005).

Em 17 de abril de 2012, a resolução da ANEEL 482, que regulamenta a micro e mini geração de energia elétrica, tornou factível para o consumidor brasileiro a utilização de SFVCR. Isso significa que, desde então, no Brasil é possível gerar a própria energia elétrica a partir de fontes renováveis, como a fotovoltaica, ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. A cogeração qualificada consiste na geração de energia elétrica a partir de uma fonte primária, atendendo os requisitos da resolução normativa da ANEEL para participar nas políticas de incentivo à cogeração.

Diversos benefícios podem advir de tal prática, tanto para o consumidor, como por exemplo, economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade, quanto para o sistema elétrico brasileiro, o que inclui o adiamento de investimentos em expansão nos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética (ANEEL, 2014).

No Brasil ainda não existe um número significativo de projetos relevantes empregando SFVCR, o que dificulta a análise de fatores que podem impactar no sistema elétrico (TIEPOLO, 2015).

Portanto, com o aumento da preocupação em torno do meio ambiente, no sentido de preservá-lo, ou seja, não incentivar práticas que aumentem a poluição, como a utilização de usinas movidas a combustível fóssil, serve como estímulo para o desenvolvimento do setor de energia solar no país. Essa é uma tarefa desafiadora e necessária, considerando-se a premissa de que o setor energético tem características de antecipação, com a finalidade de atendimento da sociedade, em condições adequadas. Diante deste contexto, o tema desse Trabalho de Conclusão de Curso aporta o Planejamento Elétrico Brasileiro, com ênfase no sistema fotovoltaico como complemento no auxílio ao suprimento da demanda de energia elétrica no País.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para cumprir a proposta deste TCC, a metodologia aplicada foi:

Etapa 1: Levantar dados quanto aos seguintes critérios relativos às regiões do Paraná:

- PIB;
- População;
- Irradiação Solar;
- Infraestrutura e viabilidade de transmissão e distribuição de energia elétrica disponíveis;
- Energia elétrica consumida no estado nos últimos anos, verificando qual a porcentagem em termos nacionais.

Etapa 2: Fazer a projeção linear do potencial de complementariedade do Paraná na matriz elétrica brasileira, utilizando a fonte fotovoltaica, tendo em vista a previsão de consumo elétrico brasileiro até 2050 pela EPE.

Etapa 3: Encontrar as regiões de intersecção no mapa do Paraná que atinjam os critérios de forma ótima para implantar sistemas de geração centralizada e distribuída.

Para cumprimento da primeira etapa, haverá levantamento de dados a ser realizado utilizando-se a base do Atlas Brasileiro de Energia Solar, o Mapa Fotovoltaico do Estado do Paraná, o Anuário Estatístico do IPARDES e o Balanço Energético Nacional (BEN) 2016.

Os critérios de infraestrutura, incluindo subestações e linhas de transmissão relacionam-se com a geração centralizada, pois a produção de uma usina necessita desta estrutura para alcançar os consumidores de energia elétrica. Enquanto os dados relativos à população e riqueza regional, conforme ilustrados na Figura 4, são diretamente proporcionais e remetem à geração distribuída, para suprir a alta demanda local com poucas perdas de energia na transmissão.

Por fim, os dados levantados serão minuciosamente analisados segundo seu grau de importância para cada tipo de geração de energia fotovoltaica com o intuito de apontar regiões propícias à implantação da geração distribuída e usina fotovoltaica. As informações obtidas indicarão a capacidade estimada de geração da energia elétrica fotovoltaica no estado para o ano de 2050, a fim de complementar a matriz elétrica brasileira.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre os tópicos que envolvem essa pesquisa, com o objetivo de delimitar o problema, apresentar uma ideia precisa sobre o estado atual dos conhecimentos e lacunas, bem como a contribuição da investigação proposta. São abordados os seguintes temas:

- Energia;
- Planejamento energético;
- Sistema fotovoltaico.

2.1 ENERGIA

O dicionário Aurélio (2009) define *energia* como uma forma de se exercer determinada força ou como a propriedade de um sistema que lhe permite realizar trabalho. A energia pode ser encontrada sob a forma cinética, elétrica, eletromagnética e mecânica. Além disso, pode ser transformada de uma forma em outra, mantendo-se o princípio da conservação, isto é, a energia não pode ser criada ou destruída, apenas transformada.

Em suma, *energia* pode ser entendida como a capacidade de realizar trabalho. As diversas formas de energia, ao apresentarem o controle e a aplicação adequados de seu potencial permitem ao homem suprir suas necessidades diárias (ANGUS, 1968).

Quanto à classificação, segundo a EPE (2005) a energia pode ser:

- a) **Primária:** encontra-se na natureza de forma direta, como exemplos aparecem a hidráulica, energias solar e eólica, petróleo, carvão mineral, gás natural, entre outros;
- b) **Secundária:** é proveniente da transformação ocorrida na energia primária. Para exemplificar, a eletricidade pode ser resultado da energia de uma hidrelétrica, enquanto a gasolina é originada a partir do petróleo;
- c) **Renovável:** aquela que não se esgota, ou seja, é repostada na natureza em um período de tempo relativamente curto, como a energia do vento, do sol, das marés e hídrica;
- d) **Não renovável:** ao contrário da renovável, pode ser utilizada apenas enquanto existirem seus recursos, como os combustíveis fósseis, cujo espaço de tempo para se recompor é demasiadamente longo, podendo levar milhares e até milhões de anos.

À medida em que iam sendo descobertas, as fontes de energia imprimiam novos rumos para a evolução da sociedade humana. Por exemplo, há cerca de seis mil anos, as energias

provindas da força muscular humana, complementada pela energia cinética de cursos de água, além da tração animal e da lenha, marcaram a civilização que povoou a Mesopotâmia (HÉMERY et al., 1993).

Há registros de que o emprego de cavalos e tração animal iniciou-se na Ucrânia, há mais de quatro mil anos. Isso tornou viável o transporte de alimentos e cargas para regiões distantes e, como resultado, profundas transformações econômicas e sociais se estenderam na direção da Europa Ocidental, na Idade do Cobre (ANTHONY, 1991).

Aportando ao século XVIII, na Alemanha, associa-se a tecnologia industrial à madeira, presente desde os processos de mineração e refino de metais, que dependiam de troncos, para suporte das galerias, e de carvão vegetal, para a redução dos minérios e geração de calor. A madeira era o combustível universal, além de ser o único material de construção que se oferecia como alternativa à pedra e à alvenaria, para as casas e obras públicas. Era, também, o material por excelência da construção naval. Na Alemanha, até fins do século XIX, a madeira era mais importante do que hoje são o aço, o carvão mineral ou que o petróleo (CARVALHO, 2014).

Obviamente, a relevância da madeira enquanto fonte de energia traria consequências drásticas relativas às reservas florestais e seu provável esgotamento. Na Inglaterra, no século XVIII, as florestas estavam sendo devastadas, principalmente em virtude da construção de navios para a armada. O carvão, no entanto, era abundante e barato, chegando mesmo a aflorar à superfície em determinadas regiões. Deste modo, essa fonte de energia sobressaiu-se à utilização da madeira.

Novamente, por se tratar de energia não renovável, as jazidas carboníferas foram se esgotando e a exploração atingiu o subsolo, em poços e minas frequentemente inundadas, que tornavam indispensável o bombeamento. Essa necessidade levou empreendedores ingleses e escoceses a empregar a máquina a vapor para o acionamento de bombas em minas de carvão.

As propriedades expansivas do ar aquecido começam a ser utilizadas para acionamento de mecanismos, o que deu origem à era das máquinas a vapor (BARGHINI, 1971). Ainda na era do vapor surge o carvão mineral empregado na combustão direta para sua produção, sendo considerado o primeiro combustível fóssil usado em larga escala e o início de uma nova era, caracterizada pela revolução industrial, com o surgimento do automóvel e a exploração do petróleo.

Paralelamente a isso, o domínio do fenômeno da eletricidade ampliou o número de usos finais de energia. A energia elétrica, que é uma forma de energia secundária, obtida a partir de diferentes fontes de energia primárias, entrega aos usuários finais energia através de extensas

redes de distribuição. Atualmente, a produção de eletricidade é responsável por aproximadamente um terço do consumo de energia primária mundial (WALTER, 2010).

É fácil ver que, na medida em que a utilização de fontes de energia primária tornava-se desafiadora pela escassez das mesmas, havia necessidade de substituição por novas fontes, mais eficientes ou, complementares destas. Essa continua sendo a dinâmica do sistema energético, cuja função básica e essencial para com a sociedade é gerar e prover a energia útil que toda atividade humana requer.

A forma de se gerar e consumir energia são determinantes à garantia da segurança do abastecimento atual e recursos para as gerações futuras. Todos os membros da sociedade são partes interessadas e interdependentes do sistema energético, pois são consumidores (demanda), assim como o governo tem uma influência em decisões sobre muitas das variáveis críticas do sistema, como precificação e qualidade de energia fornecida. Está claro que o sistema energético é um sistema social, que envolve indivíduos e instituições. Além disso, é dinâmico e sujeito a incertezas.

Atualmente, a energia vem sendo considerada como um bem básico, que integra o homem ao desenvolvimento, promovendo oportunidades e alternativas variadas para indivíduos e comunidades. Sem energia, a economia de uma região fica comprometida, além de afetar o acesso adequado a serviços essenciais, como educação, saneamento e saúde, diminuindo a qualidade de vida (REIS, 2003).

Dentre as formas de energia, de acordo com EPE (2005), a energia elétrica, que provém do movimento de elétrons no átomo, é amplamente utilizada por apresentar alto rendimento e pela facilidade de se transformar em outro tipo de energia. Estes fatos levam a um consumo diversificado e a faz presente no cotidiano, como por exemplo, no uso residencial em eletrodomésticos.

2.2 PLANEJAMENTO ENERGÉTICO

É fato que as matrizes energéticas precisam, de tempos em tempos, serem ajustadas, de acordo com necessidades e restrições, sejam estas de natureza física ou não. Por este motivo, em muitos países, inclusive no Brasil, são realizados estudos no intuito de planejar a diversificação na matriz energética. Os interesses e objetivos finais podem ser de origem comercial, disponibilidade de recursos, domínio de tecnologias e/ou preservação do meio ambiente. A esses estudos dá-se o nome Planejamento Energético (PE).

Esse tema repercute em diversos campos do conhecimento. Na Engenharia, os estudos específicos concentram-se em projetar e em construir dispositivos e equipamentos mais eficientes para a geração, transformação, transporte e utilização final da energia. A importância do PE ficou destacada a partir do primeiro choque do petróleo na década de 70. Nessa época, ficou evidente que a energia seria um setor crítico da economia, indispensável para alavancar o crescimento econômico e capaz de refreá-lo. O PE, em se tratando da oferta de energia, permite identificar as fontes energéticas mais adequadas em termos tecnológico, econômico, social e ambiental para atender as demandas da sociedade. Quanto à demanda, torna possível identificar as tecnologias de uso final capazes de tornar mais eficiente e racional o uso das fontes de energia.

O PE precisa ter uma metodologia de base científica. Deve utilizar hipóteses e processos transparentes e abertos a contribuições de todas as partes interessadas. A primeira etapa ou premissa a ser observada para um planejamento adequado é estudar o modelo de desenvolvimento vigente, a fim de que se tenha uma perspectiva integrada do futuro. Isso se deve ao fato de que a demanda de energia depende da demanda de bens e serviços prestados. Ou seja, a eficácia do setor energético é um vetor dependente da evolução econômico-produtiva de um país. A não existência desta abordagem integrada dificulta a realização e, sobretudo, a implementação do plano adotado (BAJAY, 1990).

Além disso, o PE deve ter como objeto de estudos as relações entre o setor energético e os aspectos econômicos a ele relacionados como: perfil de consumo nos diversos setores da economia, a estrutura de suprimento energético, os mecanismos de interação entre consumo e suprimento de energia e a evolução econômica e institucional dos principais consumidores, uma vez que isso realimenta o processo de planejar, readequar e inovar em termos de atendimento e confiabilidade do sistema energético.

Que a energia e o planejamento para atendimento e utilização de recursos reverberam ativamente na competitividade econômica e qualidade de vida da sociedade, não há dúvidas. Principalmente no que diz respeito a um mercado global e crescentes preocupações com o meio ambiente. Essa questão, nas próximas décadas, se apresenta como um desafio para o Brasil, pois o desenvolvimento econômico e social demandará uma expressiva quantidade de energia e com isso um alto grau de segurança e de sustentabilidade energéticas. Em contrapartida, significa também uma oportunidade, no sentido de que o Brasil dispõe de condições especiais de recursos energéticos renováveis e de tecnologia para transformar esses recursos em energia e, dessa forma, agregar valor à sua produção de riqueza (TOLMASQUIM, 2007).

Vários estudos e projeções têm sido conduzidos relativos à matriz energética brasileira. A Figura 5 mostra o fluxo energético do Brasil, publicado no BEN 2016, onde se percebe fontes não renováveis de energia (petróleo e seus derivados) como maiores representantes da oferta de energia. Quanto ao consumo, a indústria e o transporte são os líderes em demanda, somando mais de 56% do total da energia consumida.

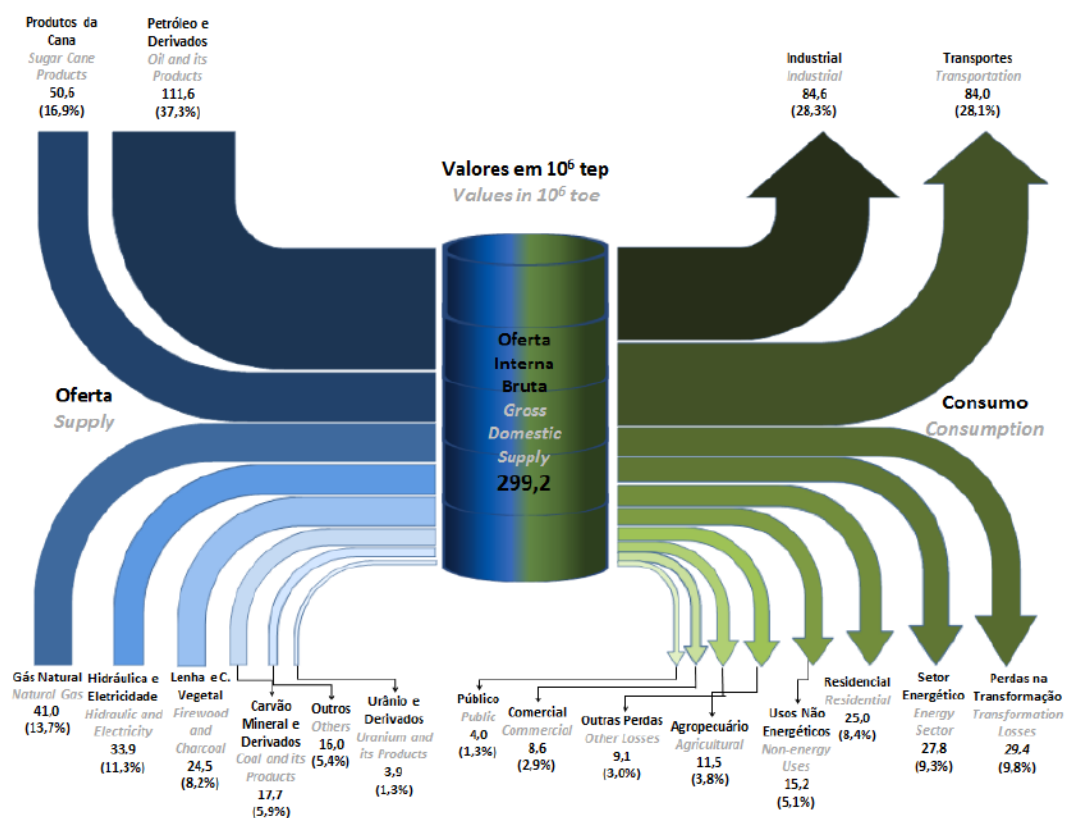


Figura 5 - Fluxo energético brasileiro 2016 (ano base 2015), considerando 1 tep = 11,63 x 10³ kWh
Fonte: EPE (2016).

A Figura 6 revela a participação das diversas fontes de energia, no cenário atual, incluindo previsão até 2050. Percebe-se, na projeção, que uma parcela importante da matriz energética brasileira é utilizada para a geração de eletricidade. Além disso, pode-se notar um aumento expressivo previsto na sua utilização ao longo dos anos, de 16,6% em 2013 para 23,1% em 2050. Pode-se ainda observar que a fonte de energia “gás natural” apresenta crescimento, enquanto derivados do petróleo, derivados da cana-de-açúcar, lenha e carvão vegetal tendem a diminuir sua participação neste cenário.

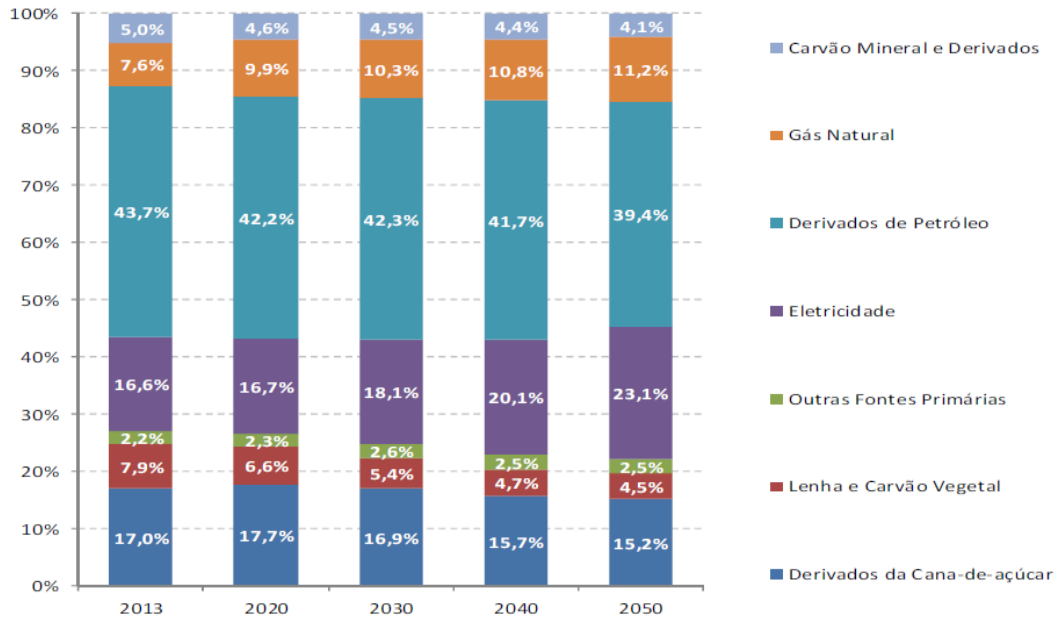


Figura 6 - Evolução da participação das fontes na demanda total de energia até o ano de 2050
 Fonte: EPE (2014).

Um fator importante a ser considerado quando se trata de delinear a matriz energética brasileira, é a ocorrência em 2015, na França, da 21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Neste evento foi adotado um novo acordo cujo intuito é diminuir os prejuízos causados pelo aquecimento global, denominado “Acordo de Paris”. Esse acordo determina que exista controle dos níveis de gases do efeito estufa, e que o aumento global da temperatura fique menos do que 2°C acima de níveis pré-industriais até o ano de 2100.

A *Intended Nationally Determined Contributions*, iNDC (Pretendidas Contribuições Nacionalmente Determinadas) do Brasil pretende contribuir com o Acordo de Paris através da implementação de medidas sustentavelmente responsáveis. Neste sentido, comprometeu-se em reduzir em 2025 as emissões de gases do efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005, e em 43% até 2030. Entre as diversas ações a serem adotadas para atingir este objetivo, estão a expansão do uso de fontes renováveis de energia, como a solar, eólica e biomassa. Desta forma, na projeção apresentada na Figura 6, a participação de fontes de energias não poluentes (como solar e eólica) tende a aumentar, pois sua elaboração não levou em conta o Acordo de Paris, inexistente na época.

Na matriz energética brasileira, parte dela representa a geração de eletricidade, e a este montante dá-se o nome matriz elétrica brasileira, que possui diversas fontes de energia. No ano de 2015, a geração elétrica nacional foi de 581,486 TWh, sendo 64% desta geração proveniente

da fonte hidráulica, como revela a Figura 7, que apresenta dados percentuais da contribuição de cada fonte na matriz elétrica brasileira.

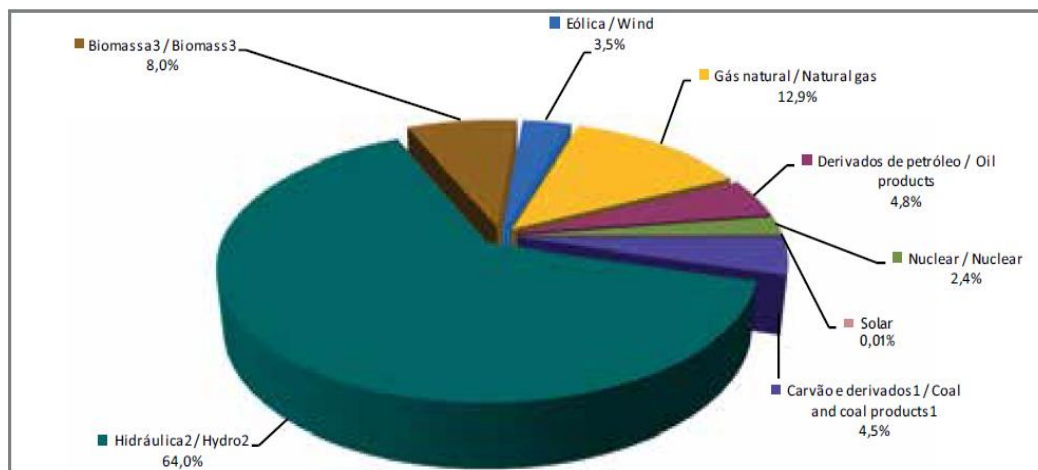


Figura 7 - Oferta interna de energia elétrica no Brasil por fonte em percentagem
Fonte: EPE (2016).

Analisando os dados da Figura 7 percebe-se que existem fontes renováveis de energia com baixa representatividade na matriz elétrica do Brasil, como a solar (0,01 %) e a eólica (3,5%), as quais apresentam um elevado potencial de crescimento para contribuir na geração de energia no país. A Figura 8 mostra um estudo da evolução da capacidade instalada por fonte de geração de energia elétrica, em que percentualmente, a capacidade instalada de energia hidráulica tende a diminuir, enquanto fontes eólica e solar estão projetadas a aumentar.

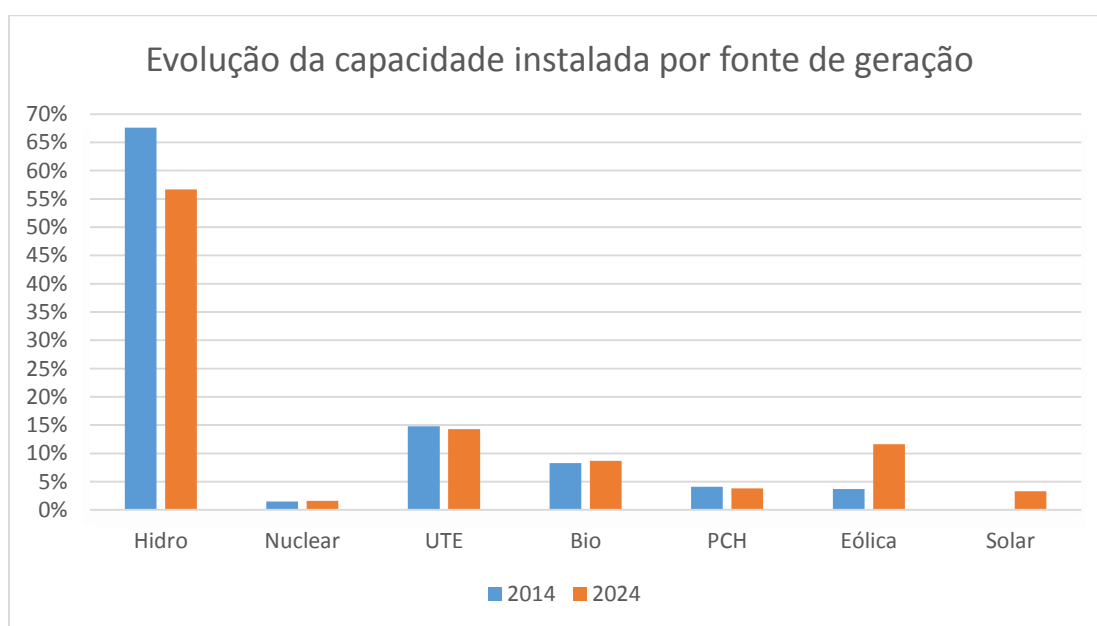


Figura 8 - Evolução da capacidade instalada por fonte de geração
Fonte: Adaptado de MME (2015).

Os dados da Tabela 2 mostram o total da geração de energia elétrica por fonte em 2014 e 2015, confirmando neste intervalo de tempo a prospecção realizada pela EPE (2015), com a elevação na geração de energia eólica e solar. Quanto à hidrelétrica, a geração de energia diminuiu de 2014 para o ano seguinte, como consta igualmente na mesma projeção até o ano de 2024. A Figura 9 representa a variação percentual da geração de energia elétrica, referente aos dados da Tabela 2.

Tabela 2 – Geração elétrica em GWh nos anos de 2015 e 2014

Fonte	2015	2014
Hidrelétrica	359.743	373.439
Gás Natural	79.490	81.073
Biomassa	47.394	44.987
Derivados do Petróleo	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	13.682	13.524
Geração Total	581.486	590.542

Fonte: EPE (2016).

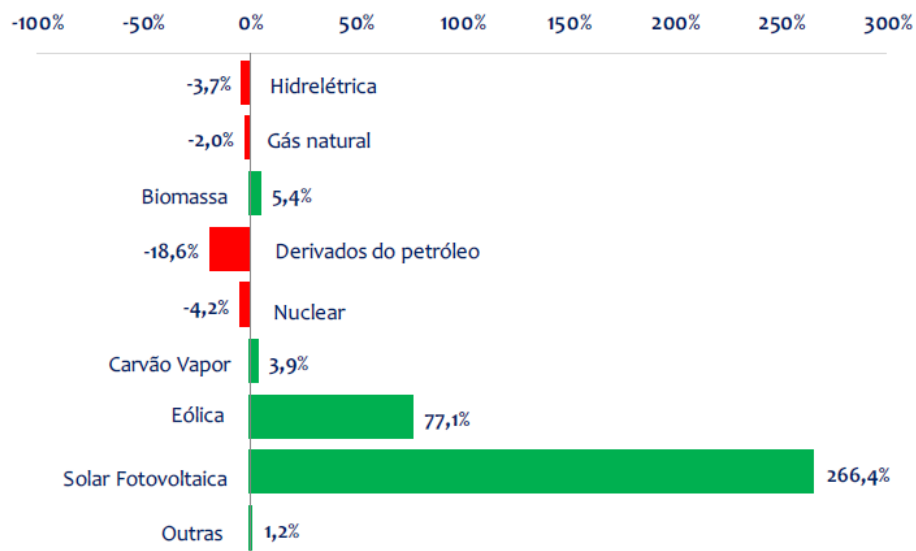


Figura 9 - Variação percentual da geração elétrica entre 2014 e 2015

Fonte: EPE (2016).

A Figura 9 retrata o crescimento de fontes renováveis de energia, com destaque para a eólica (77,1%) e mais de 200% para a energia fotovoltaica entre os anos de 2014 e 2015, e a diminuição do emprego de derivados do petróleo. Nesse contexto, vale ressaltar uma tendência de diversificação da matriz elétrica brasileira e investimentos em fontes renováveis de energia. O uso de energia no Brasil está também atrelado ao crescimento demográfico, urbanização acelerada e ao processo de industrialização.

A velocidade desse crescimento pode ser ressaltada quando se sabe que, entre 1940 e 1950, a população brasileira era de cerca de 41 milhões de habitantes, dos quais 69% se concentravam no meio rural e o consumo brasileiro de energia primária era de apenas 15 milhões de tep¹. Em 1970, com uma população de mais de 93 milhões de habitantes, esse consumo já se aproximava de 70 milhões de tep. Em 2000, a população já ultrapassava 170 milhões de habitantes e o consumo de energia se elevava para cerca de 190 milhões de tep, ou seja, o crescimento quase triplicou (TOLMASQUIM, 2007).

Obviamente, uma política energética adequada, que inclui o PE, deve ser orientada no sentido de satisfazer também as necessidades diretas e indiretas de energia elétrica de todos os membros da sociedade, no curto, médio e em longo prazo. Para isso, ela deverá promover um uso racional e equilibrado dos recursos energéticos disponíveis, a um custo social e ambiental o mais baixo possível, no contexto da evolução do conjunto do sistema socioeconômico e demográfico em questão, e contribuindo à independência e segurança do abastecimento no sistema energético, o que se funde ao desenvolvimento econômico de uma nação. A energia elétrica é, portanto, um bem de natureza estratégica.

Dentro deste contexto, a questão que se coloca para os próximos anos é: quais desafios e que ações deverão ser tomadas para manutenção de atendimento satisfatório e confiável no que diz respeito à matriz elétrica brasileira? Tais questões devem ser consideradas, avaliadas, simuladas e previstas no PE.

A importância do desenvolvimento de estudos para o PE de longo prazo está no fato de que, com base no diagnóstico do quadro econômico e energético internacional e doméstico, podem-se identificar tendências e elementos. Estes permitem orientar a definição de políticas públicas voltadas a assegurar uma disponibilidade energética adequada, a universalização do acesso à eletricidade, o uso mais eficiente desse recurso, a minimização de seus custos e sua sustentabilidade ambiental.

¹ Considerando 1 tep = 11,63 x 10³ kWh.

O setor energético brasileiro não pode prescindir de um processo de conhecimento contínuo, sistematizado e dinâmico em face dos desafios de criar condições para a rápida expansão de oferta que se avizinha e de implantar o processo de diversificação da matriz elétrica, fundamental como posicionamento estratégico perante o panorama energético mundial.

2.3 ENERGIA SOLAR

O sol representa uma fonte inesgotável de energia não poluente e segura para o planeta. De acordo com NREL (2014), a radiação solar é a energia produzida pela oscilação de campos eletromagnéticos e transmitida por fótons, a qual possibilita a geração de eletricidade. Esta radiação sofre reflexões e distorções em sua trajetória até alcançar a superfície terrestre, em virtude das alterações climáticas constantes.

Parte da radiação solar que entra na atmosfera da Terra é absorvida e espalhada, sendo que a radiação direta vem em uma linha direta do sol, enquanto que a radiação difusa é espalhada para fora do feixe direto por moléculas, aerossóis e nuvens, sendo que a parcela que é refletida por uma superfície qualquer denomina-se Albedo, conforme mostra a Figura 10 (NREL, 2014).

A irradiância solar é a taxa de energia radiante que chega a uma área específica da superfície, também chamada de densidade de fluxo de radiação e é expressa em W/m^2 (NREL, 2014). Seus níveis variam em função de diversos fatores, como as condições meteorológicas, estações do ano, clima, latitude e altitude. Para a medição desta irradiação é empregado o piranômetro (REIS, 2003, p.152).

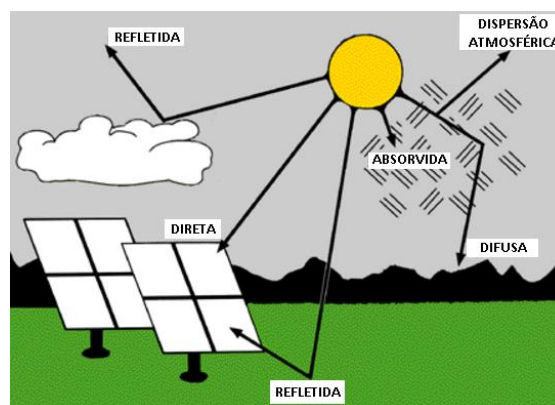


Figura 10 - Diferentes formas de radiação solar
Fonte: Adaptado de NREL (1992).

A irradiação indica a irradiância em um determinado intervalo de tempo. A Figura 11 mostra os níveis de irradiação global horizontal anual no planeta, onde mostra também que com o aumento da latitude a irradiação solar diminui. Quanto ao clima, observa-se que em climas desérticos como do deserto de Atacama, situado no Chile, a irradiância é alta.

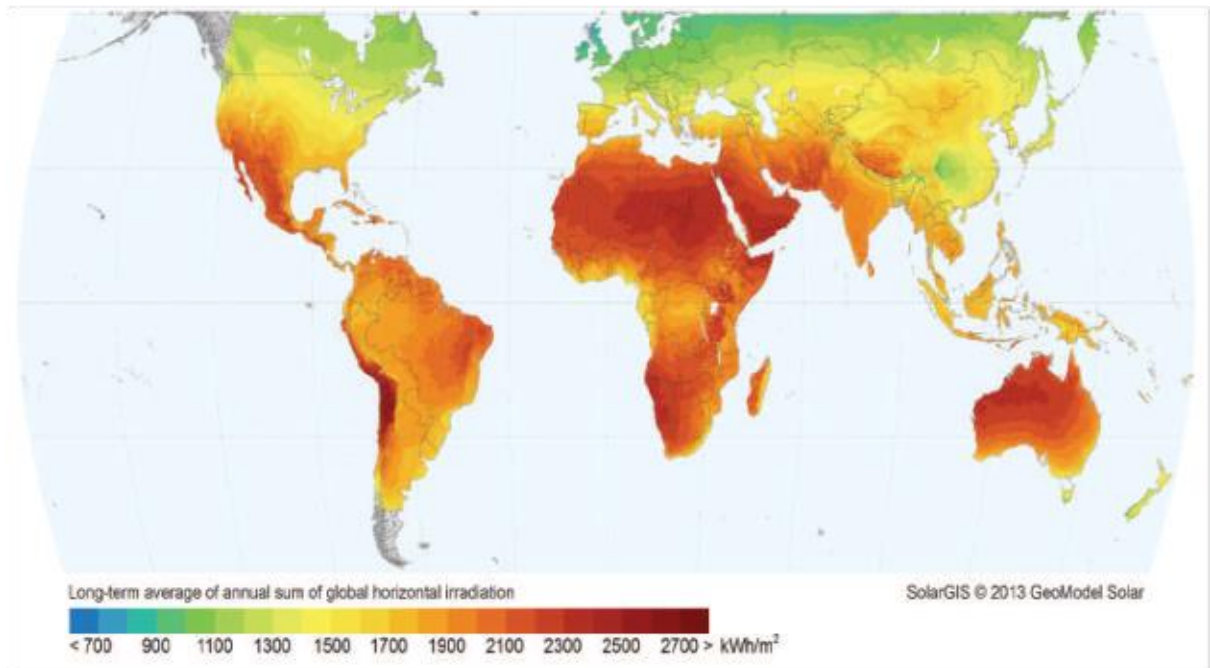


Figura 11 - Mapa mundial de irradiação solar
Fonte: EPIA (2014).

Em relação às condições meteorológicas, a irradiância apresenta valores elevados em dias ensolarados e valores significativamente baixos em dias chuvosos, como mostra a Figura 12, cujos dados foram coletados através de um piranômetro instalado junto ao painel fotovoltaico presente no Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Curitiba.

As estações do ano igualmente influenciam no índice de irradiância solar em um território, e conseqüentemente nos valores de irradiação. A Figura 13 mostra os mapas fotovoltaicos sazonais do estado do Paraná, no plano inclinado, onde é possível perceber que os maiores índices de irradiação encontram-se no verão e os menores no inverno.

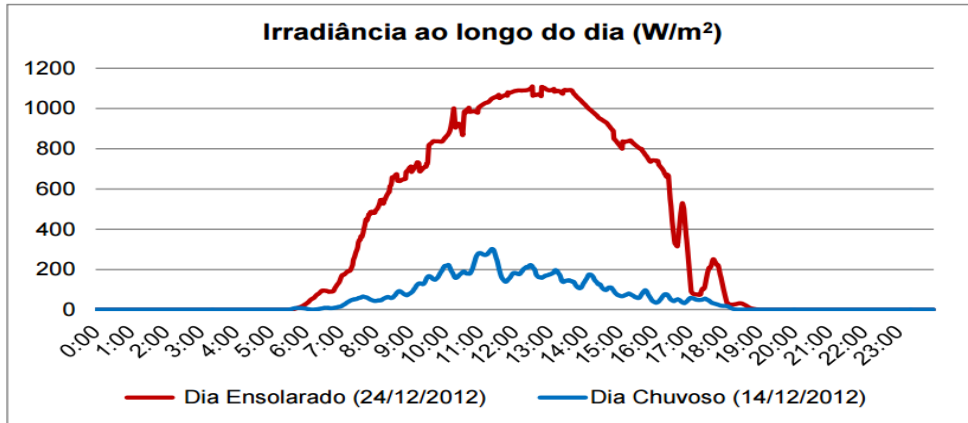


Figura 12 - Irradiância ao longo do dia no Escritório Verde

Fonte: Urbanetz (2014).

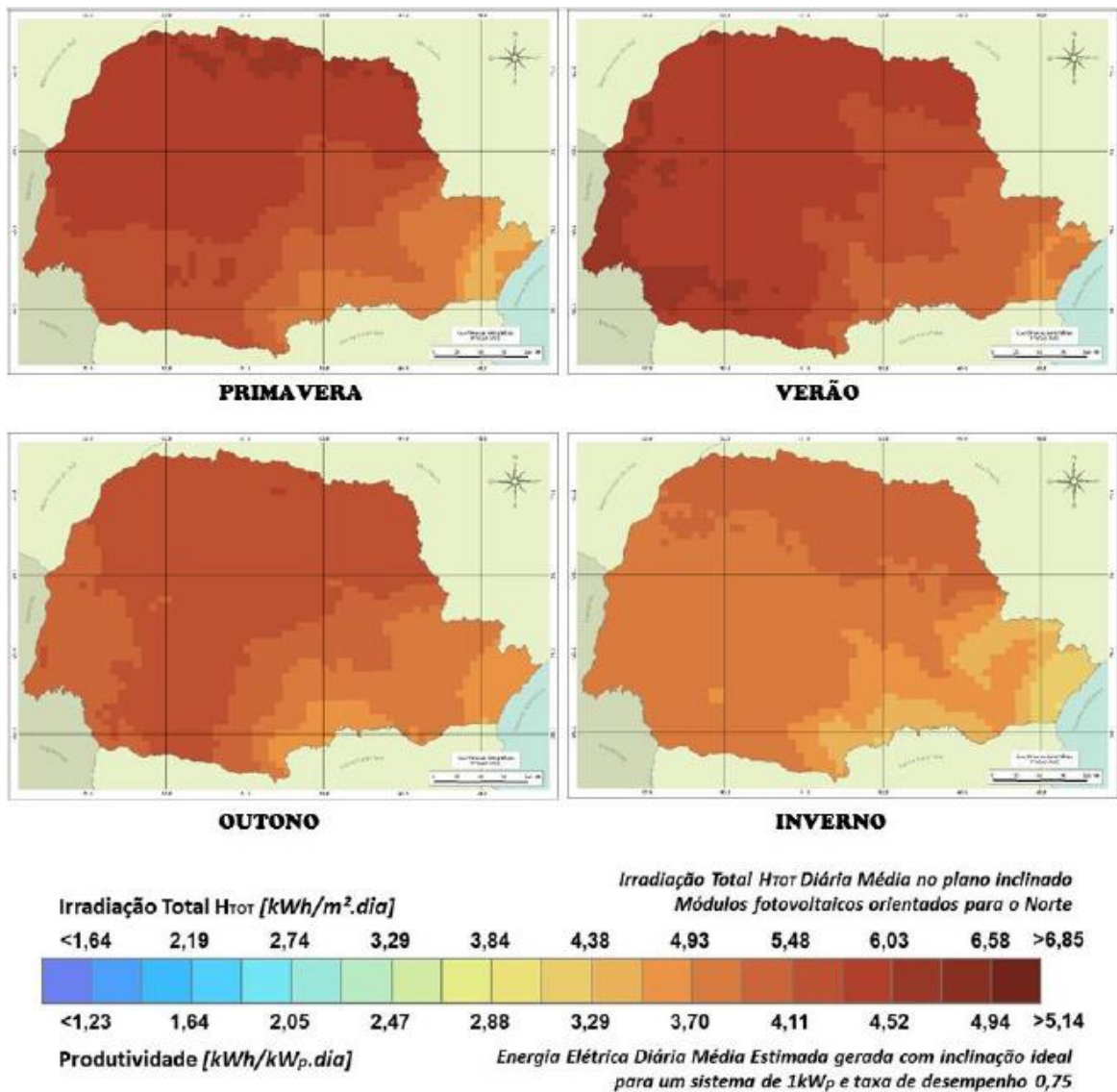


Figura 13 - Mapas fotovoltaicos do estado do Paraná – Média diária sazonal plano inclinado
Fonte: Tiepolo (2015).

Segundo Reis (2003, p. 151), a energia solar pode ser transformada em energia elétrica utilizando dois sistemas diferentes:

- Sistema termossolar: a energia solar é empregada para produzir vapor e este acionará uma termelétrica a vapor. Primeiramente a energia solar é convertida em energia térmica e logo em energia elétrica. Este sistema que utiliza energia heliotérmica apresenta como principais tecnologias o cilindro parabólico, torre central e disco parabólico;
- Sistema fotovoltaico: transforma a energia solar em elétrica diretamente através de módulos fotovoltaicos agrupados, formando painéis. Os módulos são compostos por células fotovoltaicas que podem ser fabricadas com diferentes matérias-primas, e atualmente o silício é o material mais utilizado nesta fabricação.

2.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO

A energia proveniente do sol pode ser empregada na geração de eletricidade através de um sistema fotovoltaico, cuja função é transformar a energia solar em energia elétrica. Entre as vantagens que esta tecnologia apresenta, destacam-se: emprego de alta tecnologia, simples utilização, não produz ruído, baixa manutenção, altamente confiável, além de não poluir o meio ambiente e ser uma fonte de energia renovável (URBANETZ, 2014).

A implantação de sistemas fotovoltaicos mostra-se conveniente por não necessitar de uma área extra para sua instalação, podendo ser fixados no telhado das edificações. A transformação da energia é realizada na célula fotovoltaica, que está presente nos módulos, que em conjuntos formam painéis (FARRET, 1999). Estes componentes podem ser visualizados na Figura 14.

Os painéis são compostos por associações destas células em série e paralelo.



Figura 14 - Painel, módulo e célula fotovoltaica
Fonte: Urbanetz (2010).

Segundo Pinho e Galdino (2014), a célula é constituída por elementos naturais caracterizados como semicondutores, como o silício. A inserção controlada de impurezas no semicondutor, chamado de processo de dopagem, origina a junção *pn* do material. A aplicação de um campo elétrico nela gera corrente e tensão elétricas.

Atualmente, o desenvolvimento tecnológico das células indica que alguns materiais usados na sua fabricação apresentam maior eficiência. As células produzidas a partir de silício monocristalino são as mais eficientes, seguido das células de silício policristalino e os filmes finos, que podem ser fabricados com arseneto de gálio, telureto de cádmio, silício amorfo, entre outros.

A relação entre a corrente e a tensão em uma célula fotovoltaica é expressa através da curva I-V representada pela Figura 15, onde I_{SC} é a corrente de curto circuito, V_{OC} é a tensão de circuito aberto, P_{MP} é a potência máxima, I_{MP} e V_{MP} são, respectivamente, a corrente e tensão no momento de P_{MP} . Tais dados foram obtidos a partir de testes aplicados em uma célula fotovoltaica de silício de 156 mm x 156 mm, sob condições padrão de teste, quais sejam: irradiância de 1000 W/m², espectro solar AM 1,5 e temperatura da célula de 25°C.

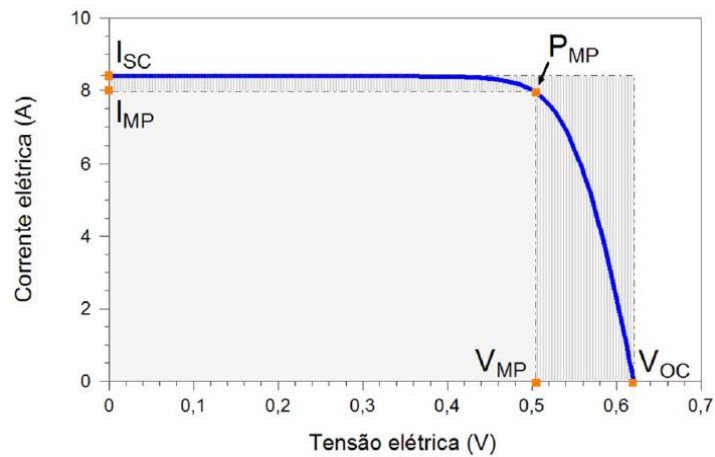


Figura 15 - Curva I-V (Corrente em função da tensão)
Fonte: Pinho e Galdino (2014).

Os SFV podem ser classificados em duas categorias principais (PINHO; GALDINO, 2014):

- *Sistema fotovoltaico isolado*: o sistema alimenta cargas diretamente e não apresenta conexão com a rede pública de abastecimento energético. Vantajoso para lugares remotos, como ilhas e comunidades distantes, podendo ser individual (atende apenas uma unidade consumidora) ou em mini-rede (atende um grupo de unidades consumidoras). Neste sistema é indicado o uso de um banco de baterias, a fim de armazenar energia para ser utilizada nos momentos em que não há radiação solar, ou esta ser insuficiente para a geração da energia elétrica demandada. A Figura 16 mostra os componentes de um sistema fotovoltaico isolado.

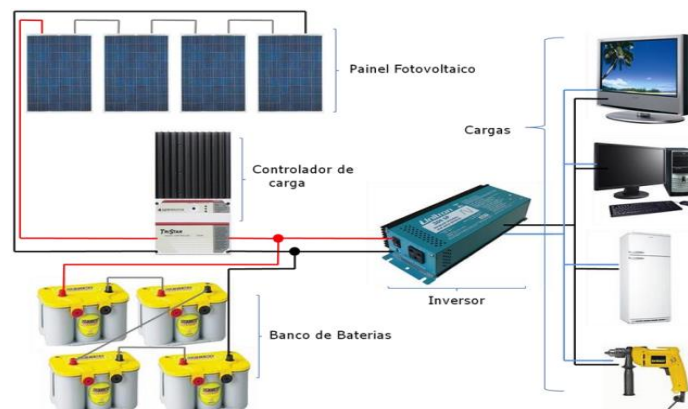


Figura 16 - Componentes de um SFVI
Fonte: Urbanetz (2014).

- *Sistema fotovoltaico conectado à rede*: o sistema encontra-se interligado com a rede pública de energia. Entre as vantagens estão a ausência de um banco de baterias, pois a

energia excedente é injetada na rede pública de fornecimento de energia, onde este excedente gera um crédito de energia da rede no modelo de compensação de energia. Um exemplo está representado na Figura 17.

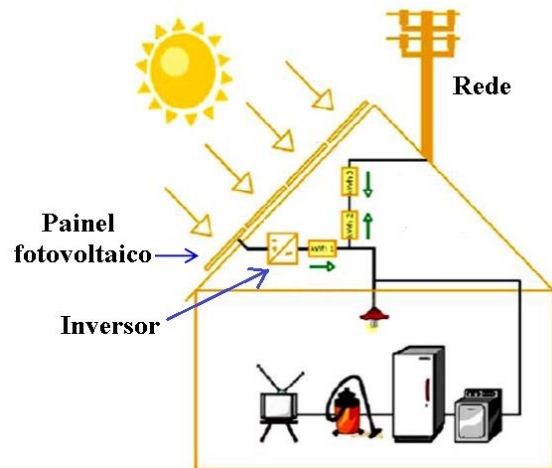


Figura 17 - Esquematização de um SFVCR
Fonte: Adaptado de Rüther (2004).

2.5 POTENCIAL FOTOVOLTAICO DO ESTADO DO PARANÁ

O Estado do Paraná tem grande potencial para a complementariedade da matriz elétrica brasileira através da fonte solar fotovoltaica. Essa afirmação é embasada pelo estudo comparativo do potencial fotovoltaico Total Anual no Estado do Paraná com outros estados do Brasil, elaborado por Tiepolo (2015). Este estudo compara a irradiação total anual média em plano inclinado no Paraná com outros estados brasileiros, e conclui que o Paraná possui média apenas aproximadamente sete pontos percentuais abaixo dos estados com maior média: Distrito Federal, Piauí e Goiás. E quando comparado com a média do Brasil, o Paraná está abaixo por uma pequena diferença inferior a 1%.

O trabalho citado culminou na elaboração do Mapa Fotovoltaico Brasileiro – Total Anual com o padrão de cores e escala, seguindo os critérios utilizados pela *European Commission* nos mapas europeus. A análise de dados revelou que, no Brasil, o maior valor de irradiação encontrado, bem como de produtividade estimada total anual, ocorre no norte do estado da Bahia, próximo à divisa com o sul do Piauí, com valores respectivos de: 2.246 kWh/m².ano e 1.684 kWh/kWp.ano.

Comparativamente, no Paraná, o ponto com maior valor das referidas grandezas, ocorre no município de Sertaneja, com valores de 2.119kWh/m².ano e 1.589kWh/kWp.ano,

respectivamente. Percebe-se que o valor encontrado no Paraná é 5,6% inferior ao máximo encontrado. No Brasil, quando se trata de média, a média apresentada no Paraná é apenas 3,34% inferior à média do estado da Bahia.

De acordo com Tiepolo (2015), mais de 80% dos municípios do Paraná apresentam valores de Irradiação e Produtividade Estimada Total Anual superior a 2.000 kWh/m².ano e 1.500 kWh/kWp.ano respectivamente. Além disso, levantamentos realizados no estado do Paraná mostram que de toda capacidade instalada, 93,15% é através de hidroelétricas, sendo que aproximadamente 70% desta fonte já foi explorada dificultando a sua expansão na matriz elétrica. Diante disto, a utilização de outras fontes renováveis na geração de energia elétrica, além da hidráulica, é de vital importância no estado.

Tiepolo (2015) estabelece também comparação com a Europa, devido a pelo menos dois motivos: primeiro em função da utilização dos mesmos critérios de elaboração dos mapas da Europa, e segundo, a Europa é a região com a maior capacidade instalada Global de SFVCR, e possui seis entre os dez países com maior capacidade instalada.

Ao comparar-se a Produtividade Estimada Total Anual Média apresentada por estes seis países em relação ao estado do Paraná, Tiepolo (2015) verificou que a Média do Paraná é 58,75% superior à Alemanha, 13,48% superior à Itália, 1,97% superior à Espanha, 31,28% superior à França, 60,46% superior à Bélgica e 71,19% superior a do Reino Unido. Estes percentuais representam a quantidade Média Total Anual de energia elétrica que um SFVCR pode gerar a mais no Paraná em relação a cada um destes países.

A proposta deste trabalho é, portanto, digna de investigação. Pretende-se, na Metodologia, estabelecer uma previsão da porcentagem de consumo e geração de energia para o Estado do Paraná em relação ao Brasil, até o ano 2050, e determinar quanto a energia solar fotovoltaica poderá contribuir para atingir a esta nova demanda, e quais locais serão mais propícios realizar estes investimentos.

Com base em dados disponíveis, será estabelecida uma previsão ou estimativa de valores para pontos (neste caso, anos) para os quais não existem dados. A ferramenta matemática a ser utilizada na primeira etapa é o “ajuste de curvas”, do tipo polinomial, com minimização de erros. Uma série de testes serão realizados a fim de determinar o modelo ótimo a ser implementado.

Os dados obtidos serão comparados à potencialidade de geração de energia solar fotovoltaica no Paraná, no intuito de quantificar a viabilidade da complementariedade da matriz elétrica brasileira através desta fonte, o que significará estabelecer quanto em termos de potência, o Paraná pode “injetar” no sistema elétrico brasileiro.

3. METODOLOGIA

Esse Capítulo apresenta as técnicas utilizadas para atingir o objetivo principal proposto no Capítulo 1. São apresentados: uma descrição territorial do Estado do Paraná com dados pertinentes, a técnica de Ajuste de Curvas e argumentos que justificam os indicadores utilizados na construção de uma Função Objetivo, que permitirá, associada à irradiação solar das mesorregiões, determinar quais dessas representam “locais ótimos” para a possível implantação de sistemas fotovoltaicos no estado do Paraná.

3.1 MESORREGIÕES DO PARANÁ

O Brasil é um país de dimensões continentais. Por este motivo, a descrição da divisão territorial do Brasil, de acordo com as regras usadas pelo Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia (IBGE), apresenta seis níveis hierárquicos, que abordam do país todo aos municípios de forma individual. O país todo representa o primeiro nível da hierarquia.

O segundo nível, para fins de análises estatísticas, marketing e outros, são as cinco regiões: região Norte, região Nordeste, região Centro-oeste, região Sudeste e região Sul. O terceiro nível analítico são os Estados (ou Unidades Administrativas). Existem ao todo vinte e seis Estados no Brasil e um distrito federal. O quarto nível é representado pelas mesorregiões, que são agrupamentos de municípios em acordo com suas semelhanças econômicas, sociais e culturais.

Ao todo, a subdivisão corrente no Brasil possui cento e trinta e sete mesorregiões (IBGE, 1990). O quinto nível é o das microrregiões e o sexto nível, dos municípios propriamente ditos. Mais especificamente, os 399 municípios paranaenses foram organizados e agrupados pelo IBGE, em 10 mesorregiões. Cada uma delas é subdividida em microrregiões, umas mais povoadas que outras, e ainda, em algumas delas as atividades do campo predominam em relação às atividades urbanas. As mesorregiões do Paraná podem ser vistas na Tabela 3 e sua interação geográfica na Figura 18.

Tabela 3 – As 10 mesorregiões do Estado do Paraná

1	Centro-Sul Paranaense
2	Norte Central Paranaense
3	Noroeste Paranaense
4	Oeste Paranaense
5	Metropolitana de Curitiba
6	Centro Oriental Paranaense
7	Sudeste Paranaense
8	Norte Pioneiro Paranaense
9	Centro Ocidental Paranaense
10	Sudoeste Paranaense

Fonte: IBGE (1990).

O principal objetivo para essa divisão e publicação de dados é demonstrar a heterogeneidade em relação à composição municipal, populacional, grau de urbanização, dinâmica de crescimento, participação na renda da economia do Estado e empregabilidade, é ilustrar os indicadores gerais de cada mesorregião.



Figura 18– As mesorregiões do Estado do Paraná

Fonte: IPARDES, 2004.

Conseqüentemente, através da caracterização e compreensão do perfil das mesorregiões do Estado do Paraná, pode haver contribuição para a construção de bases de um modelo de desenvolvimento regional socialmente mais igualitário.

Segundo o IBGE, estes recortes pretendem traduzir, ainda que de maneira sintética, as diferenças na organização do território nacional quanto às questões sociais e políticas. Oferecem possibilidades de agregação das informações do âmbito dos municípios para unidades maiores. Assim, o foco regional possibilita realce às particularidades municipais, e permite apontar as desigualdades e potencialidades inter-regionais (IPARDES, 2004).

Neste trabalho, os fatores de tomada de decisão utilizados para cumprimento da proposta foram: o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), mais abrangente do que o PIB, pois é uma medida composta por indicadores de três dimensões do desenvolvimento humano: longevidade, educação e renda. Este índice varia de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1, maior o desenvolvimento humano.

O IDHM brasileiro segue as mesmas três dimensões do IDH Global: longevidade, educação e renda, mas vai além: adequa a metodologia global ao contexto brasileiro e à disponibilidade de indicadores nacionais. Embora meçam os mesmos fenômenos, os indicadores levados em conta no IDHM são mais adequados para avaliar o desenvolvimento dos municípios brasileiros. Assim, o IDHM incluindo seus três componentes, IDHM Longevidade, IDHM Educação e IDHM Renda, revela a história dos municípios em três importantes dimensões do desenvolvimento humano durante duas décadas da história brasileira (PNDU, 2017-2021).

O cálculo do IDHM leva em consideração, portanto, a oportunidade de viver uma vida longa e saudável, de ter acesso ao conhecimento e ter um padrão de vida que garanta as necessidades básicas, representadas pela saúde, educação e renda.

A “Vida longa e saudável” é medida pela expectativa de vida ao nascer, calculada por método indireto a partir dos dados dos Censos Demográficos do IBGE. Esse indicador mostra o número médio de anos que as pessoas viveriam a partir do nascimento, mantidos os mesmos padrões de mortalidade observados no ano de referência. O “Padrão de vida” é medido pela renda municipal per capita, ou seja, a renda média de cada residente de determinado município. É a soma da renda de todos os residentes, dividida pelo número de pessoas que moram no município, inclusive crianças e pessoas sem registro de renda. Os dados são originários do Censo Demográfico do IBGE e o IDHM é a média geométrica entre esses componentes.

Para cada uma das 10 mesorregiões do Paraná, foram coletados dados como: a população nos anos de 2010 (IPARDES, Anuário 2010), de 2016 e uma previsão para o ano de

2030 (IPARDES, Projeção 2016-2030) de cada um dos municípios da mesorregião em questão. Com base nestes dados, foi estabelecido um ajuste de curvas para prever a população, ano a ano, para cada município, até o ano de 2050.

Decidiu-se utilizar a população projetada média para análise. Um argumento para tal escolha consiste no aspecto qualitativo da aproximação linear (ajuste de curva) e está relacionado ao fato algébrico de que populações decrescentes, geram coeficientes que projetados tendem a resultar em valores negativos, o que caracteriza incoerência em relação à grandeza abordada.

Para previsão até o ano de 2050, via ajuste linear, do consumo de energia elétrica em cada município de cada uma das mesorregiões, foram coletados e utilizados dados dos anos de 2010 (IPARDES, Anuário 2010), de 2013 (IPARDES, Anuário 2013) e de 2015 (IPARDES, Anuário 2015). Vale lembrar que a escolha de anos específicos em nada altera os resultados, uma vez que quaisquer dois pontos definem uma única reta. Trata-se, antes, de uma questão de preferência e disponibilidade de dados. O critério IDHM (PNDU, 2013) utilizou-se dos dados mais recentes disponibilizados pelo censo de 2010.

A irradiação solar e a produtividade (TIEPOLO, 2015) de cada município foi um critério utilizado com a finalidade de se determinar o potencial da fonte fotovoltaica quanto à possibilidade de complementariedade da matriz elétrica brasileira. Esse valor sofre variações diárias, mensais e sazonais, mas neste trabalho optou-se em utilizar os valores anuais que são mais representativos e que são utilizados para estimar a produção de energia elétrica por meio de SFVCR.

3.2 AJUSTE DE CURVAS

Os valores que uma variável pode assumir estão associados a outras variáveis cujos valores se alteram durante um experimento. Ao se relacionar uma variável resposta (dependente) a um conjunto de variáveis explicativas (independentes), podem-se determinar parâmetros e até mesmo fazer previsões acerca do comportamento da variável resposta.

O modelo mais simples (BARROSO *et al.*, 1987) que relaciona duas variáveis X e Y é a equação da reta, representada pela Equação 1, em que β_0 e β_1 são os parâmetros do modelo.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X \quad (1)$$

Quando se estuda a interação entre variáveis, é importante estabelecer uma visão gráfica da relação entre elas. A essa representação dá-se o nome “gráfico de dispersão”. A Figura 19 ilustra o gráfico de dispersão das variáveis apresentadas na Tabela 4 e a linha de tendência (reta arbitrária) adaptável aos dados.

Tabela 4– Variáveis independentes (xi) e dependentes (yi)

I	1	2	3	4	5
x_i	1,3	3,4	5,1	6,8	8,0
y_i	2,0	5,2	3,8	6,1	5,8

Fonte: BARROSO et al (1987).

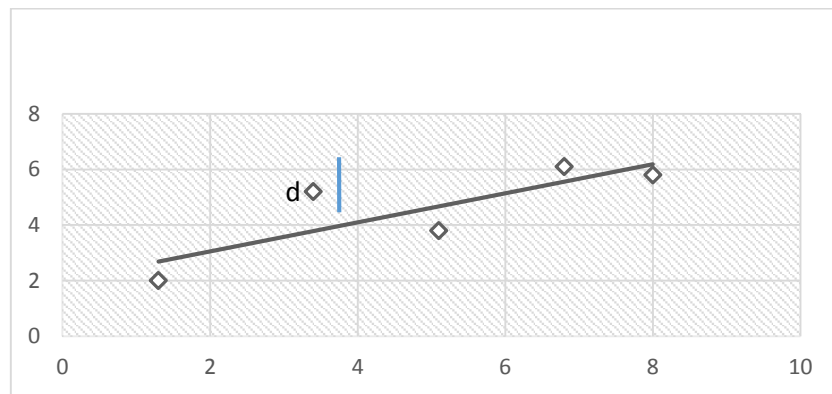


Figura 19– Gráfico de Dispersão e linha de tendência

Fonte: BARROSO et al. (1987).

Para qualquer valor x_i dentre os dados, o valor \hat{y}_i predito pela reta é $\hat{y}_i = b_0 + b_1 x_i$. Considere-se d_i a distância vertical (desvio) de cada um desses pontos à linha reta, conforme Equação 2:

$$d_i = y_i - \hat{y}_i \quad (2)$$

A Equação 3 apresenta a medida D do desvio total cometido quando se usa a reta arbitrária para todos os pontos considerados.

$$D = \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (3)$$

A magnitude de D depende da reta usada no ajuste linear escolhido, ou seja, depende e varia (é função) de acordo com os coeficientes β_0 e β_1 , conforme a Equação 4.

$$D(\beta_0, \beta_1) = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2 \quad (4)$$

Dentre as possibilidades, um modo de estimar tais coeficientes é determinar o mínimo da Equação 4, o que significa igualar as derivadas parciais primeiras dessa função, apresentadas na Equação 5 e Equação 6, a zero:

$$\frac{\partial D}{\partial \beta_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) \quad (5)$$

$$\frac{\partial D}{\partial \beta_1} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i) x_i \quad (6)$$

Assumindo a omissão de índices nos somatórios, para fins de simplificação de notação, são apresentadas as Equações 7 e 8:

$$\Sigma y_i - \Sigma b_0 - \Sigma b_1 x_i = 0$$

$$\Sigma x_i y_i - \Sigma b_0 x_i - \Sigma b_1 x_i^2 = 0 \quad (7)$$

Ou

$$(n)b_0 + (\Sigma x_i)b_1 = \Sigma y_i$$

$$(\Sigma x_i)b_0 + (\Sigma x_i^2)b_1 = \Sigma x_i y_i \quad (8)$$

A solução desse sistema de equações lineares, também chamadas de equações normais, pode ser obtida multiplicando-se a primeira equação por $\Sigma x_i/n$ e somando-a à segunda, o que resulta no sistema equivalente, conforme Equação 9:

$$(n)b_0 - (\Sigma x_i)b_1 = \Sigma y_i$$

$$\left(\Sigma x_i^2 - \frac{(\Sigma x_i)^2}{n} \right) b_1 = \Sigma x_i y_i - \frac{\Sigma x_i \Sigma y_i}{n} \quad (9)$$

Através de substituições retroativas, chega-se à solução do sistema, através da técnica que é denominada Método dos Mínimos Quadrados (RUGGIERO e LOPES, 1996). Os valores b_0 e b_1 indicados na Equação 10 são, respectivamente, os coeficientes linear e angular da reta com menor erro possível, que se adapta ao diagrama de dispersão.

$$b_1 = \frac{n \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b_0 = \frac{\sum y_i - (\sum x_i) b_1}{n} \quad (10)$$

Uma vez encontrada a reta apresentada na Equação 1, é possível prever qualquer dado em um intervalo desejado, assegurando-se de que o erro cometido é mínimo. Essa técnica foi utilizada para estimar os indicadores abordados envolvidos no cumprimento deste trabalho.

Toda discussão anterior pode ser exemplificada utilizando os dados da Tabela 4 e fazendo um comparativo entre duas possíveis retas e a **melhor reta**, obtida pela utilização da técnica proposta na Eq.10, indicadas na Tabela 5. É notadamente observável que ao aplicar a técnica dos mínimos quadrados (Eq. 10), de onde se obtém a equação da reta $y = 2,01 + 0,522x$, a soma dos desvios fica minimizada.

Tabela 5 – Ajuste de duas retas no diagrama de dispersão

<i>i</i>	x_i	y_i	$\hat{y}_i = 0 + 1x_i$		$\hat{y}_i = 4,5 + 0x_i$		$\hat{y}_i = 2,01 + 0,522x_i$	
			\hat{y}_i	d_i	\hat{y}_i	d_i	\hat{y}_i	d_i
1	1,3	2	1,3	0,7	4,5	-2,5	2,7	-0,7
2	3,4	5,2	3,4	1,8	4,5	0,7	3,8	1,4
3	5,1	3,8	5,1	-1,3	4,5	-0,7	4,7	-0,9
4	6,8	6,1	6,8	-0,7	4,5	1,6	5,6	0,5
5	8	5,8	8	-2,2	4,5	1,3	6,2	-0,4
			D=10,75		D=11,48		D=3,67	

Fonte: Adaptada de BARROSO et al (1987).

De posse dos dados de população e consumo de energia para cada município do Paraná em 3 anos distintos, foi possível encontrar o polinômio de primeiro grau que se adapta a tais dados com menor erro possível, para cada um dos municípios considerados. Depois disso, os municípios foram agrupados em mesorregiões e foi possível determinar a aproximação da população e consumo de energia para cada mesorregião no horizonte 2010 a 2050.

3.3 FUNÇÃO OBJETIVO E POTENCIAL FOTOVOLTAICO

Uma das propostas desse trabalho é determinar a mesorregião que represente o local ótimo para implantação de um sistema fotovoltaico. Para isso, é necessário detectar onde, no horizonte projetado, haverá maior consumo de energia elétrica.

O método empírico proposto consiste em encontrar a imagem da Função Objetivo (FO) proposta na Equação 11 e determinar através do resultado desta equação, a qual depende do consumo de energia, da população e do IDHM, quais os melhores lugares para investimentos em sistema SFV. As mesorregiões com maior imagem da função, mais atenção em investimentos elas devem ter.

$$FO(c, p, i) = (0,75c + 0,20p + 0,05i) \quad (11)$$

Onde:

$c \rightarrow$ energia consumida projetada para 2050 de cada mesorregião

$p \rightarrow$ população média projetada para 2050 de cada mesorregião

$i \rightarrow$ IDHM médio de cada mesorregião

Os coeficientes numéricos adotados na função objetivo são mera inferência empírica. Neste sentido, pode ser usado como argumento a percepção de que a população não deve ser o principal critério de tomada de decisão quanto à urgência de atendimento do consumo de energia elétrica. Um exemplo disso é o comparativo entre população e consumo de energia que se pode estabelecer entre as cidades de Munique, na Alemanha e Curitiba, no Brasil.

A cidade de Curitiba teve em 2016, sua população estimada em 1.892.242 habitantes (IBGE, 2016) e a cidade de Munique, no mesmo período, 1.185.400 habitantes (DW, 2016). Apesar da relativa proximidade entre esses valores, há uma diferença significativa entre o consumo de energia elétrica para essas duas cidades. Enquanto Curitiba consumiu em 2016 (de acordo com a previsão realizada neste trabalho) o valor de 4,9 TWh, a cidade de Munique consumiu, no mesmo período, 7,7 TWh (GUADAGNIN, 2016).

Além disso, um IDHM alto com população exígua, não justificaria os altos investimentos financeiros, ambientais e técnicos em novas unidades geradoras, independentemente da fonte primária adotada. Por outro lado, prever que haverá um aumento de consumo de energia elétrica leva à necessidade de atendimento do mesmo. Portanto, o critério consumo de energia foi considerado como mais significativo. Obviamente, a

interpretação do resultado não é afetada pela mudança nos coeficientes da FO, desde que seja respeitada a ordem de relevância dos critérios, conforme já discutida.

Com objetivo de avaliar a fidedignidade dos coeficientes utilizados na FO, foram efetuados alguns testes, envolvendo comparativos entre os parâmetros de decisão e respectivos valores de imagem da FO. Assim, a FO foi estendida a 5 avaliações distintas, denominadas: FO 1, FO 2, FO 3, FO 4 e FO 5. A FO 1 considerou valores numéricos conforme os indicados na Eq. 11.

Para FO 2, o coeficiente numérico de c levou em conta o valor percentual de aumento de consumo, considerando-se os resultados obtidos via Ajuste Linear nos anos 2010 e 2050 para totalidade das mesorregiões (ou de todo estado do Paraná); o coeficiente numérico de p levou em conta, no mesmo universo, o valor percentual de aumento da população e o coeficiente numérico de i , a percentagem de aumento no IDHM no Paraná, considerando o censo de 2000 e o de 2010, que registraram os valores 0,65 e 0,749, respectivamente (IPARDES, 2013b).

Como os pesos no caso da FO 2 são valores fora de escala, houve necessidade de normalizar os valores numéricos dos coeficientes, a fim de harmonizá-los. Para aumento de consumo de energia, foi obtido o percentual 119,53%, para o aumento de população, 28,73% e para o aumento do IDHM, 15,23%. Os valores foram normalizados utilizando a norma do desvio padrão, onde qualquer novo valor desejado é obtido através da Eq. 12. Depois de normalizados, esses valores foram substituídos na função objetivo, para a qual se obteve a imagem.

$$vn = \frac{va - m}{\delta} \quad (12)$$

Onde:

vn → Valor normalizado

va → Valor antigo

m → Média dos dados

δ → Desvio padrão entre os dados

A FO 3 considerou a situação em que o coeficiente numérico de p é maior do que o valor do coeficiente numérico de i e a FO 4, a situação em que o coeficiente numérico de i é maior do que o valor do coeficiente numérico de p . Nestes dois últimos casos, o multiplicador de consumo foi considerado 0,5, uma vez que, não há dúvidas de ser o fator preponderante em favor da tomada de decisões de expansão. Os valores possíveis dos coeficientes numéricos para

população e IDHM (quanto à serem maiores ou menores entre si) foram testados ao extremo, considerando-se entre eles a diferença mínima e que deveriam, somados, resultar em 0,5. O último caso avaliado, FO 5, é aquele onde os coeficientes numéricos de p e i são iguais.

Vale lembrar que esses coeficientes numéricos são pesos que indicam o grau de relevância do parâmetro utilizado (consumo, aumento na população ou aumento no IDHM) na FO. Os resultados dessa análise estão representados pelos valores funcionais de cada caso de FO avaliada, dispostos na Tabela 6.

Tabela 6 – Análise da variação dos coeficientes da FO

	Mesorregião	FO 1	FO 2	FO 3	FO 4	FO 5
1	Centro-Sul Paranaense	1.750.876	2.252.462	1.235.135	1.775.984	1.778.773
2	Norte Central Paranaense	9.347.738	12.434.139	6.528.857	9.457.599	9.469.806
3	Noroeste Paranaense	3.598.308	4.936.758	2.489.138	3.631.694	3.635.404
4	Oeste Paranaense	7.894.929	11.031.778	5.429.284	7.956.325	7.963.147
5	Metropolitana de Curitiba	11.867.124	14.823.642	8.442.466	12.063.540	12.085.364
6	Centro Oriental Paranaense	1.982.021	2.414.372	1.419.879	2.018.464	2.022.513
7	Sudeste Paranaense	1.610.901	2.120.224	1.128.733	1.631.170	1.633.422
8	Norte Pioneiro Paranaense	1.517.881	1.921.853	1.075.713	1.541.476	1.544.098
9	Centro Ocidental Paranaense	1.762.058	2.459.235	1.212.223	1.775.934	1.777.476
10	Sudoeste Paranaense	2.830.008	3.917.122	1.952.150	2.854.226	2.856.917
	TOTAL	44.161.845	58.311.585	30.913.577	44.706.413	44.766.920

Fonte: Própria.

Observando-se a Tabela 6, onde são apresentados os resultados funcionais descritos para os 5 cenários possíveis relativos a coeficientes numéricos para os parâmetros decisórios, quais sejam: consumo, população e IDHM, percebe-se que as conclusões deste trabalho foram assertivas.

Independentemente da interpretação quanto a qual dos parâmetros é mais relevante: população ou IDHM e principalmente, qual valor numérico é adotado, a resposta quanto à localização ideal para instalação de novas unidades geradoras foi idêntica, apontando para as mesorregiões Norte Central Paranaense e Metropolitana de Curitiba.

O resultado relativo ao estudo da complementariedade da matriz elétrica brasileira através da fonte fotovoltaica no Estado do Paraná, foi obtido utilizando-se dados de irradiação solar e de produtividade total anual. Esses são produtos gerados pelo trabalho de Tiepolo (2015).

4. RESULTADOS

Estimar a complementariedade fotovoltaica no Paraná exigiu conhecer dados de energia gerada e consumida, tanto no Brasil quanto no estado do Paraná, no horizonte 2050. Tais dados foram tabelados por município e agrupados em mesorregiões, enquanto objetivo específico. Com isso, foi possível fazer a projeção, para o horizonte 2050, tanto da população (em milhares de habitantes), quanto do consumo (em MWh) para cada um dos municípios paranaenses e, conseqüentemente, mesorregiões.

Ao aplicar o ajuste de curvas, via método dos mínimos quadrados em todos os municípios do estado do PR, percebeu-se que a projeção realizada para o município de Telêmaco Borba apresentou números de consumo de energia elétrica negativos para anos futuros. Avaliando-se os dados de consumo de energia elétrica neste município disponíveis nos anuários do Iparde (2011; 2012), constatou-se que a partir do ano de 2012, este valor decaiu abruptamente. Paralelo a isto, verificou-se que em 2012, uma grande indústria instalada nessa cidade começou uma obra de uma filial no município vizinho de Ortigueira e sua inauguração ocorreu em 2016 (KLABIN, 2016).

Devido a este fato, a produção na unidade de Telêmaco Borba diminuiu e os investimentos ficaram concentrados em Ortigueira. Assim, justifica-se o consumo de energia elétrica decrescente entre 2011 e 2012, além do aumento do consumo de energia elétrica em Ortigueira de 145,6% entre 2014 e 2015 (IPARDES, 2014; 2015), às vésperas da inauguração da nova fábrica na cidade. Os demais municípios, em geral, mantiveram o padrão de crescimento de consumo de energia linearmente.

A Tabela 7 exemplifica dados usados para previsão da população e do consumo de energia para uma das mesorregiões estudada, no caso a Centro Ocidental, bem como os municípios que dela fazem parte. Além disso, os valores do IDHM e da irradiação solar da região são elevados, mais indicados para avaliar o potencial da mesorregião na complementariedade da matriz elétrica.

Tabela 7– Dados da mesorregião Centro Ocidental

MUNICIPIO	Pop 2010	Pop 2016	Pop 2030	IDHM	CONS 2010 (MWh)	CONS 2013 (MWh)	CONS 2015 (MWh)	IRRAD SOLAR (kWh/m ² .ano)
Altamira do Paraná	4.306	3.293	1.563	0,667	3.716	4.033	4.362	2.034
Araruna	13.419	13.905	13.600	0,704	26.638	31.522	30.924	2.062
Barbosa Ferraz	12.656	12.097	9.738	0,696	11.333	12.948	13.975	2.055
Boa Esperança	4.568	4.332	3.422	0,720	7.585	7.489	8.158	2.052
Campina da Lagoa	15.394	14.788	12.046	0,704	18.080	21.390	23.311	2.036
Campo Mourão	87.194	93.235	97.961	0,757	215.505	277.879	285.229	2.055
Corumbataí do Sul	4.002	3.599	2.508	0,638	3.220	4.030	4.523	2.052
Engenheiro Beltrão	13.906	14.073	12.976	0,730	19.873	23.268	22.266	2.053
Farol	3.472	3.273	2.549	0,715	4.803	5.487	5.561	2.061
Fênix	4.802	4.813	4.334	0,716	5.216	5.720	6.015	2.057
Goioerê	29.018	29.147	26.386	0,731	56.501	61.829	70.782	2.053
Iretama	10.622	10.419	8.918	0,665	12.642	14.586	15.320	2.049
Janiópolis	6.532	5.869	4.082	0,696	6.502	7.684	7.888	2.060
Juranda	7.641	7.506	6.447	0,708	9.850	12.731	13.632	2.039
Luiziana	7.315	7.324	6.581	0,668	8.604	9.960	10.333	2.044
Mamborê	13.961	13.556	11.327	0,719	23.647	26.568	27.086	2.045
Moreira Sales	12.606	12.397	10.674	0,675	12.691	14.697	16.653	2.063
Nova Cantu	7.425	6.379	3.989	0,658	7.052	8.280	9.279	2.039
Peabiru	13.624	13.985	13.370	0,723	16.146	19.501	20.015	2.055
Quarto Centenário	4.856	4.683	3.850	0,710	6.605	7.784	9.156	2.046
Quinta do Sol	5.088	4.820	3.799	0,715	5.961	7.465	8.572	2.057
Rancho Alegre D'Oeste	2.847	2.751	2.271	0,704	3.265	4.210	5.133	2.047
Roncador	11.537	10.655	7.906	0,681	11.243	13.862	14.940	2.042
Terra Boa	15.776	16.818	17.556	0,728	29.067	40.405	51.226	2.052
Ubiratã	21.558	21.374	18.763	0,739	32.380	51.129	85.930	2.037

Fonte: Adaptada de IPARDES (2010; 2013a; 2015), Tiepolo (2015).

Legenda:

POP 2010 – população do município no ano de 2010

POP 2016 – população prevista para o município no ano de 2016

POP 2030 – população prevista para o município no ano de 2030

CONS 2010 – consumo total de energia elétrica no ano de 2010

CONS 2013 – consumo total de energia elétrica no ano de 2013

CONS 2015 – consumo total de energia elétrica no ano de 2015

IRRAD SOLAR – irradiação solar

A Figura 20 mostra um comparativo entre a prospecção da população no horizonte 2050 de cada um dos municípios da mesorregião Centro Ocidental. Nessa mesorregião, percebe-se que o município com maior população será Campo Mourão.

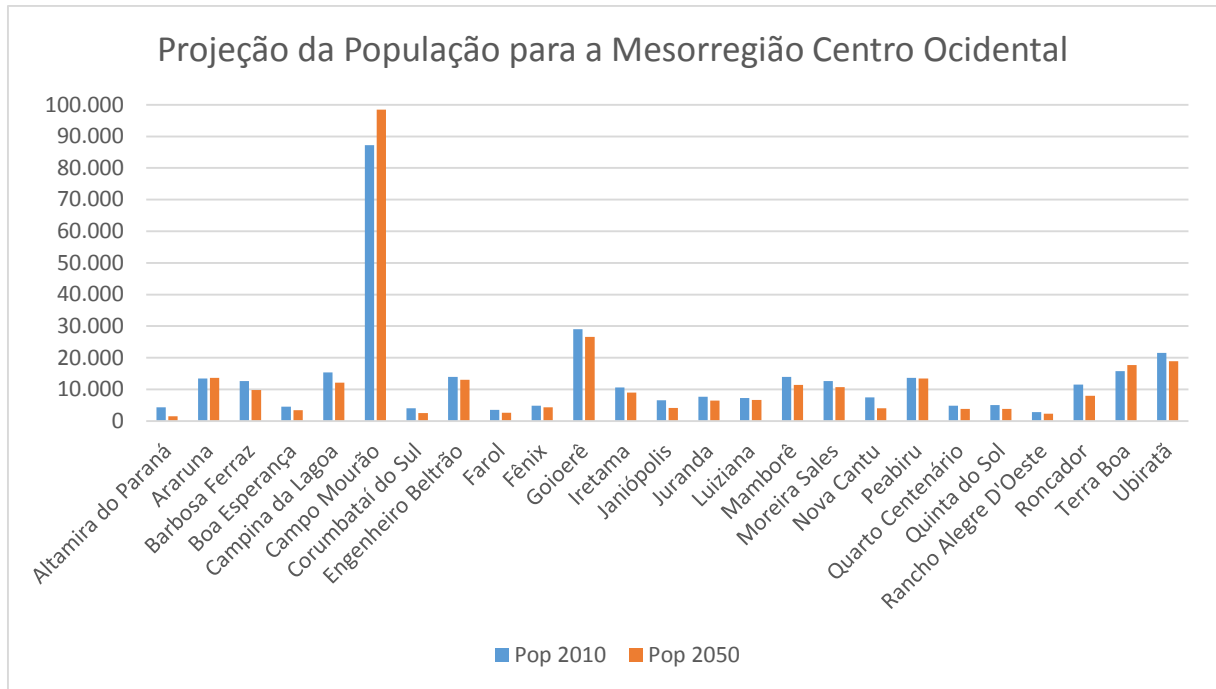


Figura 20 – Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Centro Ocidental

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 21 mostra um comparativo entre o consumo de energia elétrica de cada um dos municípios da mesorregião Centro Ocidental entre os anos de 2010 e a projeção para 2050. Nessa mesorregião, percebe-se que o município com maior consumo no horizonte 2050 também será Campo Mourão.

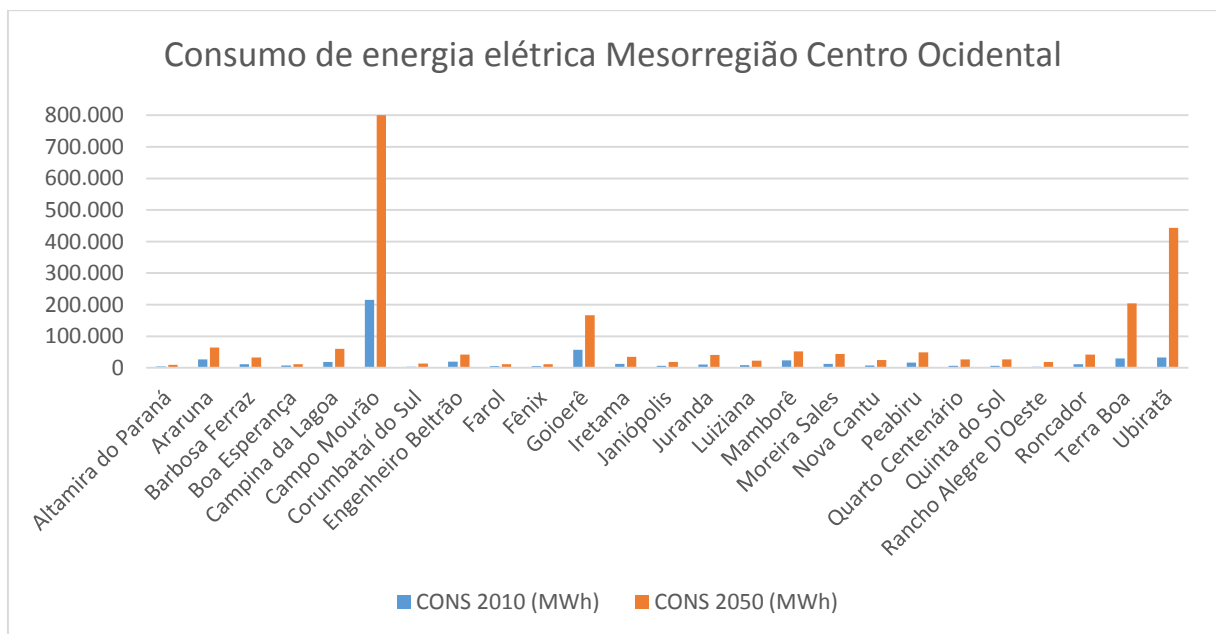


Figura 21 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Centro Ocidental em 2010 e projeção para 2050

Fonte: Autoria Própria.

Com base em fatores de decisão claros e pré-especificados, foram determinadas quais deveriam ser as mesorregiões ótimas para possível implantação de SFVCR. Essa decisão foi tomada com base nos valores de imagem da Função Objetivo, para cada uma das 10 mesorregiões, conforme indicados na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados da Função Objetivo por mesorregião

	Mesorregião	0<IDHM <1	População média projetada 2050 (Mil hab)	Irradiação Solar média (kWh/m ² .ano)	Consumo de energia projetado 2050 (MWh)	Déficit de energia elétrica para 2050	Função Objetivo
1	Centro-Sul Paranaense	0,654	557.951	2.015	2.185.714	1.190.219	1.750.876
2	Norte Central Paranaense	0,714	2.441.353	2.071	11.812.624	6.481.360	9.347.738
3	Noroeste Paranaense	0,705	741.906	2.071	4.599.903	2.985.896	3.598.308
4	Oeste Paranaense	0,717	1.364.364	2.026	10.162.741	6.364.278	7.894.929
5	Metropolitana de Curitiba	0,693	4.364.798	1.800	14.658.886	4.553.720	11.867.124
6	Centro Oriental Paranaense	0,689	809.843	1.976	2.426.737	-536.686	1.982.021
7	Sudeste Paranaense	0,679	450.402	1.860	2.027.761	1.109.521	1.610.901
8	Norte Pioneiro Paranaense	0,702	524.319	2.072	1.884.024	902.437	1.517.881
9	Centro Ocidental Paranaense	0,703	308.366	2.050	2.267.179	1.496.910	1.762.058
10	Sudoeste Paranaense	0,716	538.172	2.023	3.629.832	2.266.870	2.830.008
	Paraná	0,702	12.101.474	2.016	55.671.019	26.814.525	44.161.844

Fonte: Autoria Própria.

Analisando a Tabela 8, percebe-se que a mesorregião que apresenta maior projeção no consumo é a Metropolitana de Curitiba e a com déficit mais elevado de energia elétrica será a Norte Central Paranaense. Outra informação obtida através da projeção, revela que a única mesorregião a qual não possuirá déficit de energia, será a Centro Oriental, onde se localiza o município de Telêmaco Borba, o qual apresenta aproximadamente – 3 TWh de projeção para o consumo de energia elétrica em 2050. Ao observar os dados para o Estado do Paraná, a previsão

indica que o consumo de energia elétrica em 2050 será de 55.671.019 MWh, comparado com o consumo de 2015, que foi de 28.856.494 MWh, nota-se que este valor irá praticamente dobrar.

Após serem realizadas as projeções, buscou-se apontar mesorregiões para a implantação de SFVCR, a fim de suprir a demanda de energia elétrica para 2050, levando em conta a irradiação solar média (ISM) de cada mesorregião e o resultado da FO, a qual considera critérios de consumo de energia elétrica, população e IDHM. Estes dois dados foram colocados na mesma ordem de grandeza e em seguida foi realizada a média entre eles para calcular o potencial (Pot) de implantação de SFVCR, conforme mostra a equação 12.

$$Pot = \frac{(FO \cdot 10^{-4} + ISM)}{2} \quad (13)$$

A Figura 22 compara o potencial de cada uma das 10 mesorregiões, usando normalização do tipo x/valor máximo. Observando estes resultados, conclui-se que as duas mesorregiões mais indicadas para investimentos em SFVCR são a Norte Central Paranaense e Metropolitana de Curitiba, nesta ordem.

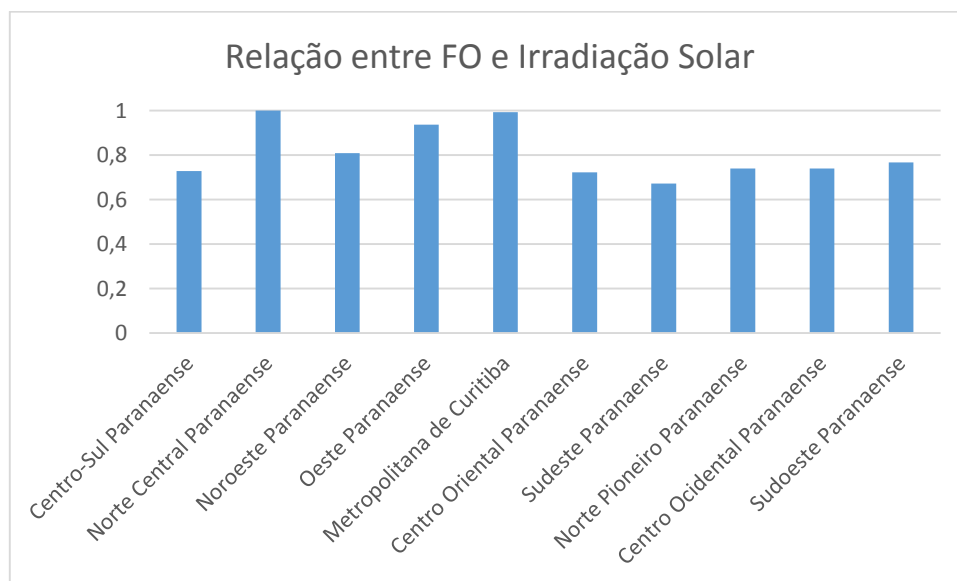


Figura 22 – Potencial de complementariedade fotovoltaica das mesorregiões do Paraná

Fonte: Autoria Própria.

Outro resultado de interesse consistiu em determinar a potência do sistema fotovoltaico para complementar a demanda crescente de energia elétrica no Paraná e no Brasil. Para isto foram analisados os dados de déficit de energia elétrica e produtividade média para cada mesorregião. Esta última foi calculada realizando a média da produtividade média total anual

no plano inclinado entre as cidades de cada mesorregião do Paraná, considerando uma taxa de desempenho de 75% (TIEPOLO, 2015).

Estes dados encontram-se na Tabela 9, em que é possível observar que apesar da produtividade média relativamente mais baixa da mesorregião Metropolitana de Curitiba, a potência do SFV a ser instalada para suprir a demanda, é elevada, ultrapassando 3 GWp. Além disso, a mesorregião Norte Central Paranaense apresenta alta produtividade e uma potência a ser implementada igualmente elevada. O cálculo desta potência não se aplica para o Centro Oriental Paranaense, pois esta mesorregião não apresenta déficit de energia nesta projeção. O somatório de produtividade média, da mesma maneira, não se aplica para as mesorregiões, pois apenas a média é utilizada em estudos.

Tabela 9 – Produtividade média e Potência FV para as mesorregiões

	Mesorregião	Produtividade Média (kWh/kWp.ano)	Potência de SFV para 2020 (MWp)	Potência de SFV 2030 (MWp)	Potência de SFV 2040 (MWp)	Potência de SFV para 2050 (MWp)
1	Centro-Sul Paranaense	1511	122	344	567	788
2	Norte Central Paranaense	1553	637	1.816	2.991	4.173
3	Noroeste Paranaense	1553	276	825	1.179	1.922
4	Oeste Paranaense	1519	610	1.803	2.960	4.188
5	Metropolitana de Curitiba	1350	622	1.539	2.456	3.373
6	Centro Oriental Paranaense	1482	Não houve necessidade de expansão	Não houve necessidade de expansão	Não houve necessidade de expansão	Não houve necessidade de expansão
7	Sudeste Paranaense	1395	112	340	525	795
8	Norte Pioneiro Paranaense	1554	83	247	394	581
9	Centro Ocidental Paranaense	1537	141	419	696	974
10	Sudoeste Paranaense	1517	218	643	1.033	1.494
	Somatório	Não se aplica	2.739	7.800	12.532	18.288

Fonte: Autoria Própria.

A Tabela 9 ainda mostra um plano decenal de investimento em energia solar fotovoltaica em todas as mesorregiões do Paraná e o total para o Estado, do ano de 2020 a 2050. Os cálculos sinalizam que em 2020 será necessário implantar 2.739 MWp de geração fotovoltaica no PR,

em 2030, 7.800 MWp, em 2040 12.532 MWp. Enquanto que em 2050, a soma das potências de SFV para as dez mesorregiões do Paraná, este valor ultrapassa 18 GWp a serem implementados no horizonte 2050 para suprir a demanda desta projeção. Além da geração de energia, deve-se investir em transmissão e distribuição de energia, e este estudo sinaliza neste plano decenal qual a potência de SFV deverá ser implementado no PR a fim de suprir o futuro consumo de energia neste Estado.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A evolução das técnicas de trabalho ao longo das décadas e o desenvolvimento tecnológico buscam tornar os processos mais eficientes, evidenciando o bem comum e o conforto do indivíduo. Para isto, utiliza-se energia em quantidades cada vez maiores a fim de atingir essas metas, e uma destas formas de energia, a elétrica, apresenta uma demanda crescente no cenário brasileiro e paranaense.

A sustentabilidade, diante deste contexto, mostrou-se relevante no sentido de desenvolver fontes de geração de energia renovável, com o intuito de suprir a demanda crescente do consumo de energia elétrica no Paraná e no Brasil. Pesquisas e novos acordos internacionais evidenciaram o provável investimento nos próximos anos em energia “verde” para gerar eletricidade.

Dentre as formas de geração de energia renovável, a fonte solar fotovoltaica mostrou-se conveniente por diversos motivos, entre eles: o nível de irradiação solar no Paraná e no Brasil, que é considerado elevado para a geração de energia elétrica; não necessitar de uma área extra para ser instalada, podendo estar aplicada ou integrada ao telhado das edificações; favorecer a geração distribuída, evitando perdas em transmissão e distribuição de energia elétrica. Desta maneira, foi proposto nesta pesquisa que o consumo futuro de energia elétrica fosse complementado através de fonte solar fotovoltaica.

Assim, este trabalho realizou um estudo da complementariedade da matriz elétrica brasileira pelo Paraná, através da fonte solar fotovoltaica no horizonte 2050. Isso envolveu modelar um cenário, no horizonte 2050, de projeções de população e consumo de energia elétrica para o Estado do Paraná, por mesorregião. O estudo pode ser estendido a todos os estados do Brasil, uma vez que os níveis de divisão geográfica são padronizados nacionalmente.

Com dados de irradiação solar, previsão do consumo de energia elétrica e produtividade, foi possível determinar a potência do SFVCR. A partir disso, comparando os consumos projetados do Paraná e do Brasil, verificou-se que existem reais possibilidades de complementariedade da primeira em relação à matriz elétrica brasileira. Além disso, indicou-se, com base em fatores de decisão, quais devem ser as mesorregiões mais apropriadas para investimento em SFVCR.

Os resultados desta análise apontaram que a mesorregião mais indicada para a implantação de SFVCR é a Norte Central Paranaense, a qual apresenta maior déficit de energia elétrica para 2050 e uma elevada irradiação solar média, sendo 2.071 kWh/m².ano. A segunda

mesorregião propícia à esta implantação é a Metropolitana de Curitiba, apresentando um consumo de energia elétrica elevado para o horizonte 2050, o qual ultrapassa 14 TWh.

Além disso, foram apontadas as potências de SFV a ser implementado em cada mesorregião do PR para os anos de 2020, 2030, 2040 e 2050. Desta forma, as mesorregiões merecem atenção para investimentos em geração de energia elétrica, e conseqüentemente sinaliza também que obras de transmissão e distribuição deverão ser executadas para atender a demanda das próximas décadas.

Como fatores merecedores de atenção e melhoria aos resultados deste, sugere-se abordar detalhes relativos à implementação propriamente dita, que envolvam os aspectos de custos de transmissão e distribuição para inserção em grande escala de SFVCR. Além disso, considerar as demais fontes de energia primária empregadas na matriz elétrica do Paraná, juntamente com a previsão da geração destas em paralelo à fonte fotovoltaica, de forma integrada, o que tornaria os resultados ainda mais confiáveis no que diz respeito à utilização do estudo como ferramenta na tomada de decisões em Planejamento Energético no Estado do Paraná.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Parte I: Energia no Brasil e no Mundo. 3 ed. Brasília, 2008. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par1_cap1.pdf>. Acesso em 15 ago. 2016.

ANEEL, Cadernos Temáticos. Micro e Mini Geração Distribuída. **Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. Brasília, DF, Brasil: Centro de Documentação–Cedoc, 2014.

ANGUS JUNIOR, Robert B. **Electrical engineering fundamentals**. 2. ed. Reading, Mass.: Addison-Wesley, c1968. 516p.

ANTHONY, David; TELEGIN, Dimitri Y.; BROWN, Dorcas. *The Origin of Horseback Riding*. *Scientific American*, dez. 1991.

BAJAY, Sergio Valdir. Planejamento energético: Necessidade, objetivo e metodologia. **Revista Brasileira de Energia**, v. 1, n. 1, 1990.

BARGHINI, A. *Le origini del motore a vapore*. *Le Scienze*, v. 36, ago. 1971.

BARROSO, L. C. et al.. **Cálculo Numérico** (Com Aplicações). 2ª. Ed. São Paulo: Harbra, 1987.

BOWMAN, David. et al.. *Fire in the Earth System*. *Science*, v.324, abr. 2009.

BOZA, Martires Maria Catucci; CALGARO, Cleide; LUCCA, Margarete Fátima. Sustentabilidade, desenvolvimento sustentável e codesenvolvimento: Um projeto para uma justiça política-social?. **Âmbito Jurídico** (Online). Rio Grande, 2011. Disponível em: <http://www.ambito-juridico.com.br/site/index.php?artigo_id=9166&n_link=revista_artigos_leitura>. Acesso em: 30 abr. 2016.

CARVALHO, Joaquim Francisco de. Energia e sociedade. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 28, n. 82, p. 25-39, dez. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142014000300003>>. Acesso em 15 ago. 2016.

CONFERENCE OF THE PARTIES, 21, 2015, Paris. **Adoption of the Paris Agreement**. Paris, 2015. Disponível em: < <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf> >. Acesso em: 24 set. 2016.

ELKINGTON, John. *Cannibals with forks*. Canada: New Society, 1999.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Demanda de Energia 2050. **Série Estudos da Demanda de Energia**. Nota Técnica DEA 13/14. Rio de Janeiro, 2014.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Demanda de Energia 2050. **Série Estudos da Demanda de Energia**. Nota Técnica DEA 13/15. Rio de Janeiro, 2016.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional** – Relatório Síntese ano base 2014. Rio de Janeiro, 2015.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional** – Relatório Síntese ano base 2015. Rio de Janeiro, 2016.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Aspectos Fundamentais de Planejamento Energético**. 2005. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/conteudo/download/PE_Aspectos_Fundamentais.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2016.

EPIA. *Global Market Outlook: for photovoltaics 2014-2018*. Bélgica, 2014. Disponível em: <goo.gl/0ZC2DA>. Acesso em: 02 set. 2016.

FARRET, Felix A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 1999. 245 p.

FERREIRA, Aurélio B. de H. **Novo dicionário Aurélio da língua portuguesa**. 4. ed. Curitiba: Positivo, 2009. xxxix, 2120 p.

GOLDEMBERG, José. Energia e desenvolvimento sustentável. **Série Sustentabilidade**, v. 4. São Paulo: Blucher, 2010.

GUADAGNIN, Claudia. Em menos de uma década, Munique deve produzir 100% de energia limpa. *Gazeta do Povo*, Curitiba, 27 mai. 2016. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/economia/energia-e-sustentabilidade>>. Acesso em: 06 abr. 2017.

HÉMERY, Daniel; BEBIER, Jean Claude; DELÉAGE, Jean-Paul. **Uma História da Energia**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1993.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Divisão Regional do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões Geográficas**. Volume I. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/DRB/Divisao%20regional_v01.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2017.

INATOMI, Thais Aya Hassan; UDAETA Miguel Edgar Morales. **Análise dos Impactos Ambientais na Produção de Energia dentro do Planejamento Integrado de Recursos**. São Paulo, 2007.

IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Anuário Estatístico do Estado do Paraná** – 2010. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2010/index.html>. Acesso em: 9 mar. 2017.

IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Anuário Estatístico do Estado do Paraná** – 2011. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2011/index.html>. Acesso em: 9 mar. 2017.

IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Anuário Estatístico do Estado do Paraná** – 2012. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2012/index.html>. Acesso em: 9 mar. 2017.

IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Anuário Estatístico do Estado do Paraná** – 2013a. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2013/index.html>. Acesso em: 9 mar. 2017.

IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Anuário Estatístico do Estado do Paraná** – 2014. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2014/index.html>. Acesso em: 9 mar. 2017.

IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Anuário Estatístico do Estado do Paraná** – 2015. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2015/index.html>. Acesso em: 9 mar. 2017.

IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Comunicado para o Planejamento. 2013b. Disponível em: <http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/Comunicado_Planejamento_27.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2017.

IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Leituras Regionais: Mesorregiões Geográficas Paranaenses: Sumário Executivo.** Curitiba: IPARDES, 2004. 32p.

IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Projeção Da População Total Dos Municípios Do Paraná Para o Período 2016-2030** - Alguns Resultados. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/pdf/indices/projecao_populacao_Parana_2016_2030_set.pdf>. Acesso em: 9 mai. 2017.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Políticas sociais, acompanhamento e análise** – Desenvolvimento Rural. Brasília: IPEA, 2008.

IPIRANGA, Ana Silva Rocha; GODOY, Arilda Schmidt; BRUNSTEIN, Janette. Introdução. **RAM, Revista de Administração Mackenzie** (Online). São Paulo, v. 12, n. 3, p. 13-20, Maio/Junho 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1678-69712011000300002>>. Acesso em: 24 abr. 2016.

ITAIPU BINACIONAL. **Produção ano a ano.** 2016. Disponível em: <<http://www.itaipu.gov.br/energia/producao-ano-ano>>. Acesso em: 27 set. 2016.

LENZI, Cristiano Luis. **Sociologia ambiental: risco e sustentabilidade na modernidade.** São Paulo: Anpocs/Edusc, 2006.

LOUREIRO, Carlos Frederico B. **Sustentabilidade e educação: um olhar da ecologia política.** São Paulo: Cortez Editora, 2012.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira** - Exercício de 2015 - Edição de maio de 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/bpAsaI>>. Acesso em 11 nov. de 2016.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024.** Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2015.

NAKABAYASHI, Renny Kunizo, 2015. **Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade Econômica.** Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

NASCIMENTO, Elimar Pinheiro. **Trajétoria da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico.** Estudos avançados, v. 26, n. 74, p. 51-64. São Paulo, 2012.

NREL. *National Renewable Energy Laboratory. Glossary of Solar Radiation Resource Terms: National Renewable Energy Laboratory.* 2014. Disponível em: <http://rredc.nrel.gov/solar/glossary/gloss_s.html>. Acesso em: 02 set. 2016.

NREL. *National Renewable Energy Laboratory. Shining on: a primer on solar radiation data.* 1992. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/legosti/old/4856.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2016.

OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. **O Sol – A Nossa Estrela.** UFRGS, Porto Alegre, 28 set. 2016. Disponível em: <<http://astro.if.ufrgs.br/esol/esol.htm>>. Acesso em: 06 abr. 2017.

PINHO, João T.; GALDINO, Marco A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2016.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Conceitos.** Disponível em: <<http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/conceitos/>>. Acesso em 06 abr. 2017.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas do Desenvolvimento Humano nas Regiões Metropolitanas Brasileiras.** Brasília: PNUD, Ipea, FJP, 2014. 120p. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/data/rawData/publicacao_atlas_rm_pt.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2017.

REIS, Lineu B. dos. **Geração de energia elétrica: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade.** 3. ed. Barueri: Manole, 2003. 324 p.

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. **Pretendida contribuição nacionalmente determinada para consecução do objetivo da convenção-quadro das nações unidas sobre mudança do clima.** Disponível em: <http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDC-portugues.pdf>. Acesso em: 24 set. 2016.

RESNICK, Robert; HALLIDAY, David; KRANE, Kenneth S. **Física 1.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 390 pp.

RIPPEL, Ricardo; RIPPEL, Valderice Cecília Limberger; DE LIMA, Jandir Ferrera. Apontamentos sobre a população, o consumo de energia e a conservação dos recursos naturais. **Temas & Matizes**, n. 16, p. 155-171. Campo Grande, 2009.

RUGGIERO, Márcia A. Gomes; LOPES, Vera Lucia da Rocha. **Cálculo Numérico: aspectos teóricos e computacionais**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1996.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. 1. ed. Florianópolis:LABSOLAR/UFSC, 2004. 114 p.

SAPA SOLAR. **Tecnologia fotovoltaica, uma solução promissora**. 2014. Disponível em: <<http://www.sapa-solar.com/portugal/a-promessasolar/Tecnologia-fotovoltaica.html>>. Acesso em: 24 abr. 2016.

SCOTT, William. *Education and sustainable development: challenges, responsibilities, and frames of mind*. **The Trumpeter**, v. 18, n. 1, p. 22-34. 2002.

SILVA, Marcos Vinicius Miranda da and BERMANN, Célio. O planejamento energético como ferramenta de auxílio às tomadas de decisão sobre a oferta de energia na zona rural. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/scielo>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

SOLO, Robert A.; GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. *Arithmomorphism and Entropy*. 1974.

SUSTAINABILITY. *About sustainability*. Londres, 2008. Disponível em: <<http://www.sustainability.com>>. Acesso em: 24 abr. 2016.

TIEPOLO, Gerson Máximo. **Estudo do Potencial de Geração de Energia Elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Estado do Paraná**. 2015. 228 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2015.

TIEPOLO, Gerson Máximo; URBANETZ JR, Jair; CANCEGLIERI JR, Osiris. Inserção da Energia Fotovoltaica na Matriz Elétrica do Estado do Paraná: Análise do Potencial Produtivo. In: **XXX International Sodebras Congress. Revista SODEBRAS**. 2013.

TIEPOLO, Gerson Máximo; CASTAGNA, Annemarle Gehrke; CANCEGLIERI JR, Osiris; BETINI, Roberto. Fontes Renováveis de Energia e a Influência no Planejamento Energético Emergente no Brasil. In: **VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético–CBPE**. 2012.

TOLMASQUIM, Mauricio T.; GUERREIRO, Amilcar and GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. *Novos estud. - CEBRAP* [online]. 2007, n.79, pp.47-69.

ISSN 0101-3300. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-33002007000300003>>. Acesso em 15 ago. 2016.

TSOUTSOS, Theocharis; FRANTZESKAKI, Niki; GEKAS, Vassilis. *Environmental impacts from the solar energy technologies*. *Energy Policy*, v. 33, n. 3, p. 289-296. 2005.

UNITED NATIONS. *General Assembly. 42 session. Development and International Economic Co-Operation: Environment. Our Common Future*. 1987. Disponível em: <<https://ambiente.files.wordpress.com/2011/03/brundtland-report-our-common-future.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2016.

URBANETZ JR, Jair. **Introdução A Energia Solar Fotovoltaica E O SFVCR Do Escritório Verde Da UTFPR Curitiba**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Instituto de Engenharia do Paraná – IEP, 2014. Disponível em: <http://www.iep.org.br/semana_engenharia14/wp-content/uploads/Energia-Solar.pdf>. Acesso em: 02 set. 2016.

URBANETZ JR, Jair. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. 2010. 189f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

APÊNDICE A

DADOS UTILIZADOS PARA REALIZAR AS PROJEÇÕES E GRÁFICOS RESULTANTES

Este Apêndice apresenta, para cada município, os dados utilizados para previsão da população e do consumo de energia. Os municípios estão agrupados em suas correspondentes mesorregiões. Além disso, os valores do IDHM e da irradiação solar da região são apresentados, uma vez que foram utilizados na avaliação do potencial da mesorregião na complementariedade da matriz elétrica.

A Tabela 10 apresenta dados usados para previsão da população, do consumo de energia e de IDHM para a mesorregião Centro Oriental, bem como os municípios que dela fazem parte.

Tabela 10 – Dados da mesorregião Centro Oriental

MUNICÍPIO	Pop 2010	Pop 2016	Pop 2030	IDHM	CONS 2010 (MWh)	CONS 2013 (MWh)	CONS 2015 (MWh)	IRRAD SOLAR (kWh/m ² .ano)
Arapoti	25.855	27.633	29.003	0,723	427.769	429.900	362.882	2.029
Carambeí	19.163	22.514	28.799	0,728	137.312	155.212	153.464	1.951
Castro	67.084	70.670	71.835	0,703	118.750	158.617	241.976	1.901
Imbaú	11.274	12.684	14.840	0,622	9.972	12.171	13.795	2.011
Jaguariaíva	32.606	34.428	35.177	0,743	598.667	650.370	636.522	1.976
Ortigueira	23.380	22.790	19.217	0,609	18.646	21.261	34.885	2.037
Palmeira	32.123	33.584	33.547	0,718	74.601	92.442	93.573	1.887
Piraí do Sul	23.424	25.029	26.258	0,708	44.332	50.601	107.588	1.971
Ponta Grossa	311.611	342.350	381.051	0,763	869.365	1.011.942	1.042.734	1.906
Reserva	25.172	26.441	26.702	0,618	20.445	25.502	26.390	2.013
Sengés	18.414	19.190	19.028	0,663	55.005	59.651	59.607	1.973
Telêmaco Borba	69.872	76.842	85.712	0,734	597.698	132.478	137.662	2.007
Tibagi	19.344	20.314	20.502	0,664	21.073	25.385	28.556	1.985
Ventania	9.957	11.459	14.049	0,650	20.514	20.162	23.789	2.016

Fonte: Adaptada de IPARDES (2010; 2013a; 2015), Tiepolo (2015).

Legenda:

POP 2010 – população do município no ano de 2010

POP 2016 – população prevista para o município no ano de 2016

POP 2030 – população prevista para o município no ano de 2030

CONS 2010 – consumo total de energia elétrica no ano de 2010

CONS 2013 – consumo total de energia elétrica no ano de 2013

CONS 2015 – consumo total de energia elétrica no ano de 2015

IRRAD SOLAR – irradiação solar

A Figura 23 mostra um comparativo entre a prospecção da população no horizonte 2050 de cada um dos municípios da mesorregião Centro Oriental, enquanto a Figura 24 mostra a mesma projeção, porém sem o município de Ponta Grossa, para melhor comparação e avaliação dos resultados.

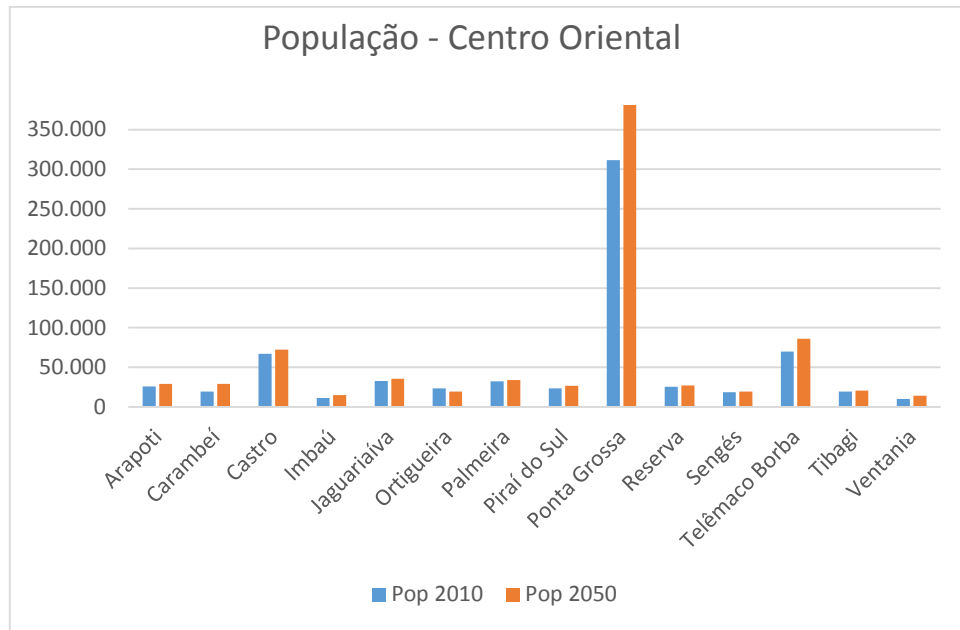


Figura 23 - Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Centro Oriental
Fonte: Autoria Própria.

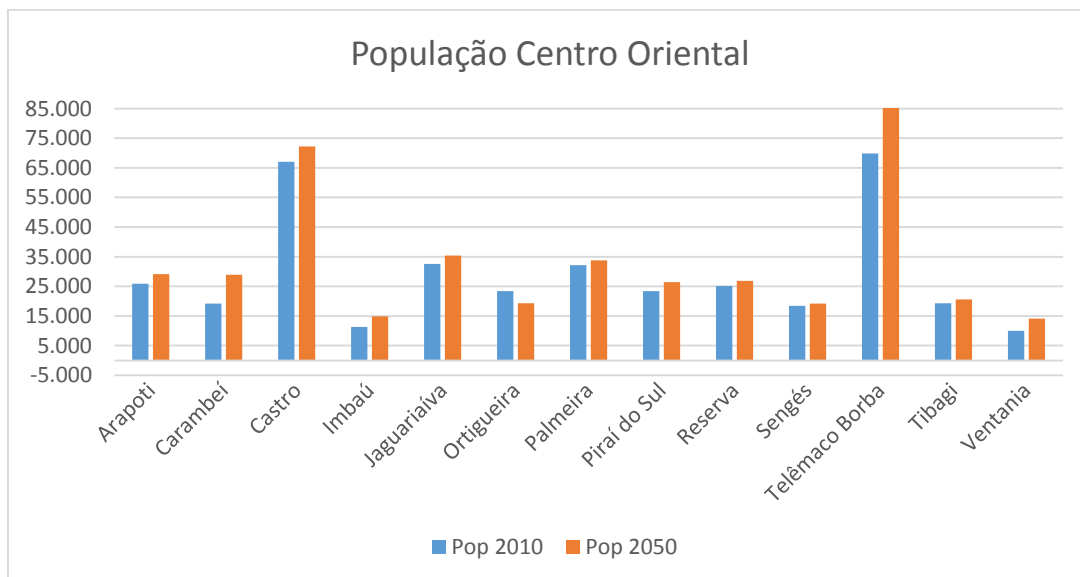


Figura 24 – Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Centro Oriental sem o município de Ponta Grossa
Fonte: Autoria Própria.

A Figura 25 mostra um comparativo entre o consumo de energia elétrica de cada um dos municípios da mesorregião Centro Oriental entre os anos de 2010 e a projeção para 2050. A Figura 26 revela a mesma projeção, porém sem os municípios de Ponta Grossa e Telêmaco Borba.

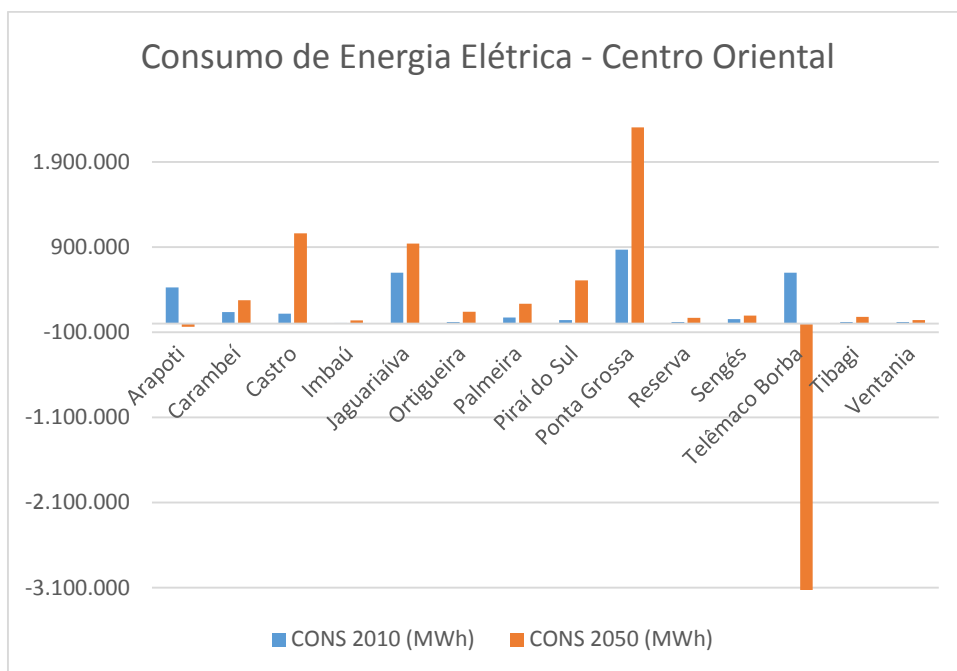


Figura 25 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Centro Oriental em 2010 e projeção para 2050

Fonte: Autoria Própria.

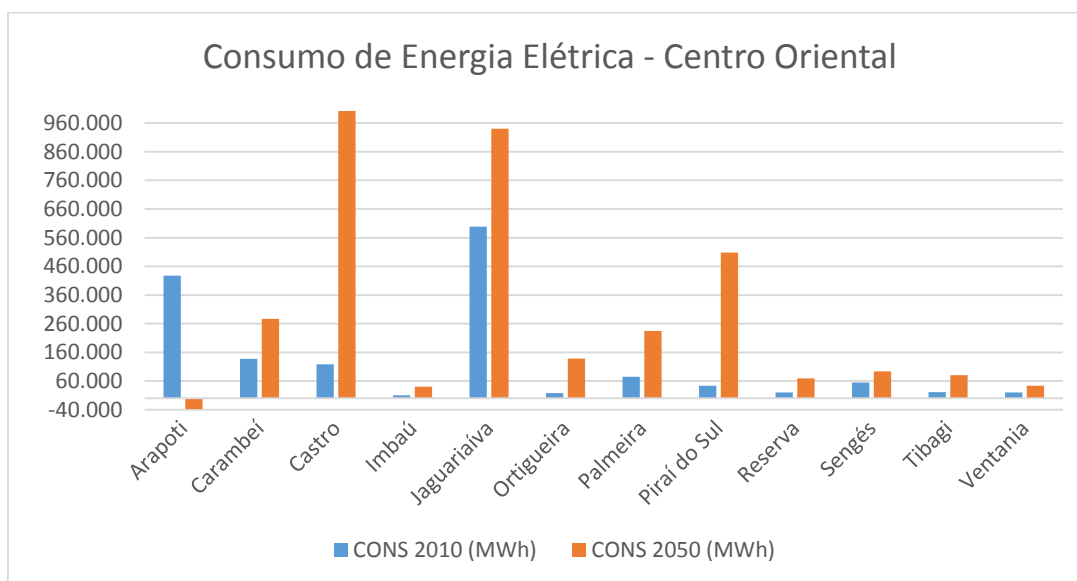


Figura 26 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Centro Oriental em 2010 e projeção para 2050, sem os municípios de Ponta Grossa e Telêmaco Borba

Fonte: Autoria Própria.

A Tabela 11 apresenta dados usados para previsão da população, do consumo de energia e de IDHM para a mesorregião Centro Sul, bem como os municípios que dela fazem parte.

Tabela 11 - Dados da mesorregião Centro Sul

	MUNICÍPIO	Pop 2010	Pop 2016	Pop 2030	IDHM	CONS 2010 (MWh)	CONS 2013 (MWh)	CONS 2015 (MWh)	IRRAD SOLAR (kWh/m2.ano)
1	Boa Ventura de São Roque	6.554	6.548	5.854	0,655	8.685	7.742	9.351	2.018
2	Campina do Simão	4.076	3.990	3.398	0,630	2.606	3.346	3.469	2.023
3	Candói	14.983	15.794	16.078	0,635	24.984	28.765	28.734	2.026
4	Cantagalo	12.952	13.303	12.736	0,635	11.929	13.252	13.215	2.030
5	Clevalândia	17.240	16.943	14.567	0,694	22.358	24.793	24.358	2.026
6	Coronel Domingos Soares	7.238	7.533	7.445	0,600	13.428	16.916	16.898	1.979
7	Espigão Alto do Iguaçu	4.677	4.385	3.372	0,636	4.722	5.876	6.454	2.027
8	Foz do Jordão	5.420	5.018	3.745	0,645	4.584	5.026	5.049	2.034
9	Goioxim	7.503	7.317	6.177	0,641	5.060	6.303	6.707	2.034
10	Guarapuava	167.328	178.459	186.453	0,731	348.291	412.579	410.396	1.963
11	Honório Serpa	5.955	5.566	4.249	0,683	10.189	12.727	12.422	2.031
12	Inácio Martins	10.943	11.150	10.463	0,600	9.085	11.823	10.459	1.884
13	Laranjal	6.360	6.064	4.853	0,585	3.592	4.370	4.538	2.039
14	Laranjeiras do Sul	30.777	31.876	31.142	0,706	43.803	47.346	51.794	2.034
15	Mangueirinha	17.048	16.963	15.016	0,688	20.201	22.849	23.818	2.028
16	Marquinho	4.981	4.708	3.691	0,614	3.451	3.924	4.285	2.041
17	Mato Rico	3.818	3.533	2.635	0,632	2.279	2.493	2.668	2.043
18	Nova Laranjeiras	11.241	11.191	9.921	0,642	8.694	10.333	10.637	2.035
19	Palmas	42.888	49.159	59.779	0,660	94.994	114.073	118.204	1.948
20	Palmital	14.865	14.016	10.925	0,639	11.536	13.469	13.767	2.040
21	Pinhão	30.208	31.965	32.820	0,654	25.418	28.035	27.986	1.954
22	Pitanga	32.638	31.466	25.849	0,702	32.362	39.621	41.617	2.038
23	Porto Barreiro	3.663	3.441	2.658	0,688	3.792	3.617	4.037	2.031
24	Quedas do Iguaçu	30.605	33.296	36.298	0,681	70.396	82.598	87.134	2.025
25	Reserva do Iguaçu	7.307	7.855	8.349	0,648	6.412	7.704	7.716	2.007
26	Rio Bonito do Iguaçu	13.661	13.853	12.839	0,629	11.021	14.908	16.289	2.031

27	Santa Maria do Oeste	11.500	10.597	7.823	0,609	9.942	11.367	12.193	2.034
28	Turvo	13.811	13.662	11.929	0,672	13.337	13.322	15.667	2.005
29	Virmond	3.950	4.030	3.794	0,722	6.669	6.098	5.634	2.027

Fonte: Adaptada de IPARDES (2010; 2013a; 2015), Tiepolo (2015).

A Figura 27 mostra um comparativo entre a prospecção da população no horizonte 2050 de cada um dos municípios da mesorregião Centro Sul. A Figura 28 mostra os mesmos resultados, entretanto sem Guarapuava e Palmas.

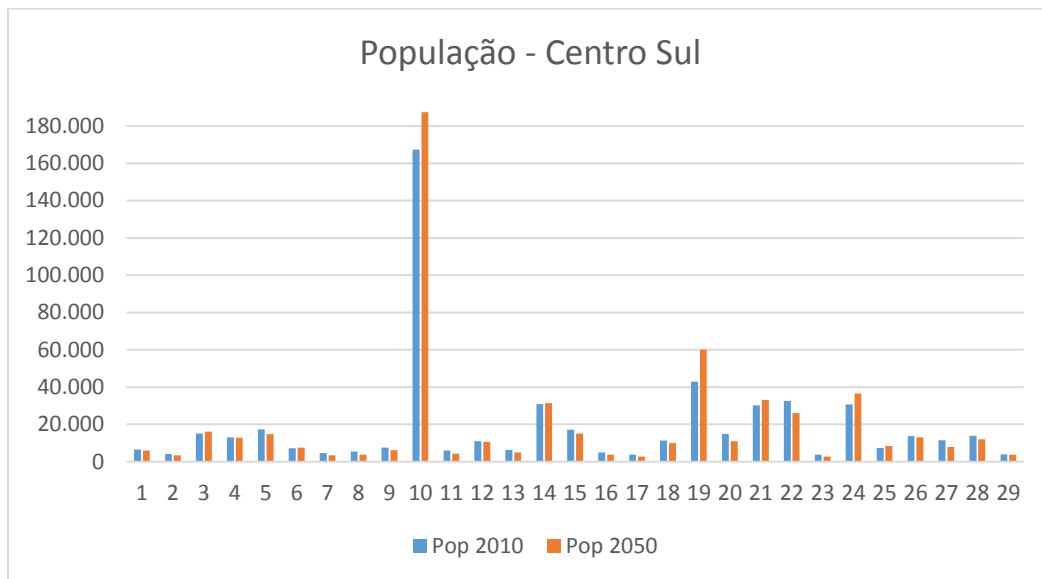


Figura 27 – Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Centro Sul

Fonte: Autoria Própria.

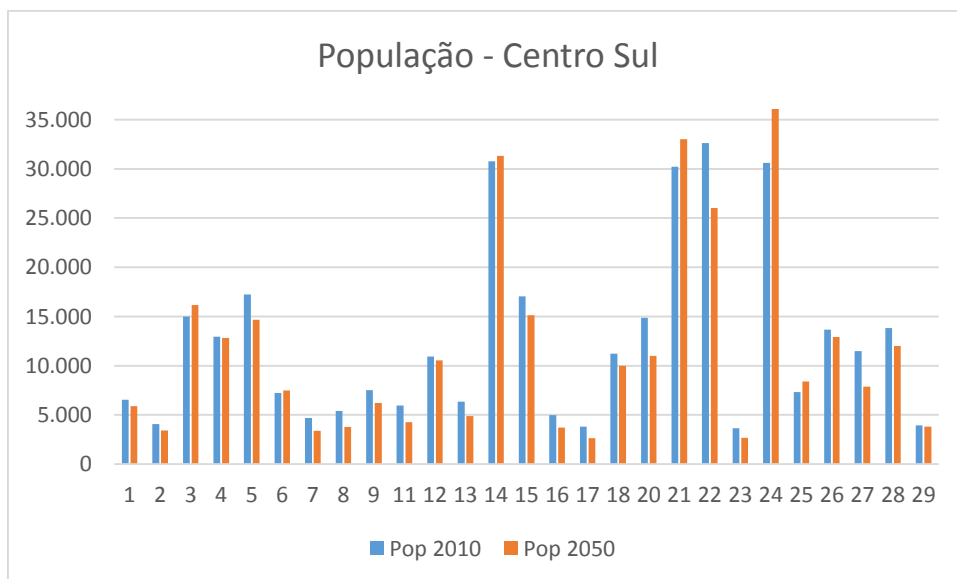


Figura 28 – Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Centro Sul, sem Guarapuava e Palmas

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 29 mostra um comparativo entre o consumo de energia elétrica de cada um dos municípios da mesorregião Centro Sul entre os anos de 2010 e a projeção para 2050. A Figura 30 revela os resultados, com exceção dos municípios de Guarapuava, Palmas e Quedas do Iguaçu.

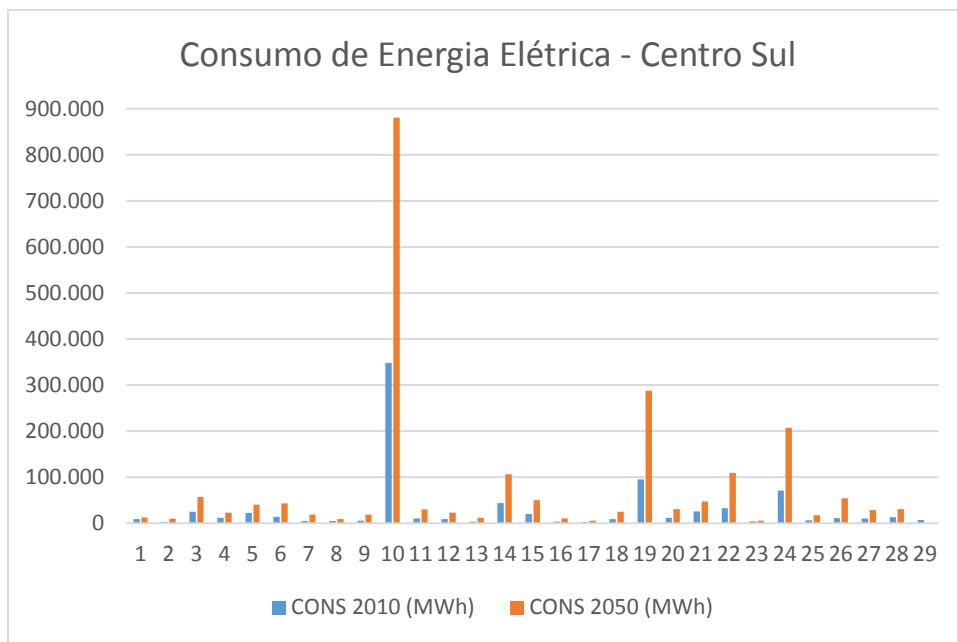


Figura 29 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Centro Sul em 2010 e projeção para 2050

Fonte: Autoria Própria.

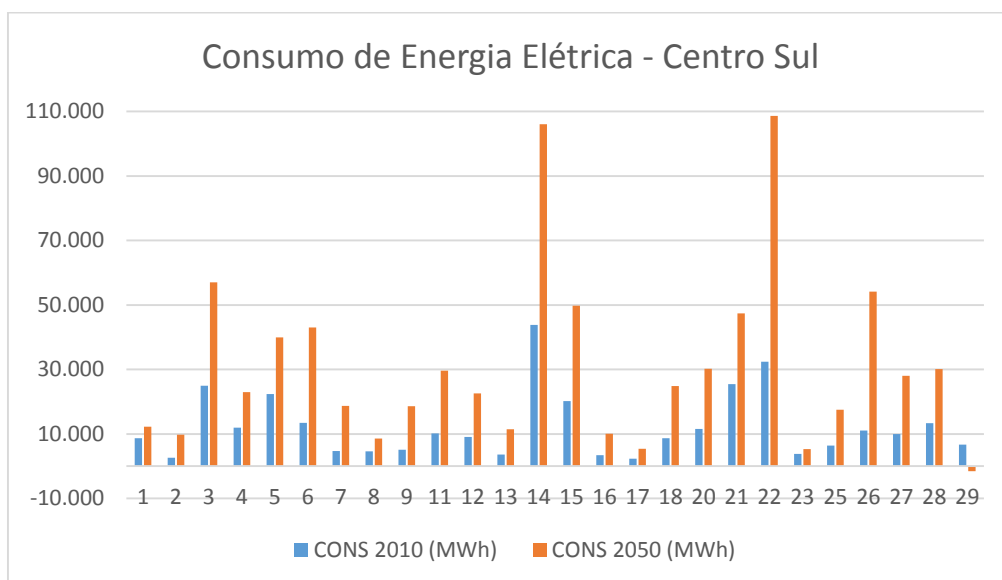


Figura 30 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Centro Sul em 2010 e projeção para 2050, sem os municípios de Guarapuava, Palmas e Quedas do Iguaçu

Fonte: Autoria Própria.

A Tabela 12 apresenta dados usados para previsão da população, do consumo de energia e de IDHM para a mesorregião Metropolitana, bem como os municípios que dela fazem parte.

Tabela 12 - Dados da mesorregião Metropolitana de Curitiba

	MUNICÍPIO	Pop 2010	Pop 2016	Pop 2030	IDHM	CONS 2010 (MWh)	CONS 2013 (MWh)	CONS 2015 (MWh)	IRRAD SOLAR (kWh/m2.ano)
1	Adrianópolis	6.376	6.147	5.049	0,667	4.878	6.170	46.092	1.798
2	Agudos do Sul	8.270	9.113	10.209	0,660	7.277	8.533	9.308	1.813
3	Almirante Tamandaré	103.204	115.005	131.884	0,699	116.674	144.075	146.663	1.840
4	Antonina	18.891	19.090	17.534	0,687	25.281	22.831	26.128	1.726
5	Araucária	119.123	138.444	173.209	0,740	838.011	715.116	535.874	1.838
6	Balsa Nova	11.300	12.261	13.291	0,696	161.054	215.021	193.408	1.868
7	Bocaiúva do Sul	10.987	12.495	14.951	0,640	17.032	19.600	20.192	1.801
8	Campina Grande do Sul	38.769	42.242	46.200	0,718	76.792	82.534	76.219	1.753
9	Campo do Tenente	7.125	7.775	8.531	0,686	10.759	11.979	13.051	1.824
10	Campo Largo	112.377	127.645	152.333	0,745	247.200	296.815	311.775	1.837
11	Campo Magro	24.843	28.294	33.956	0,701	24.774	27.861	27.989	1.835
12	Cerro Azul	16.938	17.653	17.505	0,573	10.996	12.694	13.595	1.836
13	Colombo	212.967	236.502	269.258	0,733	304.584	376.842	368.271	1.828
14	Contenda	15.891	17.961	21.215	0,681	19.948	20.336	22.131	1.840
15	Curitiba	1.751.907	1.892.242	2.031.494	0,823	4.437.173	4.834.068	4.733.290	1.829
16	Doutor Ulysses	5.727	5.678	4.983	0,546	2.616	3.006	3.059	1.872
17	Fazenda Rio Grande	81.675	96.334	124.202	0,720	115.105	161.738	200.284	1.828
18	Guaraqueçaba	7.871	7.782	6.787	0,587	5.663	6.154	6.751	1.703
19	Guaratuba	32.095	35.904	41.509	0,717	92.853	107.645	110.576	1.694
20	Itaperuçu	23.887	27.417	33.434	0,637	24.947	29.263	29.965	1.828
21	Lapa	44.932	47.811	49.701	0,706	91.074	104.710	112.503	1.841
22	Mandirituba	22.220	25.857	32.435	0,655	41.594	46.457	48.650	1.825
23	Matinhos	29.428	33.510	40.200	0,743	74.174	87.195	92.784	1.687
24	Morretes	15.718	16.317	16.030	0,686	23.856	25.526	27.107	1.720
25	Paranaguá	140.469	151.678	162.740	0,750	398.272	409.616	427.613	1.710
26	Piên	11.236	12.391	13.901	0,694	191.960	203.971	204.874	1.811
27	Pinhais	117.008	128.385	142.511	0,751	310.435	352.926	340.137	1.818
28	Piraquara	93.207	109.015	138.170	0,700	76.565	95.262	99.893	1.800
29	Pontal do Paraná	20.920	26.273	38.359	0,738	52.409	62.935	68.238	1.708
30	Porto Amazonas	4.514	4.782	4.923	0,700	7.361	8.503	6.906	1.883
31	Quatro Barras	19.851	22.720	27.543	0,742	81.368	93.016	85.131	1.775

32	Quitandinha	17.089	18.596	20.284	0,680	15.336	18.440	20.974	1.830
33	Rio Branco do Sul	30.650	32.102	32.203	0,679	513.329	569.543	514.228	1.831
34	Rio Negro	31.274	33.539	35.463	0,760	72.439	89.238	85.547	1.808
35	São José dos Pinhais	264.210	310.880	398.854	0,758	1.037.936	1.142.879	1.040.773	1.771
36	Tijucas do Sul	14.537	16.324	19.021	0,636	15.931	18.730	19.844	1.777
37	Tunas do Paraná	6.256	8.600	14.851	0,611	12.147	15.294	15.342	1.815

Fonte: Adaptada de IPARDES (2010; 2013a; 2015), Tiepolo (2015).

A Figura 31 mostra um comparativo entre a prospecção da população no horizonte 2050 de cada um dos municípios da mesorregião Metropolitana. A Figura 32 mostra a projeção sem os municípios de Curitiba e São José dos Pinhais.

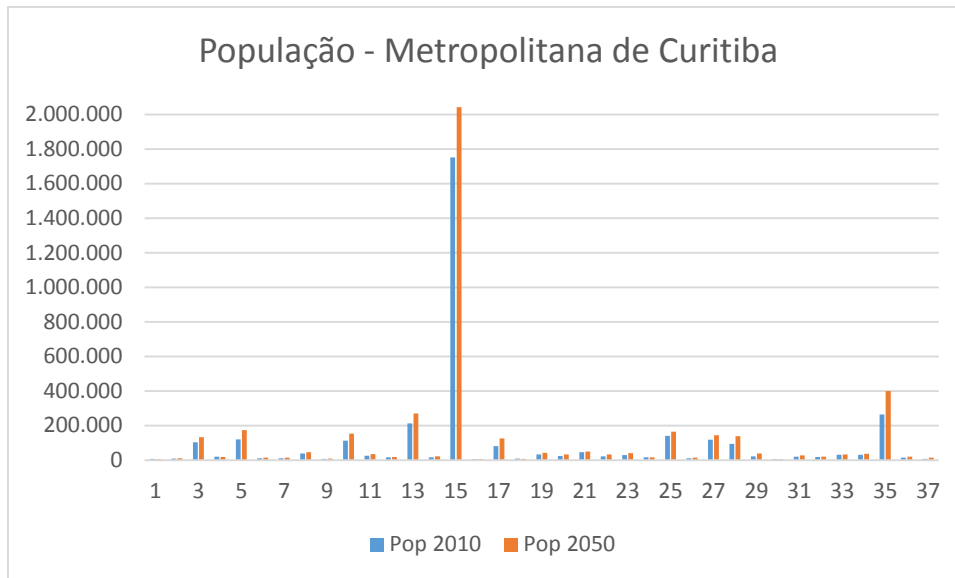


Figura 31 – Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Metropolitana

Fonte: Autoria Própria.

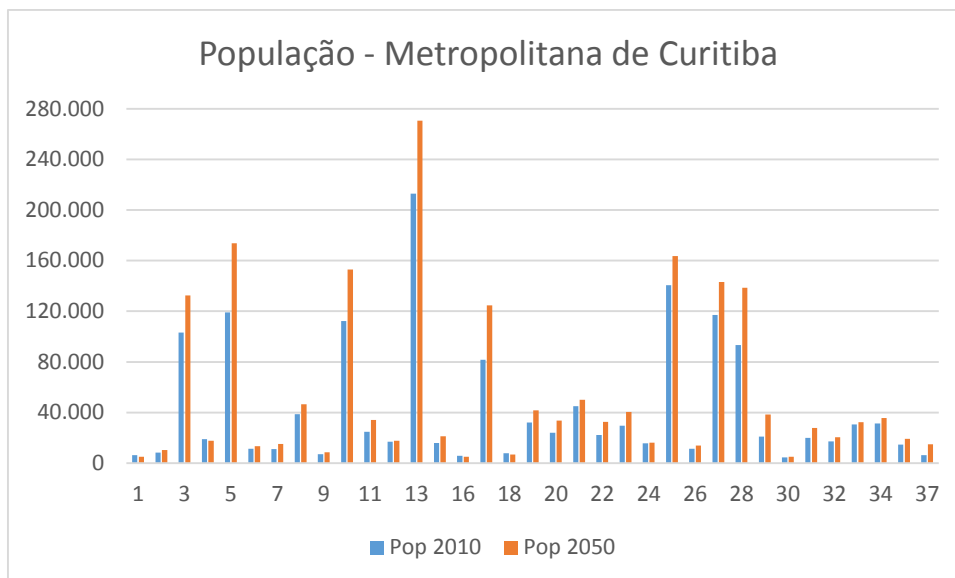


Figura 32 - Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Metropolitana, sem Curitiba e São José dos Pinhais

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 33 mostra um comparativo entre o consumo de energia elétrica de cada um dos municípios da mesorregião Metropolitana entre os anos de 2010 e a projeção para 2050, enquanto a Figura 34 mostra a mesma prospecção sem os municípios de Curitiba e Araucária.

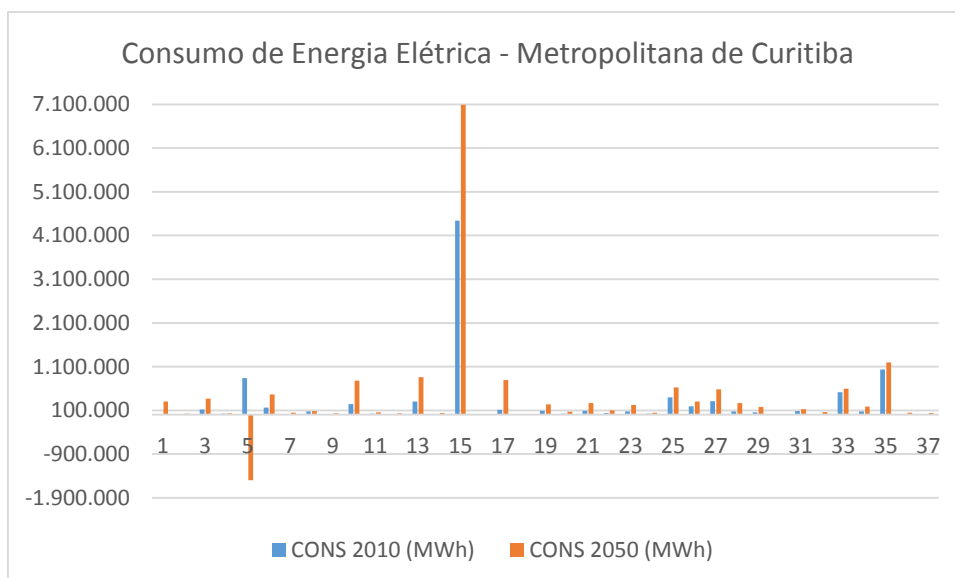


Figura 33 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Metropolitana em 2010 e projeção para 2050

Fonte: Autoria Própria.

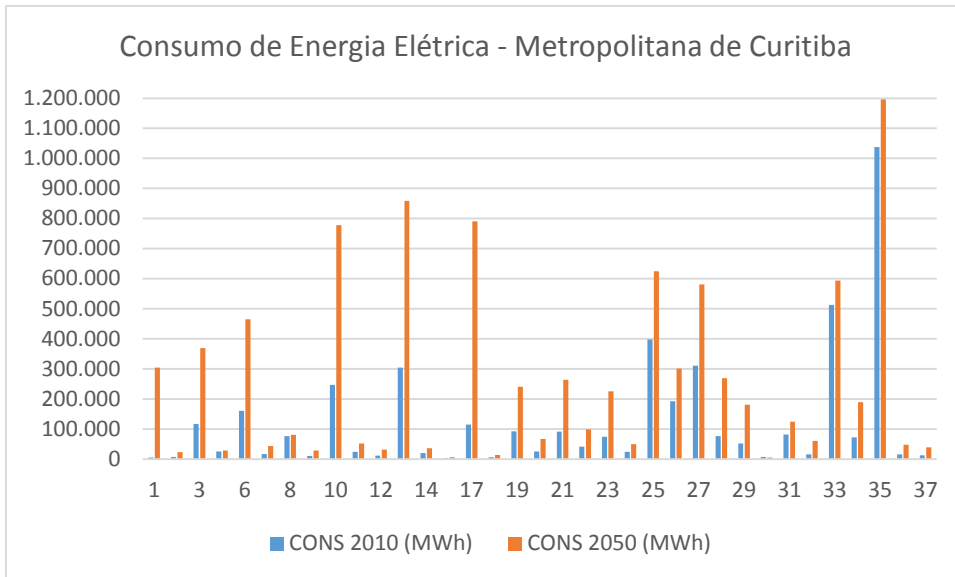


Figura 34 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Metropolitana em 2010 e projeção para 2050 sem Curitiba e São José dos Pinhais

Fonte: Autoria Própria.

A Tabela 13 apresenta dados usados para previsão da população, do consumo de energia e de IDHM para a mesorregião Noroeste Paranaense, bem como os municípios que dela fazem parte.

Tabela 13 - Dados da mesorregião Noroeste Paranaense

MUNICÍPIO	Pop 2010	Pop 2016	Pop 2030	IDHM	CONS 2010 (MWh)	CONS 2013 (MWh)	CONS 2015 (MWh)	IRRAD SOLAR (kWh/m2.ano)
Alto Paraíso	3.206	2.963	2.203	0,678	4.391	5.062	5.099	2.057
Alto Paraná	13.663	14.542	15.124	0,696	16.929	22.318	24.528	2.084
Alto Piquiri	10.179	10.040	8.707	0,676	11.675	13.594	14.415	2.053
Altônia	20.516	21.750	22.425	0,721	29.413	33.551	37.032	2.044
Amaporã	5.443	6.066	6.957	0,669	10.556	10.936	11.231	2.071
Brasilândia do Sul	3.209	2.920	2.091	0,681	4.240	5.690	7.095	2.053
Cafezal do Sul	4.290	4.171	3.495	0,692	4.788	6.030	6.734	2.055
Cianorte	69.958	79.730	95.816	0,755	159.633	200.919	224.679	2.060
Cidade Gaúcha	11.062	12.279	13.965	0,718	21.502	29.978	28.906	2.074
Cruzeiro do Oeste	20.416	20.950	20.011	0,717	31.278	41.950	48.605	2.070
Cruzeiro do Sul	4.563	4.537	4.010	0,713	6.959	8.304	8.779	2.088
Diamante do Norte	5.516	5.298	4.315	0,723	5.956	6.447	6.978	2.100
Douradina	7.445	8.447	10.056	0,724	12.349	16.518	18.033	2.068

Esperança Nova	1.970	1.829	1.373	0,689	2.837	3.430	4.137	2.059
Francisco Alves	6.418	6.238	5.225	0,669	7.971	10.165	11.657	2.044
Guairaçá	6.197	6.513	6.584	0,693	7.864	9.148	11.608	2.082
Guaporema	2.219	2.248	2.077	0,719	3.676	4.150	4.447	2.068
Icaraíma	8.839	8.352	6.543	0,666	11.908	18.410	21.052	2.064
Inajá	2.988	3.095	3.024	0,705	4.690	5.930	4.898	2.094
Indiápolis	4.299	4.441	4.312	0,724	11.175	14.973	18.863	2.061
Iporã	14.981	14.451	11.889	0,706	25.039	29.964	35.272	2.048
Itaúna do Sul	3.583	3.214	2.227	0,656	3.352	4.009	5.388	2.094
Ivaté	7.514	8.041	8.463	0,706	8.542	9.826	10.862	2.069
Japurá	8.549	9.228	9.893	0,712	17.183	21.723	23.195	2.056
Jardim Olinda	1.409	1.372	1.153	0,682	1.718	2.002	3.046	2.085
Jussara	6.610	6.942	7.006	0,718	13.163	16.591	15.231	2.054
Loanda	21.201	22.682	23.858	0,725	41.915	50.518	52.385	2.084
Maria Helena	5.956	5.827	4.957	0,703	6.177	7.017	9.521	2.070
Marilena	6.858	7.061	6.800	0,681	6.805	8.834	12.544	2.092
Mariluz	10.224	10.384	9.662	0,639	8.099	9.905	10.677	2.053
Mirador	2.327	2.274	1.928	0,680	3.689	4.124	4.799	2.068
Nova Aliança do Ivaí	1.431	1.519	1.571	0,717	1.838	2.352	2.526	2.069
Nova Londrina	13.067	13.264	12.328	0,758	27.454	30.256	33.033	2.091
Nova Olímpia	5.503	5.756	5.756	0,710	10.465	11.087	11.231	2.077
Paraíso do Norte	11.772	13.357	15.904	0,746	20.682	24.134	33.804	2.064
Paranacity	10.250	11.188	12.282	0,717	12.441	15.447	16.921	2.091
Paranapoema	2.791	3.106	3.552	0,709	5.275	6.390	6.103	2.091
Paranavaí	81.590	86.958	90.719	0,763	172.765	208.088	235.092	2.082
Perobal	5.653	5.998	6.195	0,713	7.459	9.518	10.272	2.059
Pérola	10.208	11.004	11.765	0,700	13.734	18.313	20.939	2.057
Planaltina do Paraná	4.095	4.243	4.150	0,705	10.130	12.222	13.791	2.074
Porto Rico	2.530	2.568	2.386	0,735	4.847	6.636	8.879	2.084
Querência do Norte	11.729	12.151	11.878	0,688	19.493	24.427	24.257	2.070
Rondon	8.996	9.476	9.632	0,713	22.254	26.822	30.343	2.066
Santa Cruz de Monte Castelo	8.092	7.969	6.885	0,710	13.872	16.577	18.601	2.074
Santa Isabel do Ivaí	8.760	8.700	7.669	0,720	15.444	17.709	16.750	2.076
Santa Mônica	3.571	3.887	4.242	0,704	9.121	10.477	12.104	2.075

Santo Antônio do Caiuá	2.727	2.693	2.341	0,696	3.283	3.657	3.790	2.089
São Carlos do Ivaí	6.354	6.769	7.055	0,682	11.570	15.048	16.069	2.058
São João do Caiuá	5.911	5.920	5.321	0,664	5.777	6.631	10.451	2.092
São Jorge do Patrocínio	6.041	5.842	4.834	0,676	7.740	9.702	10.728	2.050
São Manoel do Paraná	2.098	2.157	2.069	0,725	6.107	9.335	10.385	2.059
São Pedro do Paraná	2.491	2.401	1.972	0,704	5.806	7.513	7.793	2.087
São Tomé	5.349	5.651	5.780	0,725	14.220	16.583	15.376	2.056
Tamboara	4.664	5.019	5.345	0,731	7.956	9.785	12.546	2.071
Tapejara	14.598	15.837	17.162	0,703	21.318	27.903	31.036	2.068
Tapira	5.836	5.695	4.816	0,697	8.065	9.147	10.704	2.072
Terra Rica	15.221	16.436	17.637	0,710	19.177	23.226	23.061	2.091
Tuneiras do Oeste	8.695	8.677	7.735	0,695	9.560	11.187	11.929	2.065
Umuarama	100.676	109.084	117.898	0,761	188.803	222.174	245.154	2.065
Xambrê	6.012	5.852	4.918	0,706	6.841	7.703	8.644	2.060

Fonte: Adaptada de IPARDES (2010; 2013a; 2015), Tiepolo (2015).

Não foram anexados gráficos referentes a esta mesorregião, pois ela apresenta aproximadamente 60 municípios, o que prejudicava a visualização dos seus respectivos dados das projeções de população e consumo de energia elétrica para 2050.

A Tabela 14 apresenta dados usados para previsão da população, do consumo de energia e de IDHM para a mesorregião Norte Central, bem como os municípios que dela fazem parte.

Tabela 14 - Dados da mesorregião Norte Central

MUNICÍPIO	Pop 2010	Pop 2016	Pop 2030	IDHM	CONS 2010 (MWh)	CONS 2013 (MWh)	CONS 2015 (MWh)	IRRAD SOLAR (kWh/m2.ano)
Alvorada do Sul	10.283	11.148	12.064	0,708	11.970	14.886	16.771	2.094
Ângulo	2.859	2.929	2.785	0,721	4.601	5.798	6.791	2.076
Apucarana	120.919	131.740	144.057	0,748	282.395	322.121	319.537	2.066
Arapongas	104.150	118.719	142.723	0,748	340.046	387.838	348.986	2.076
Arapuã	3.561	3.305	2.482	0,676	4.029	4.792	4.601	2.053
Ariranha do Ivaí	2.453	2.273	1.699	0,670	2.121	2.516	2.758	2.053
Astorga	24.698	25.872	25.962	0,747	38.368	45.120	47.180	2.082
Atalaia	3.913	3.929	3.553	0,736	5.490	6.339	6.924	2.082
Bela Vista do Paraíso	15.079	15.413	14.578	0,716	22.404	24.228	25.100	2.103
Bom Sucesso	6.561	6.941	7.122	0,686	6.687	7.890	8.678	2.054
Borrazópolis	7.878	7.210	5.236	0,717	8.971	9.904	10.278	2.063

Cafeara	2.695	2.883	3.033	0,693	2.981	3.741	4.511	2.093
Califórnia	8.069	8.481	8.576	0,722	11.498	14.170	15.629	2.065
Cambé	96.733	104.133	111.002	0,734	210.603	243.263	243.117	2.097
Cambira	7.236	7.731	8.109	0,725	14.906	17.597	19.764	2.062
Cândido de Abreu	16.655	15.805	12.508	0,629	14.093	17.253	18.261	2.019
Centenário do Sul	11.190	11.045	9.593	0,668	12.503	13.996	14.492	2.094
Colorado	22.345	23.680	24.397	0,730	40.854	50.306	56.894	2.090
Cruzmaltina	3.162	3.057	2.527	0,666	3.458	4.614	5.198	2.062
Doutor Camargo	5.828	5.978	5.703	0,746	7.628	9.269	9.880	2.048
Faxinal	16.314	17.093	17.160	0,687	26.539	28.771	29.018	2.054
Floraí	5.050	5.011	4.408	0,745	8.427	10.487	11.019	2.066
Floresta	5.931	6.575	7.458	0,736	8.368	10.977	12.153	2.054
Florestópolis	11.222	10.893	9.094	0,701	13.646	18.706	16.790	2.099
Flórida	2.543	2.664	2.673	0,732	3.532	4.386	4.725	2.083
Godoy Moreira	3.337	3.132	2.416	0,675	2.617	2.843	3.144	2.056
Grandes Rios	6.625	6.100	4.495	0,658	6.507	7.159	7.223	2.058
Guaraci	5.227	5.529	5.672	0,698	9.910	12.926	15.820	2.097
Ibiporã	48.198	53.067	59.336	0,726	110.488	132.199	125.721	2.083
Iguaraçu	3.982	4.307	4.639	0,758	9.885	12.148	12.998	2.075
Itaguajé	4.568	4.538	4.003	0,707	5.770	6.325	6.583	2.087
Itambé	5.979	6.114	5.789	0,746	8.824	9.996	10.360	2.055
Ivaiporã	31.816	32.165	29.578	0,730	37.799	42.755	44.746	2.057
Ivatuba	3.010	3.207	3.344	0,766	4.581	5.387	5.640	2.051
Jaguapitã	12.225	13.299	14.495	0,715	54.792	69.733	83.151	2.104
Jandaia do Sul	20.269	21.055	20.717	0,747	29.949	35.278	38.793	2.058
Jardim Alegre	12.324	11.814	9.575	0,689	11.111	13.449	14.273	2.057
Kaloré	4.506	4.297	3.440	0,721	4.577	5.227	5.755	2.060
Lidianoópolis	3.973	3.629	2.624	0,680	3.779	4.118	4.686	2.063
Lobato	4.401	4.705	4.940	0,744	15.664	16.518	17.075	2.086
Londrina	506.701	555.235	614.603	0,778	1.198.780	1.356.129	1.383.485	2.066
Lunardelli	5.160	4.976	4.090	0,690	4.600	5.099	5.344	2.059
Lupionópolis	4.592	4.856	4.979	0,710	5.423	6.762	7.831	2.087
Mandaguacu	19.781	22.108	25.510	0,718	27.545	32.124	38.013	2.068
Mandaguari	32.658	34.121	34.033	0,751	71.433	95.695	116.362	2.064
Manoel Ribas	13.169	13.500	12.861	0,716	16.261	18.321	18.934	2.044
Marialva	31.959	34.685	37.619	0,735	65.665	79.418	86.910	2.057
Marilândia do Sul	8.863	8.912	8.087	0,691	13.614	14.776	16.168	2.062
Maringá	357.077	410.238	501.252	0,808	936.570	1.084.941	1.122.848	2.064
Marumbi	4.603	4.690	4.400	0,721	5.105	5.743	6.259	2.058
Mauá da Serra	8.555	10.186	13.386	0,652	34.714	35.716	37.138	2.058
Miraselva	1.862	1.841	1.605	0,748	2.986	3.151	3.604	2.106
Munhoz de Melo	3.672	3.919	4.100	0,726	5.067	7.126	9.297	2.087
Nossa Senhora das Graças	3.836	3.915	3.689	0,709	4.304	5.125	5.391	2.091
Nova Esperança	26.615	27.716	27.431	0,722	43.993	50.761	49.849	2.077

Nova Tebas	7.398	6.514	4.317	0,651	5.999	6.680	7.699	2.049
Novo Itacolomi	2.827	2.859	2.631	0,710	4.829	5.748	6.765	2.061
Ourizona	3.380	3.438	3.211	0,720	3.848	4.230	4.650	2.054
Paíçandu	35.936	40.027	45.859	0,716	42.039	52.819	57.801	2.055
Pitangueiras	2.814	3.128	3.569	0,710	5.509	5.997	6.198	2.095
Porecatu	14.189	13.531	10.833	0,738	22.018	24.997	20.791	2.088
Prado Ferreira	3.434	3.683	3.895	0,710	4.254	5.779	6.010	2.107
Presidente Castelo Branco	4.784	5.186	5.612	0,713	6.841	9.139	9.734	2.074
Primeiro de Maio	10.832	11.116	10.620	0,701	18.233	21.459	23.280	2.106
Rio Bom	3.334	3.277	2.818	0,729	3.995	4.657	4.583	2.063
Rio Branco do Ivaí	3.898	4.066	4.039	0,640	3.320	3.943	4.247	2.055
Rolândia	57.862	64.537	74.150	0,739	217.606	244.344	254.743	2.091
Rosário do Ivaí	5.588	5.169	3.850	0,662	5.059	5.663	5.913	2.050
Sabáudia	6.096	6.657	7.315	0,740	13.631	21.187	24.924	2.082
Santa Fé	10.432	11.662	13.465	0,705	18.944	26.512	28.667	2.087
Santa Inês	1.818	1.702	1.305	0,717	2.094	2.532	2.684	2.091
Santo Inácio	5.269	5.427	5.230	0,739	13.287	24.350	31.235	2.090
São João do Ivaí	11.525	10.844	8.409	0,693	12.316	14.559	15.452	2.058
São Jorge do Ivaí	5.517	5.581	5.141	0,743	11.736	13.376	15.143	2.055
São Pedro do Ivaí	10.167	10.814	11.233	0,717	13.563	17.224	35.213	2.057
Sarandi	82.847	91.929	104.488	0,695	91.025	115.569	122.749	2.060
Sertanópolis	15.638	16.266	16.055	0,723	43.460	51.994	56.092	2.097
Tamarana	12.262	14.243	17.798	0,621	15.775	20.634	20.302	2.050
Uniflor	2.466	2.582	2.588	0,720	2.773	3.111	3.932	2.086

Fonte: Adaptada de IPARDES (2010; 2013a; 2015), Tiepolo (2015).

Os gráficos desta mesorregião das projeções de população e consumo de energia elétrica para 2050 não foram apresentados, devido ao fato que ela apresenta aproximadamente 80 municípios, impossibilitando a análise dos dados nos gráficos.

A Tabela 15 apresenta dados usados para previsão da população, do consumo de energia e de IDHM para a mesorregião Norte Pioneiro, bem como os municípios que dela fazem parte.

Tabela 15 - Dados da mesorregião Norte Pioneiro

MUNICÍPIO	Pop 2010	Pop 2016	Pop 2030	IDHM	CONS 2010 (MWh)	CONS 2013 (MWh)	CONS 2015 (MWh)	IRRAD SOLAR (kWh/m2.ano)
Abatiá	7.764	7.630	6.560	0,687	6.970	7.654	8.289	2.084
Andirá	20.610	20.399	17.833	0,725	69.484	60.023	57.388	2.097
Assaí	16.354	15.728	12.845	0,728	43.492	44.189	44.170	2.071
Bandeirantes	32.184	31.908	28.005	0,727	51.326	58.770	60.750	2.091
Barra do Jacaré	2.727	2.784	2.626	0,744	3.593	4.082	4.476	2.094
Cambará	23.886	25.098	25.363	0,721	52.138	57.177	59.329	2.097
Carlópolis	13.706	14.238	14.009	0,713	15.364	18.684	20.178	2.082

Congonhinhas	8.279	8.719	8.856	0,668	7.202	8.585	9.657	2.053
Conselheiro Mairinck	3.636	3.820	3.858	0,707	3.820	4.691	4.730	2.068
Cornélio Procópio	46.928	47.914	45.191	0,759	119.891	132.734	133.857	2.086
Curiúva	13.923	14.853	15.528	0,656	14.716	15.708	15.630	2.017
Figueira	8.293	8.034	6.677	0,677	15.359	15.216	15.690	2.023
Guapirama	3.891	3.863	3.403	0,702	4.443	8.412	8.809	2.077
Ibaiti	28.751	30.799	32.488	0,710	46.521	48.143	50.511	2.041
Itambaracá	6.759	6.698	5.872	0,694	7.564	8.329	8.790	2.103
Jaboti	4.902	5.200	5.368	0,718	4.508	5.404	6.183	2.059
Jacarezinho	39.121	39.585	36.483	0,743	71.311	66.491	67.906	2.095
Japira	4.903	5.003	4.711	0,696	4.685	5.292	5.951	2.053
Jataizinho	11.875	12.464	12.563	0,687	20.569	22.373	23.624	2.079
Joaquim Távora	10.736	11.639	12.595	0,700	24.829	36.172	48.685	2.087
Jundiá do Sul	3.433	3.370	2.889	0,688	4.919	4.459	5.268	2.072
Leópolis	4.145	4.057	3.454	0,707	5.504	5.809	6.275	2.101
Nova América da Colina	3.478	3.482	3.129	0,698	3.407	3.988	4.187	2.078
Nova Fátima	8.147	8.211	7.493	0,688	10.229	12.086	12.960	2.074
Nova Santa Bárbara	3.908	4.176	4.382	0,680	3.977	4.822	4.889	2.064
Pinhalão	6.215	6.339	5.962	0,697	6.628	7.744	7.896	2.038
Quatiguá	7.045	7.380	7.406	0,714	9.558	10.578	11.608	2.076
Rancho Alegre	3.955	3.892	3.358	0,707	4.602	5.193	5.360	2.098
Ribeirão Claro	10.678	10.751	9.789	0,716	17.519	20.595	22.719	2.090
Ribeirão do Pinhal	13.524	13.316	11.498	0,701	12.346	14.043	14.433	2.071
Salto do Itararé	5.178	5.067	4.311	0,704	4.384	4.890	5.218	2.065
Santa Amélia	3.803	3.553	2.710	0,653	3.862	4.216	4.913	2.084
Santa Cecília do Pavão	3.646	3.485	2.807	0,723	4.046	4.734	4.992	2.070
Santa Mariana	12.435	12.090	10.133	0,700	15.500	16.117	16.265	2.098
Santo Antônio da Platina	42.707	45.330	46.865	0,718	56.138	64.783	67.132	2.088
Santo Antônio do Paraíso	2.408	2.250	1.716	0,716	2.582	2.590	2.567	2.063
São Jerônimo da Serra	11.337	11.315	10.088	0,637	9.018	9.530	9.723	2.047
São José da Boa Vista	6.511	6.371	5.420	0,671	4.597	5.414	6.241	2.039
São Sebastião da Amoreira	8.626	8.849	8.447	0,715	9.083	10.431	11.111	2.074
Sapopema	6.736	6.786	6.186	0,655	7.894	11.414	12.035	2.031
Sertaneja	5.817	5.542	4.427	0,725	12.143	13.628	13.923	2.106
Siqueira Campos	18.454	20.414	23.053	0,704	26.774	33.685	36.221	2.070
Tomazina	8.791	8.338	6.589	0,699	7.750	9.139	10.927	2.059
Uraí	11.472	11.457	10.232	0,721	15.319	16.426	17.485	2.083
Wenceslau Braz	19.298	19.519	17.972	0,687	19.042	21.662	22.162	2.051

Fonte: Adaptada de IPARDES (2010; 2013a; 2015), Tiepolo (2015).

Os gráficos não foram gerados devido ao elevado número de municípios nesta mesorregião.

A Tabela 16 apresenta dados usados para previsão da população, do consumo de energia e de IDHM para a mesorregião Oeste Paranaense, bem como os municípios que dela fazem parte.

Tabela 16 - Dados da mesorregião Oeste Paranaense

MUNICÍPIO	Pop 2010	Pop 2016	Pop 2030	IDHM	CONS 2010 (MWh)	CONS 2013 (MWh)	CONS 2015 (MWh)	IRRAD SOLAR (kWh/m2.ano)
Anahy	2.874	2.850	2.503	0,695	3.363	3.977	5.025	2.039
Assis Chateaubriand	33.025	33.502	31.083	0,729	65.998	75.698	84.304	2.046
Boa Vista da Aparecida	7.911	7.771	6.672	0,670	10.567	12.277	13.468	2.024
Braganey	5.735	5.587	4.706	0,701	6.318	7.161	7.825	2.036
Cafelândia	14.662	17.414	22.767	0,748	95.159	138.150	154.615	2.040
Campo Bonito	4.407	4.107	3.114	0,681	4.764	5.700	6.072	2.034
Capitão Leônidas Marques	14.970	15.650	15.630	0,716	23.122	26.305	27.446	2.021
Cascavel	286.205	318.538	364.345	0,782	618.516	733.183	774.545	2.031
Catanduvas	10.202	10.270	9.345	0,678	12.787	14.243	15.097	2.028
Céu Azul	11.032	11.629	11.837	0,732	39.464	39.613	42.684	2.019
Corbélia	16.312	16.965	16.740	0,738	27.706	32.449	38.298	2.038
Diamante do Sul	3.510	3.491	3.088	0,608	2.592	2.864	2.969	2.035
Diamante D'Oeste	5.027	5.223	5.142	0,644	5.381	6.136	6.761	2.030
Entre Rios do Oeste	3.926	4.396	5.093	0,761	13.565	15.714	17.337	1.981
Formosa do Oeste	7.541	7.037	5.353	0,723	14.449	17.818	21.096	2.047
Foz do Iguaçu	256.088	259.638	240.476	0,751	446.004	525.990	555.649	1.956
Guaíra	30.704	32.627	33.816	0,724	53.489	64.378	70.799	2.016
Guaraniaçu	14.582	13.480	10.026	0,677	19.398	21.877	22.207	2.030
Ibema	6.066	6.312	6.235	0,685	17.249	18.846	19.530	2.030
Iguatu	2.234	2.265	2.100	0,703	2.343	2.880	2.916	2.039
Iracema do Oeste	2.578	2.426	1.882	0,707	3.510	4.277	4.541	2.043
Itaipulândia	9.026	10.740	14.094	0,738	23.332	30.938	35.262	2.040
Jesuítas	9.001	8.708	7.214	0,705	14.008	17.380	28.249	2.044
Lindoeste	5.361	5.003	3.805	0,666	5.778	6.887	7.938	2.018

Marechal Cândido Rondon	46.819	51.508	57.496	0,774	157.186	181.542	198.363	1.989
Maripá	5.684	5.674	5.062	0,758	23.221	27.428	34.967	2.042
Matelândia	16.078	17.512	19.139	0,725	68.172	93.152	106.545	2.018
Medianeira	41.817	45.207	48.624	0,763	112.028	148.080	171.362	2.026
Mercedes	5.046	5.427	5.774	0,740	16.483	19.718	22.145	2.040
Missal	10.474	10.711	10.142	0,711	23.525	28.353	32.402	2.038
Nova Aurora	11.866	11.138	8.589	0,733	26.345	34.144	45.045	2.042
Nova Santa Rosa	7.626	8.099	8.384	0,731	21.607	27.826	30.062	2.040
Ouro Verde do Oeste	5.692	5.947	5.931	0,709	9.690	12.152	14.981	2.033
Palotina	28.683	31.122	33.738	0,768	148.128	176.735	207.823	2.045
Pato Bragado	4.822	5.427	6.355	0,747	12.472	14.479	16.126	1.935
Quatro Pontes	3.803	3.980	3.984	0,791	15.119	17.419	19.216	2.037
Ramilândia	4.134	4.387	4.533	0,630	4.546	5.559	6.072	2.029
Santa Helena	23.413	25.768	28.789	0,744	54.477	72.814	76.841	1.966
Santa Lúcia	3.925	3.885	3.396	0,687	6.215	7.634	9.495	2.023
Santa Tereza do Oeste	10.332	10.286	9.117	0,705	17.923	26.549	31.034	2.025
Santa Terezinha de Itaipu	20.841	22.851	25.326	0,738	36.219	42.521	45.961	2.027
São José das Palmeiras	3.830	3.749	3.193	0,713	4.741	5.554	5.891	2.031
São Miguel do Iguaçu	25.769	27.141	27.576	0,704	55.940	65.139	72.162	2.025
São Pedro do Iguaçu	6.491	6.184	4.940	0,683	8.926	10.102	10.570	2.028
Serranópolis do Iguaçu	4.568	4.556	4.056	0,762	11.466	14.803	14.276	2.017
Terra Roxa	16.759	17.389	17.063	0,714	27.265	33.381	39.507	2.041
Toledo	119.313	135.753	162.579	0,768	456.119	540.614	558.892	2.036
Três Barras do Paraná	11.824	12.063	11.355	0,681	24.141	25.719	24.725	2.026
Tupãssi	7.997	8.144	7.633	0,730	17.458	21.109	24.975	2.041
Vera Cruz do Oeste	8.973	8.761	7.417	0,699	10.689	12.913	14.391	2.027

Fonte: Adaptada de IPARDES (2010; 2013a; 2015), Tiepolo (2015).

Os gráficos não foram apresentados porque esta mesorregião possui muitos municípios, dificultando a análise de seus dados.

A Tabela 17 apresenta dados usados para previsão da população, do consumo de energia e de IDHM para a mesorregião Sudeste Paranaense, bem como os municípios que dela fazem parte.

Tabela 17 - Dados da mesorregião Sudeste Paranaense

MUNICÍPIO	Pop 2010	Pop 2016	Pop 2030	IDHM	CONS 2010 (MWh)	CONS 2013 (MWh)	CONS 2015 (MWh)	IRRAD SOLAR (kWh/m2.ano)
Antônio Olinto	7.351	7.463	6.938	0,656	6.638	6.672	7.253	1.812
Bituruna	15.880	16.293	15.557	0,667	25.346	29.428	35.890	1.896
Cruz Machado	18.040	18.641	18.110	0,664	15.548	16.778	16.488	1.864
Fernandes Pinheiro	5.932	5.798	4.922	0,645	6.744	8.220	10.474	1.870
General Carneiro	13.669	13.797	12.635	0,652	15.322	17.440	15.684	1.860
Guamiranga	7.900	8.548	9.213	0,669	9.484	11.548	12.034	1.922
Imbituva	28.455	31.599	35.974	0,660	51.130	61.026	64.875	1.916
Ipiranga	14.150	14.972	15.371	0,652	16.066	19.935	20.731	1.956
Irati	56.207	59.798	62.140	0,726	92.770	105.499	101.793	1.877
Ivaí	12.815	13.657	14.246	0,651	11.988	14.128	15.747	1.958
Mallet	12.973	13.471	13.242	0,708	66.459	92.616	126.538	1.807
Paula Freitas	5.434	5.782	6.010	0,717	7.219	8.695	8.934	1.773
Paulo Frontin	6.913	7.274	7.375	0,708	7.792	8.976	9.828	1.772
Porto Vitória	4.020	4.081	3.793	0,685	5.258	5.372	5.593	1.811
Prudentópolis	48.792	51.335	52.032	0,676	46.262	54.228	58.949	1.944
Rebouças	14.176	14.789	14.698	0,672	15.584	19.303	19.737	1.839
Rio Azul	14.093	15.059	15.800	0,687	20.109	23.396	24.864	1.827
São João do Triunfo	13.704	14.801	15.888	0,629	12.832	16.311	18.316	1.850
São Mateus do Sul	41.257	45.096	49.655	0,719	168.073	159.091	171.697	1.795
Teixeira Soares	10.283	11.907	14.786	0,671	11.994	13.687	15.528	1.911
União da Vitória	52.735	56.484	59.565	0,740	145.765	154.745	157.287	1.809

Fonte: Adaptada de IPARDES (2010; 2013a; 2015), Tiepolo (2015).

A Figura 35 mostra um comparativo entre a prospecção da população no horizonte 2050 de cada um dos municípios da mesorregião Sudeste Paranaense.

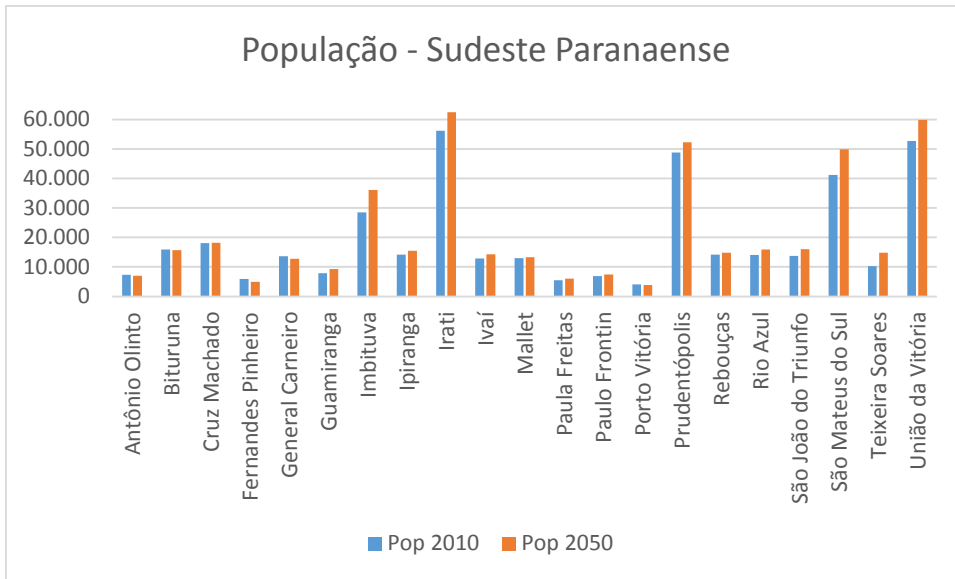


Figura 35 - Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Sudeste Paranaense

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 36 mostra um comparativo entre o consumo de energia elétrica de cada um dos municípios da mesorregião Sudeste Paranaense entre os anos de 2010 e a projeção para 2050. Enquanto a Figura 37 mostra os mesmos dados, contudo excluindo o município de Mallet.

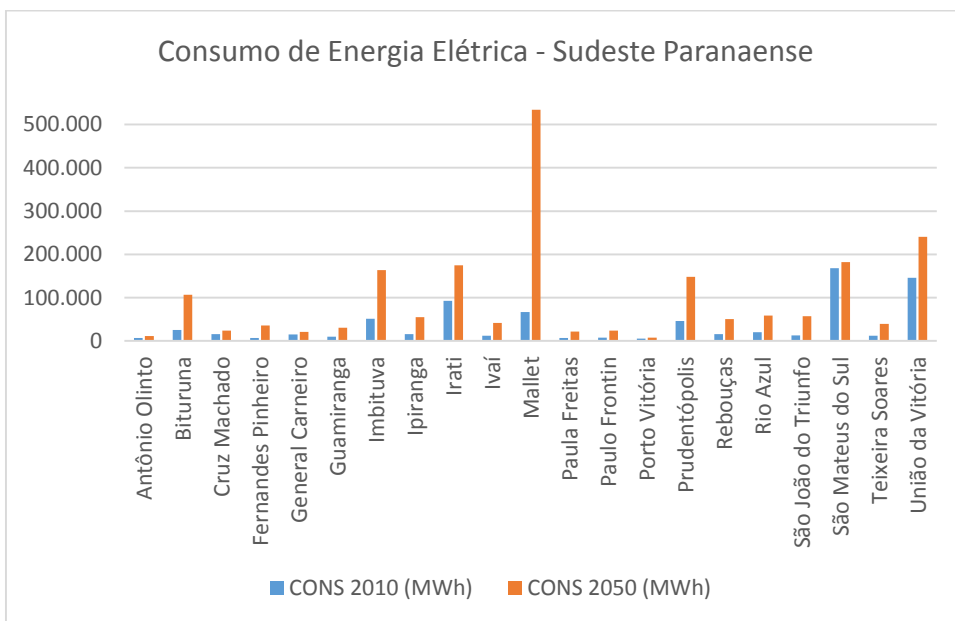


Figura 36 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Sudeste Paranaense em 2010 e projeção para 2050

Fonte: Autoria Própria.

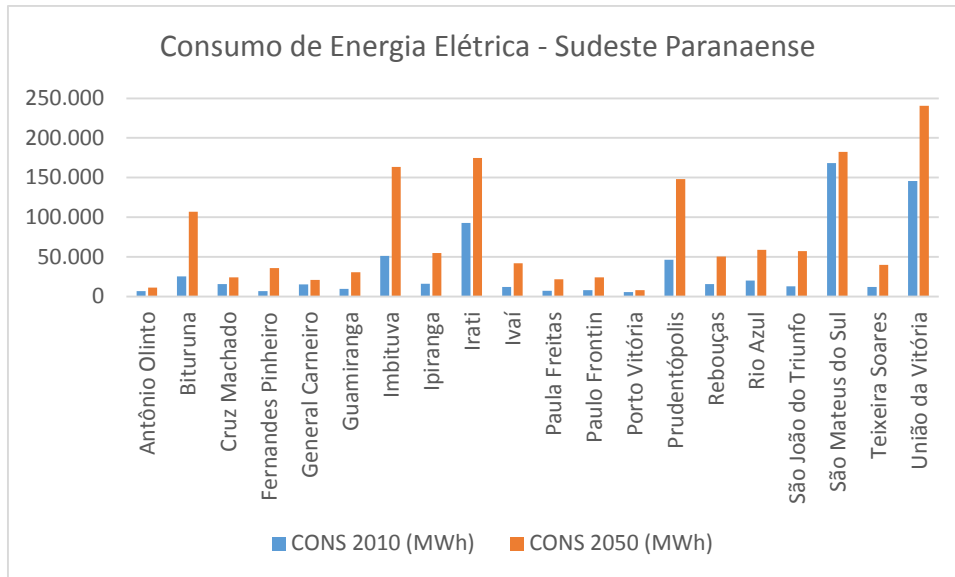


Figura 37 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Sudeste Paranaense em 2010 e projeção para 2050, sem o município de Mallet

Fonte: Autoria Própria.

A Tabela 18 apresenta dados usados para previsão da população, do consumo de energia e de IDHM para a mesorregião Sudoeste Paranaense, bem como os municípios que dela fazem parte.

Tabela 18 - Dados da mesorregião Sudoeste Paranaense

	MUNICÍPIO	Pop 2010	Pop 2016	Pop 2030	IDHM	CONS 2010 (MWh)	CONS 2013 (MWh)	CONS 2015 (MWh)	IRRAD SOLAR (kWh/m2.ano)
1	Ampére	17.308	18.733	20.199	0,709	29.327	36.673	39.948	2.030
2	Barracão	9.735	10.227	10.331	0,706	11.490	13.748	15.722	2.014
3	Bela Vista da Caroba	3.945	3.719	2.897	0,681	3.396	3.995	4.137	2.032
4	Boa Esperança do Iguaçu	2.764	2.629	2.092	0,700	4.241	5.097	5.662	2.031
5	Bom Jesus do Sul	3.796	3.669	3.031	0,697	3.441	4.441	4.887	2.020
6	Bom Sucesso do Sul	3.293	3.299	2.967	0,742	6.509	9.826	12.232	2.035
7	Capanema	18.526	19.082	18.394	0,706	48.171	41.650	49.157	2.020
8	Chopinzinho	19.679	19.557	17.262	0,740	32.699	40.337	46.879	2.035
9	Coronel Vivida	21.749	21.281	18.108	0,723	44.937	58.183	61.332	2.037
10	Cruzeiro do Iguaçu	4.278	4.292	3.876	0,709	10.002	10.942	12.684	2.027
11	Dois Vizinhos	36.179	39.601	43.733	0,767	135.317	159.601	167.589	2.031

12	Enéas Marques	6.103	6.059	5.335	0,752	18.487	21.021	21.778	2.035
13	Flor da Serra do Sul	4.726	4.627	3.944	0,682	5.612	6.945	7.791	2.014
14	Francisco Beltrão	78.943	88.248	101.872	0,774	208.015	236.358	245.621	2.031
15	Itapejara d'Oeste	10.531	11.628	13.080	0,731	36.027	42.167	51.590	2.040
16	Manfrinópolis	3.127	2.839	2.025	0,645	4.229	4.997	5.147	2.022
17	Mariópolis	6.268	6.554	6.550	0,698	10.958	13.593	15.487	2.029
18	Marmeleiro	13.900	14.330	13.843	0,722	20.620	24.312	27.438	2.016
19	Nova Esperança do Sudoeste	5.098	5.103	4.581	0,714	9.403	10.845	12.968	2.034
20	Nova Prata do Iguaçu	10.377	10.573	9.920	0,716	15.398	22.560	25.302	2.026
21	Pato Branco	72.370	80.413	91.658	0,782	170.858	205.534	211.291	2.035
22	Pérola d'Oeste	6.761	6.558	5.465	0,726	8.384	9.163	10.466	1.927
23	Pinhal de São Bento	2.625	2.719	2.658	0,695	2.116	2.760	2.944	2.028
24	Planalto	13.654	13.644	12.201	0,706	16.940	21.555	25.435	2.026
25	Pranchita	5.628	5.387	4.351	0,752	8.256	8.949	9.608	1.952
26	Realeza	16.338	16.868	16.353	0,722	29.679	36.716	41.842	2.026
27	Renascença	6.812	6.857	6.239	0,733	9.377	11.491	11.779	2.026
28	Salgado Filho	4.403	4.005	2.867	0,700	5.601	6.357	6.492	2.022
29	Salto do Lontra	13.689	14.559	15.119	0,718	17.966	21.298	23.421	2.033
30	Santa Izabel do Oeste	13.132	14.307	15.643	0,696	18.264	22.110	23.787	2.031
31	Santo Antônio do Sudoeste	18.893	19.926	20.309	0,671	22.749	27.611	30.500	2.000
32	São João	10.599	10.454	9.063	0,727	19.518	44.127	54.652	2.034
33	São Jorge d'Oeste	9.085	9.130	8.274	0,722	16.693	20.407	21.904	2.025
34	Saudade do Iguaçu	5.028	5.397	5.718	0,699	6.775	9.227	11.382	2.035
35	Sulina	3.394	3.178	2.437	0,693	5.512	6.869	7.717	2.036
36	Verê	7.878	7.562	6.148	0,720	14.280	17.990	21.793	2.038
37	Vitorino	6.513	6.790	6.737	0,702	11.315	13.640	14.598	2.028

Fonte: Adaptada de IPARDES (2010; 2013a; 2015), Tiepolo (2015).

A Figura 38 mostra um comparativo entre a prospecção da população no horizonte 2050 de cada um dos municípios da mesorregião Sudoeste Paranaense. E a Figura 39 revela os mesmos dados, porém sem os municípios de Dois Vizinhos, Francisco Beltrão, Pato Branco.

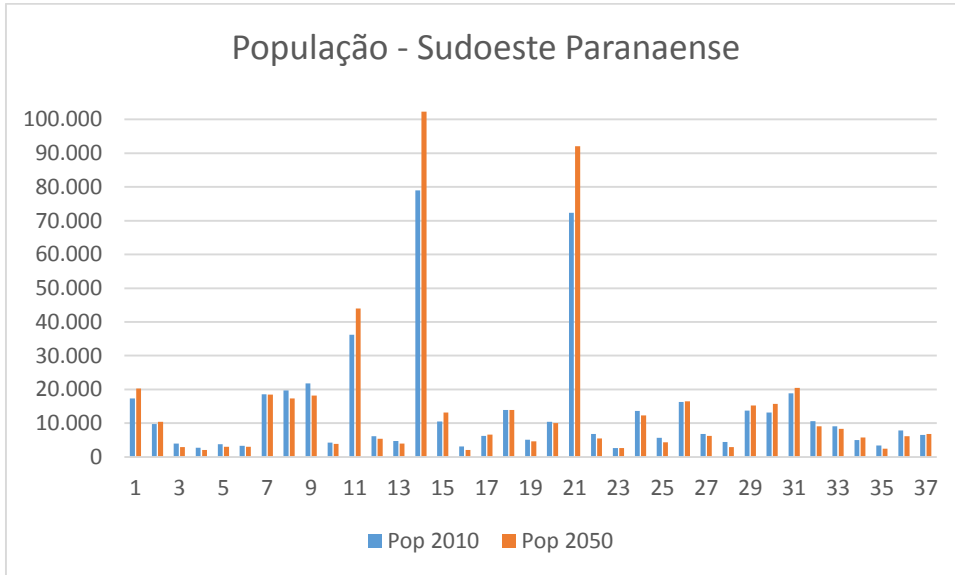


Figura 38 – Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Sudoeste Paranaense

Fonte: Autoria Própria.

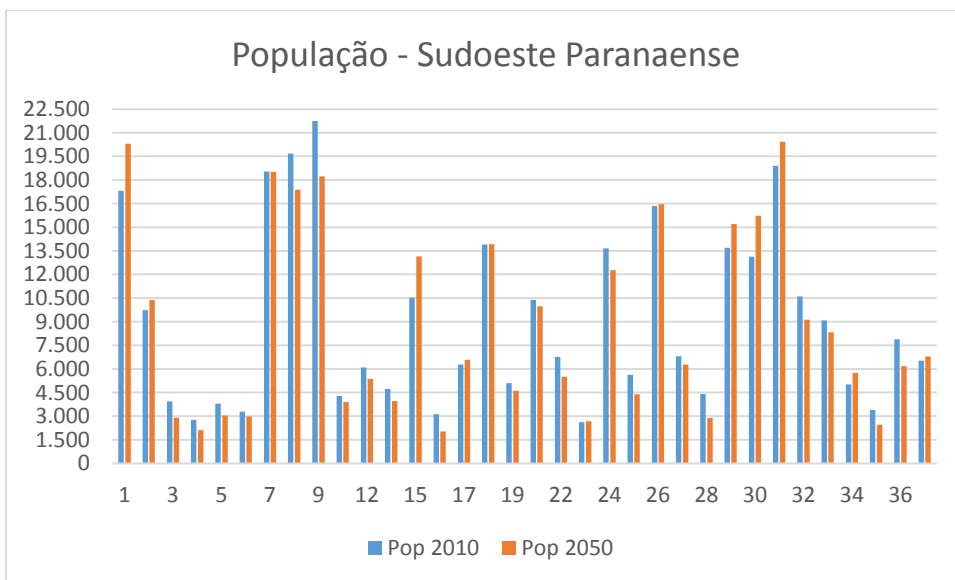


Figura 39 - Gráfico da População Projetada para 2050 da mesorregião Sudoeste Paranaense, sem os municípios de Dois Vizinhos, Francisco Beltrão, Pato Branco

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 40 mostra um comparativo entre o consumo de energia elétrica de cada um dos municípios da mesorregião Sudoeste Paranaense entre os anos de 2010 e a projeção para 2050, enquanto a Figura 41 mostra os mesmos dados, sem os municípios de Dois Vizinhos, Francisco Beltrão, Pato Branco, São João.

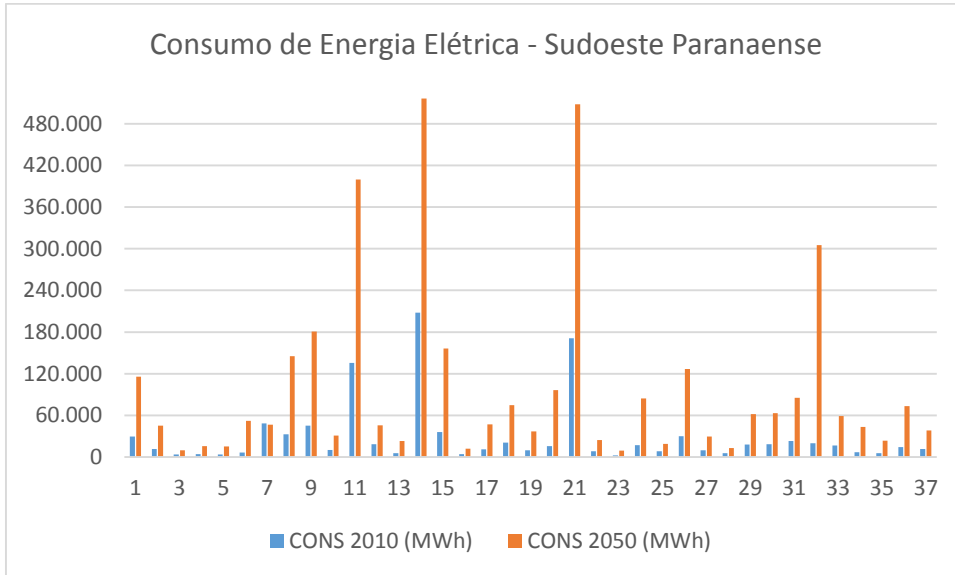


Figura 40 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Sudoeste Paranaense em 2010 e projeção para 2050

Fonte: Autoria Própria.

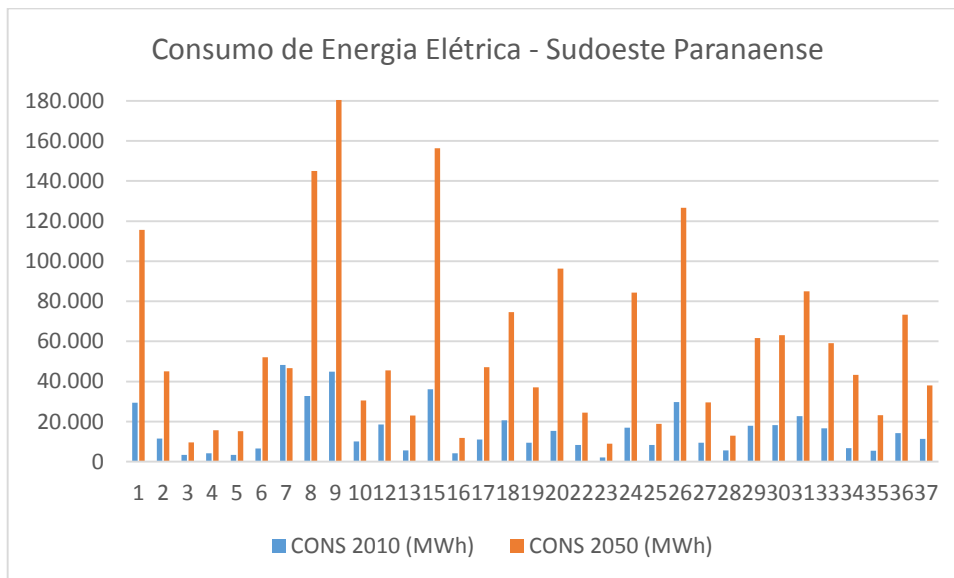


Figura 41 - Consumo de energia elétrica na Mesorregião Sudoeste Paranaense em 2010 e projeção para 2050, sem os municípios de Dois Vizinhos, Francisco Beltrão, Pato Branco, São João

Fonte: Autoria Própria.